



Fibras Opticas

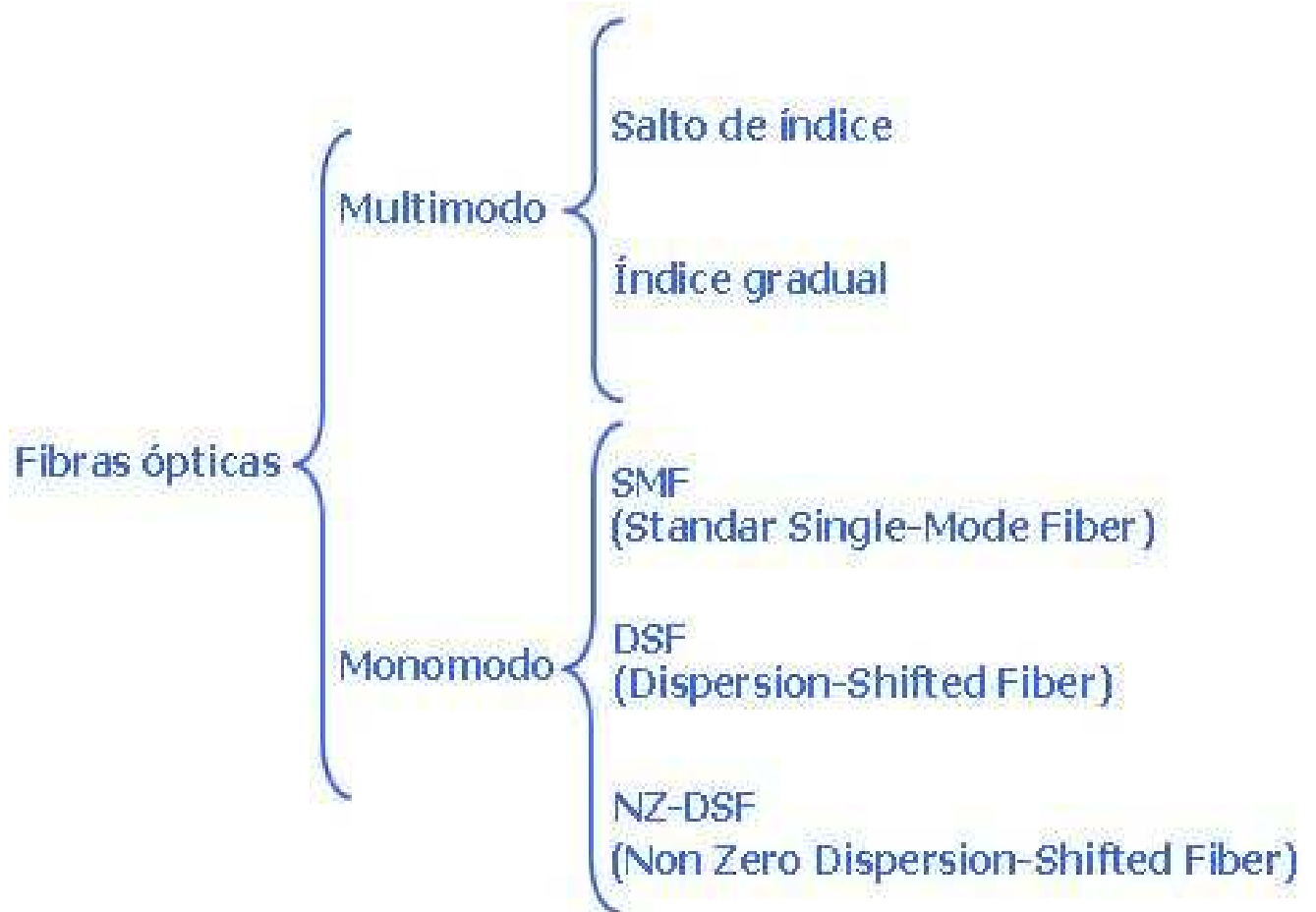
Aplicaciones en redes de Telecomunicaciones y Broadcasting

Por: Carlos Simoni

Agenda

- Tecnologías de transmisión
- Arquitecturas de redes Ópticas
- Aplicaciones

Clasificación de FO



Fibras Opticas Multimodo

	EIA-492; ISO/IEC 793 FIBRA MULTIMODO 62,5/125	ITU-T G.651 FIBRA MULTIMODO 50/125
Apertura Numérica	NA de 0,275 (tolerancia 0,015)	NA=0,18 a 0,24 (tolerancia 10%)
Perfil de índice de refracción	Parabólico (<i>graded index</i>). Usado en redes de datos y FDDI.	Parabólico
Índice de refracción	1,9 %	
Diámetro del núcleo.	62,5 µm (tolerancia 3 µm)	50 µm (tolerancia 3 µm)
Diámetro del revestimiento (Cladding)	125 µm (tolerancia 1 µm)	125 µm (3 µm)
Recubrimiento de silicona Coating	245 µm (tolerancia 10 µm)	245 µm (tolerancia 10 µm)
Longitud de onda de aplicación.	850 y 1300 nm	850 y 1300 nm
Atenuación a 850 nm	Entre 3 y 3,2 dB/km	Entre 2,7 y 3 dB/km
Atenuación a 1300 nm	Entre 0,7 y 0,8 dB/km	Entre 0,7 y 0,8 2 dB/km
Ancho de banda a 850 nm	Entre 200 y 300 MHz.km	Entre 300 y 500 MHz
Ancho de banda a 1300 nm	Entre 400 y 600 MHz.km	Entre 500 y 1000 MHz



FO Plástica: Trabajan a longitud de onda visible (650 nm). Se utilizan en aplicaciones de automotores, audio, MIDI, etc. Se dispone de los siguientes tipos dimensionales y atenuaciones: 485/500 µm con 240 dB/km; 735/750 µm con 230 dB/km y 980/1000 µm con 220 dB/km

PCS (Plastic Clad Silica) El núcleo es de silicio y las dimensiones son 200/300 µm. La atenuación es de 10 dB/km a 850 nm.

FO 62,5/125 µm Es una FO multimodo **MM (MultiMode)** con perfil de índice de refracción gradual (*Graded Index*). Este tipo de FO es una normalización norteamericana ANSI. Es usada en redes de datos de alta velocidad del tipo FDDI, para conexiones dúplex en anillos. Se suele conectar mediante terminales ST, SC o FDDI.

FO 50/125 µm Esta FO multimodo MM con perfil de índice parabólico es normalizada por **ITU-T G.651**. Usadas en la actualidad en redes de datos de corta longitud (hasta 2 km). Fue la única FO disponible hasta inicios de los años 80. Se usaba en 850 o 1300 nm.

Fibras ópticas monomodo

SMF (G.652)	• Good for TDM at 1310 nm • OK for TDM at 1550 • OK for DWDM (With Dispersion Mgmt)
DSF (G.653)	• OK for TDM at 1310 nm • Good for TDM at 1550 nm • Bad for DWDM (C-Band)
NZDSF (G.655)	• OK for TDM at 1310 nm • Good for TDM at 1550 nm • Good for DWDM (C + L Bands)
Extended Band (G.652.C) (suppressed attenuation in the traditional water peak region)	• Good for TDM at 1310 nm • OK for TDM at 1550 nm • OK for DWDM (With Dispersion Mgmt) • Good for CWDM (>8 wavelengths)



FO STD: Es del tipo monomodo **SM** (*SingleMode*) normalizada en **ITU-T G.652**. Se trata de la FO más popular en redes de telecomunicaciones actuales. Es factible de usarse en 1300 y 1550 nm. Debido a la dispersión cromática esta FO está optimizada para el cero de dispersión en 1300 nm.

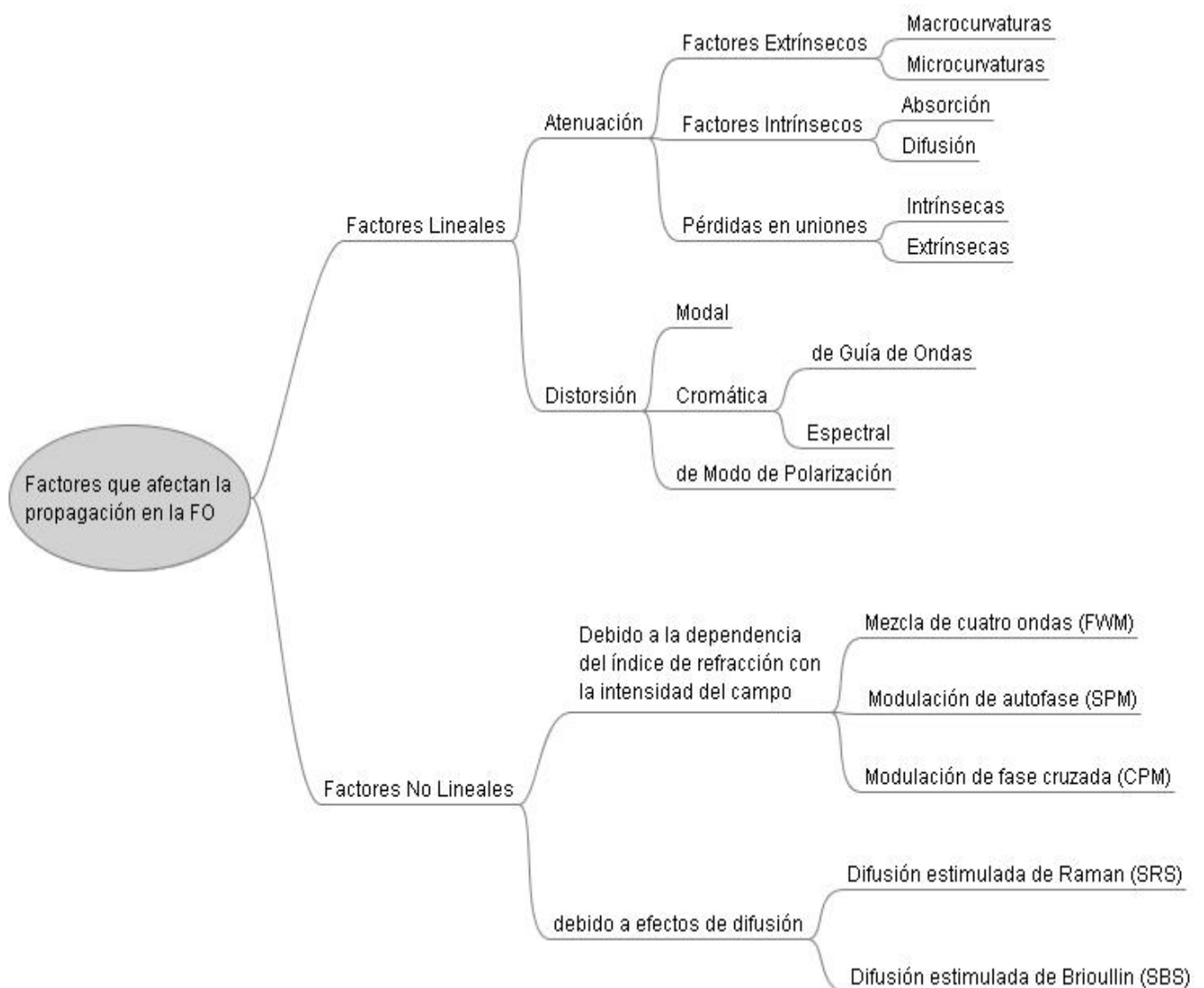
FO DS: Esta FO monomodo de dispersión desplazada **DS** (*Dispersion Shift*) se encuentra en **ITU-T G.653**. Permite gran ancho de banda en redes de larga distancia trabajando en tercera ventana. Esta FO, tiene el cero de dispersión cromática en 1540 nm. La dispersión tiene un valor de -2 a $+2$ ps/km.nm; la FO STD lo tiene entre $+16$ a $+18$ ps/km.nm.

FO Extended Band: Es una FO en la que se pudo reducir a un mínimo la atenuación introducida por la absorción OH⁻, con lo que en lugar de definirse tres ventanas de trabajo se utilizan bandas de longitudes de onda. Está optimizada para trabajar con CWDM con más de 8 lambdas.

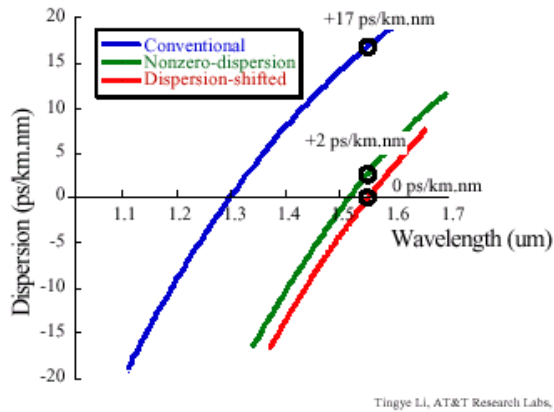
FO Minimum Loss: Es del tipo monomodo con mínima atenuación. Es normalizada en **ITU-T G.654**. Se aplica para enlaces de muy larga distancia en 1550 nm. Es de aplicación limitada debido a la reducida performance en cuanto a la dispersión cromática. Normalmente no es aplicable para sistemas STM-16 a 2,5 Gb/s.

FO NZ-DS (Non Zero-Dispersion Shift): determinada en **ITU-T G.655**. Es normalizada en 1994 para 1550 nm. Mejora a la G.653 para aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda WDM. La mejora en la intermodulación pasa de ser 25 dB para la G.653 a más de 50 dB en la G.655. La intermodulación es producida por alinealidades de la FO en altas potencias (por ejemplo en amplificadores EDFA) cuando se inyectan varias longitudes de ondas de tipo WDM. El cero de dispersión cromática se encuentra en 1525 nm para las FO producidas por *Lucent* y en 1560 nm para las producidas por *Corning*. La dispersión se encuentra entre 2,6 y 6 ps/km.nm entre 1530 y 1560 nm.

Factores que afectan la propagación



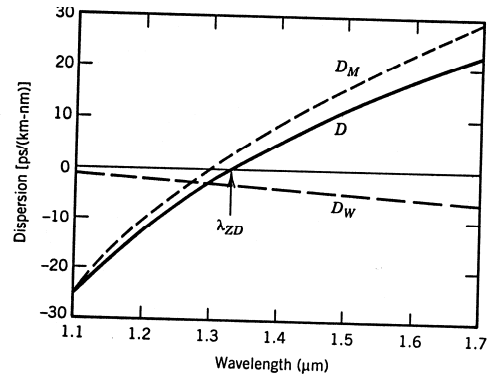
Balance Optico. Dispersión del enlace y limitaciones en el ancho de banda



Curvas de dispersión en fibras SM

Table 2.1 Characteristics of several commercial fibers

Fiber Type	NA	Δ (%)	$2w$ (μm)	λ_{ZD} (μm)	GVD Slope S [ps/(km-nm ²)]
Corning SMF-28	0.13	0.36	9.3	1.312	0.090
AT&T Matched-Clad	0.12	0.33	9.3	1.312	0.088
LITESPEC GSM-13	0.12	0.33	9.3	1.312	0.087
Corning SMF-DS	0.17	0.90	8.1	1.550	0.075
AT&T TrueWave	0.16	0.75	8.4	1.530	0.095
LITESPEC DSM-15	0.17	0.90	8.0	1.555	0.072



Cálculo del ancho de banda permitido de un enlace:

Por efecto de la dispersión se produce un ensanchamiento del pulso de información en el trayecto óptico:

El ensanchamiento del pulso $\Delta T = M(\lambda) \Delta \lambda L$

Donde:

ΔT = ensanchamiento del pulso en ps

$M(\lambda)$ = dispersión cromática en ps/nm.Km

$\Delta \lambda$ = ancho espectral medio del emisor en nm

L = longitud de la fibra en Km

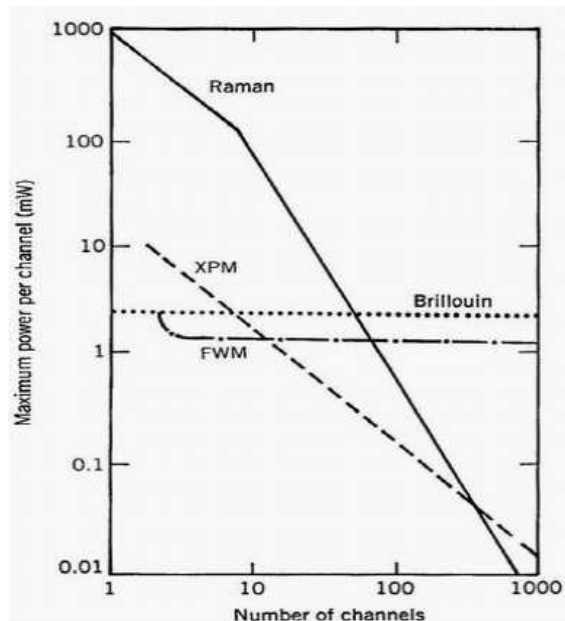
Como resultado, dependiendo de la frecuencia de la señal a transmitir, se agrega una penalidad de 1 dB para compensar en el receptor los efectos de interferencia intersímbolo entre pulsos:

La longitud máxima del enlace que se puede obtener en estas condiciones con fibra óptica estándar y sin compensación de dispersión cromática (17 ps/km.nm) sería:

Velocidad	Dispersión total	Distancia
2.5 Gb/s:	16,640 ps/nm	980 km SMF
10 Gb/s:	1,040 ps/nm	60 km SMF
40 Gb/s:	65 ps/nm	4 km SMF

Por lo que se ve que el uso de fibra SMF estándar es impráctico por encima de 2.5 GB/s. Actualmente se utilizan las fibras NZDSF, que si bien a la frecuencia de trabajo en 3ra ventana tienen un promedio de 2 ps/nm.km, se comportan mejor que las DSF para aplicaciones DWDM.

Limitaciones producidas por los efectos no lineales



Impacto en la potencia admisible en un DWDM en función de la cantidad de canales a transmitir al introducir las limitaciones causadas por los efectos no lineales



TABLE 1 Summary of the influence of optical nonlinearity in fibres for optical communications

Effect	Power limits				Special Applications
	Threshold ^a		Crosstalk ^c		
	Power ^b	Comments	Levels ^c	Comments	
SBS	2–4 mW (laser linewidth < 10 MHz)	Various suppression techniques	–20 dB at ~ 1 μW (–30 dBm)	Narrow band: easily avoided	Self-homodyne coherent detection
SRS	0.5–1 W		–20 dB at ~ 1 mW (0 dBm)	Very broadband: ~ 10 THz	All-optical repeaters
4-wave mixing	~ 5 W ^d	Modulational instability only if $\partial v_g / \partial \lambda > 0$	–20 dB at ~ 100 μW (–10 dBm)	Significant for channel separations < 100 GHz	Generation of sub-ps THz-rate pulse trains ^d
Kerr	AM–PM conversion: degraded coherent detection, e.g. > 0.5 dB penalty for 2 mW launch ^e (2-channel homodyne ASK) Nonlinear pulse broadening e.g. × 3 broadening of 100 ps ~ 4 W pulses ^e Modulational instability (see 4-wave mixing)				Soliton pulse transmission Pulse tailoring, compression and switching

Data and comments are extracted from the text:

^aAt 1.55 μm wavelength assuming 0.25 dB km^{–1} fibre loss.

^bApproximate threshold for detectable stimulated emission from noise.

^cOptical power levels for cross-channel interference under worst conditions.

^dStimulated modulation instability.

^eAt 1.3 μm wavelength assuming dispersion-shifted fibre ($\lambda_0 \approx 1.55 \mu\text{m}$).

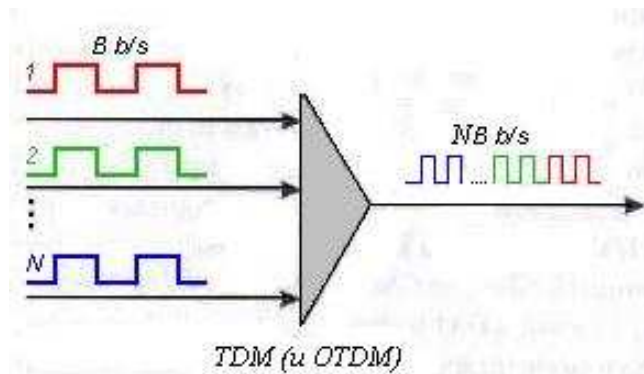
Técnicas de Multiplexación en Sistemas de Comunicaciones ópticas



Sistemas de Multiplexación

- **TDM**, *time division multiplexing*.
- **SDM**, *space division multiplexing*
- **WDM**, *wavelength division multiplexing*
- **SCM**, *subcarrier multiplexing*.

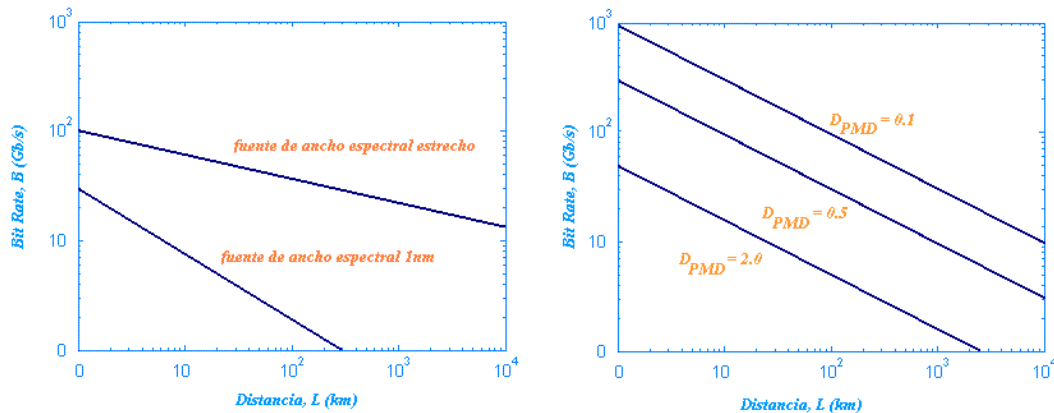
Sistema TDM



La técnica de multiplexación por división en el tiempo (TDM, *Time Division Multiplexing*), como muestra la siguiente figura, logra incrementar la velocidad de transmisión binaria intercalando datos de distintos canales, formando una cadena de datos de mayor velocidad.

La figura muestra el esquema de un multiplexor TDM de cuatro canales. En él las señales son muestreadas, de acuerdo a una secuencia de control lógica que verifica el teorema de Nyquist, y combinadas a la salida del sistema. Estos circuitos electrónicos deben ser capaces de trabajar a altas velocidades; la tasa binaria que alcanza la señal de salida de estos equipos de TDM electrónicos es del orden de 10Gb/s. Para lograr mayores tasas se requiere realizar esta multiplexación en el dominio óptico, esto es, la técnica de multiplexación por división en el tiempo en el dominio óptico (OTDM, *Optical Time Division Multiplexing*). Experimentalmente se ha logrado multiplexar señales ópticas de una tasa binaria de 10Gb/s obteniendo una señal multiplexada de 250 Gb/s.

Limitaciones de los sistemas TDM



Los dos principales problemas de la TDM son la dispersión cromática y la PMD (*Polarization mode dispersión*). Estos efectos limitan la capacidad de incremento de la tasa binaria conseguida mediante la TDM.

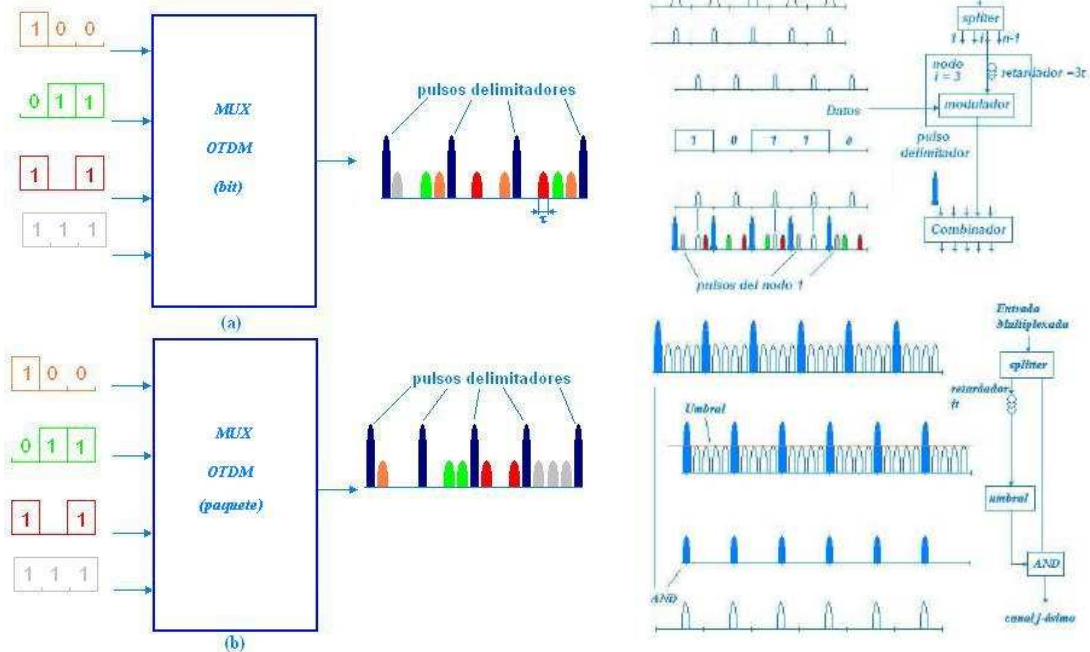
Como muestra la siguiente figura, en el caso de una fibra monomodo estándar (SMF, *single mode fiber*), la dispersión cromática limita la distancia y la tasa binaria a la que se transmite una señal óptica, por ejemplo entorno a distancias de 60km la tasa de transmisión debe ser de unos 10 Gb/s, mientras que para distancias de 1000km es de 2.5 Gb/s. La dispersión cromática puede contrarrestarse mediante el empleo de fibras DSF (*dispersión-shifted fiber*).

La PMD también impone restricciones en la tasa binaria y en la distancia de transmisión de la señal óptica. Para que el retraso que introduce la PMD sea admisible, esto es,

donde T es la duración del pulso ($\Delta\tau = D_{PMD} \sqrt{L} < 0.1T$) caso de un sistema que opere a 10Gb/s, y una fibra con una PMD de $0.1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$, la distancia de transmisión queda limitada a 25 km, por lo que para mayores distancias se requiere regenerar la señal. Los nuevos enlaces poseen valores de PMD menores de $0.05 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$, y por tanto sus efectos son menores.

La limitación de la TDM viene dada por la velocidad a la que operan los circuitos electrónicos, que se supera mediante la multiplexación en el dominio óptico, OTDM.

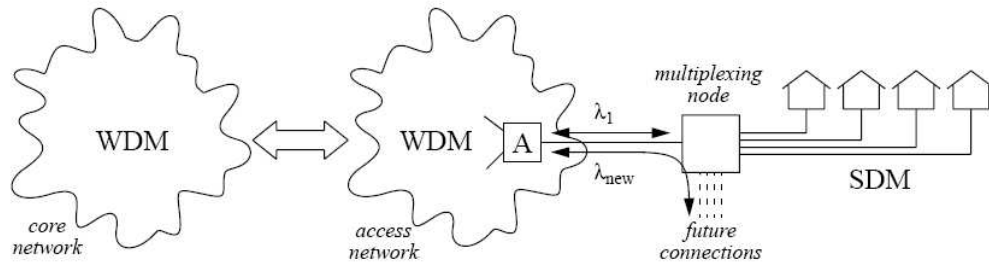
Sistema OTDM



El multiplexor óptico de bits genera un tren de pulsos periódico. Mediante un *splitter* se divide este tren de solitones en tantas réplicas del mismo como el número de canales multiplexados. Esta secuencia se retarda según el número del canal correspondiente, en este caso al tratarse del canal 3, se introduce un retardo igual a $3t_d$, para situarla en el intervalo de tiempo correspondiente. A continuación, la secuencia de datos de entrada al multiplexor modula el tren de solitones correspondiente, obteniendo una secuencia de solitones con los datos de entrada que se combina con el resto de secuencias generadas de forma análoga y con los pulsos delimitadores, que poseen un mayor nivel de potencia para facilitar la demultiplexación.

La operación de demultiplexación, consiste en dividir la secuencia de entrada en dos réplicas iguales. Una de las réplicas es retardada un múltiplo de t_d , correspondiente al número del canal demultiplexado. Mediante un comparador se extraen de esta secuencia los pulsos delimitadores que debido al retardo previo al que se han sometido coinciden con el intervalo de tiempo correspondiente al canal que se está demultiplexando, por lo que mediante una operación lógica AND esta información es extraída de la secuencia de pulsos no retardada.

Sistemas SDM



Esta técnica consiste en emplear varias fibras ópticas entre los dos extremos de un enlace, una para cada canal de comunicación. Esta técnica tan simple tiene dos inconvenientes que afectan al coste del sistema de comunicaciones en el que se emplea.

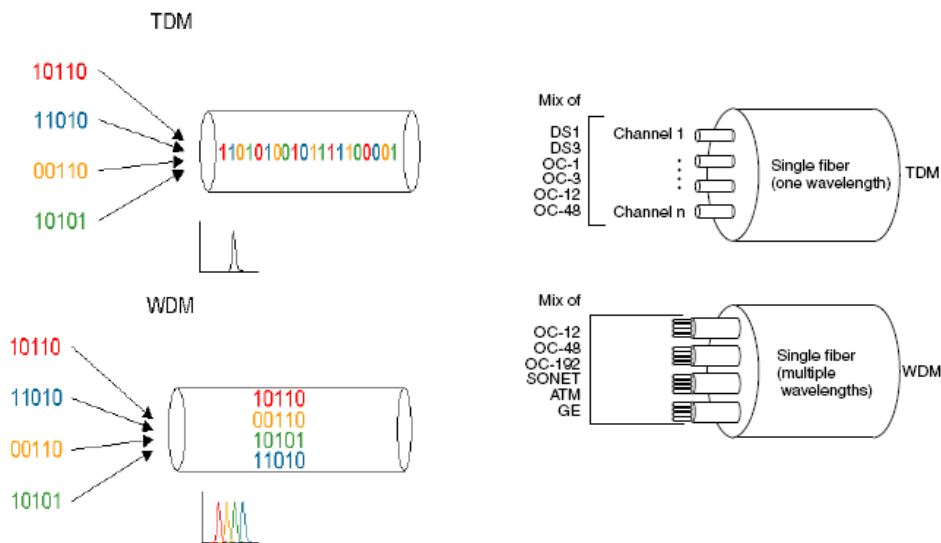
El primer inconveniente surge a la hora de ampliar el número de fibras en un enlace existente. Esta operación es muy cara, incluso en distancias cortas, en el caso de que sea necesario poner cables nuevos. Por ello, cuando se instala un nuevo enlace óptico, el cable contiene cientos de fibras ópticas para evitar la instalación de futuros cables.

La segunda desventaja de la SDM es que por cada fibra se requiere un equipo de amplificación o repetidores por lo que el coste de la infraestructura se incrementa considerablemente para enlaces de grandes distancias. Las técnicas de multiplexación TDM y WDM permiten compartir los amplificadores y/o repetidores entre varios canales reduciendo así el coste.

La SDM es una técnica competitiva cuando las distancias en las que se va a emplear son tan cortas que no se requieren equipos de amplificación o repetidores, la configuración es estática, es decir no se espera modificar en el futuro los anchos de banda lo que requeriría aumentar la cantidad de fibras.

Una utilización posible es en redes HFC, donde se tienden varias fibras juntas a cada nodo, permitiendo dividir el tráfico entre ellas.

Sistemas WDM



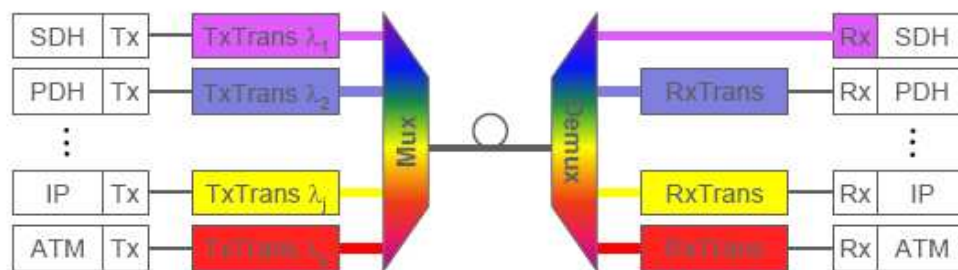
El fundamento de la multiplexación por división en longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*) es análogo a la multiplexación por división en frecuencia (FDM, *frequency division multiplexing*). La técnica WDM consiste en transmitir por una misma fibra varias señales cada una en una longitud de onda diferente y con la misma tasa binaria, sin que interfieran entre sí ya que están lo suficientemente separadas. De este modo la capacidad del enlace se multiplica por el número de canales.

Las principales ventajas de WDM sobre TDM son:

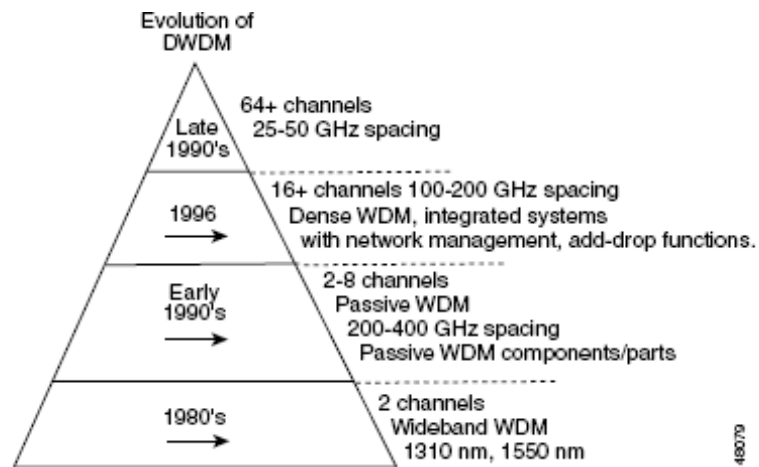
Con esta técnica se aprovecha mejor el ancho de banda de la fibra óptica.

- Las tasas de transmisión binaria de cada canal son más bajas que la de la señal multiplexada TDM, por lo que la distancia de transmisión límite impuesta por la dispersión cromática es mucho mayor que en un sistema TDM. De la misma manera la limitación que impone la PDM no es tan grave. Además, la distancia entre repetidores y amplificadores es mucho mayor al poder emplearse EDFAs por operar en la tercera ventana.
- El sistema es más escalable. Es decir, la capacidad de transmisión se puede incrementar de forma modular añadiendo nuevas longitudes de onda.
- El diseño de los sistemas WDM es transparente al formato y velocidad de transmisión de los datos. Lo cual es la principal ventaja de esta técnica.
- En redes complejas es más sencillo emplear WDM frente a TDM porque la extracción y la inserción de canales es más sencilla gracias a los elementos ópticos como los AODM.

Transmisión de distintos tipos de señales

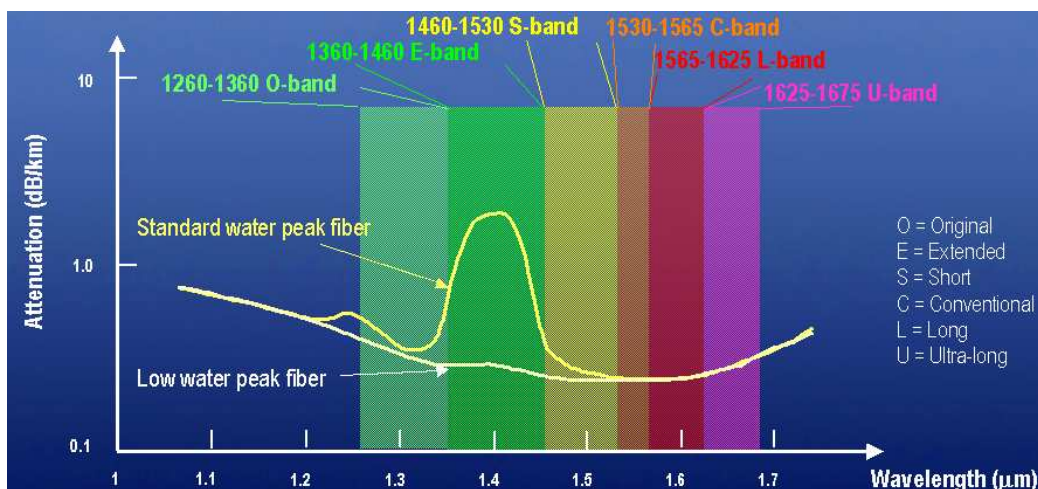


Evolución de la tecnología WDM



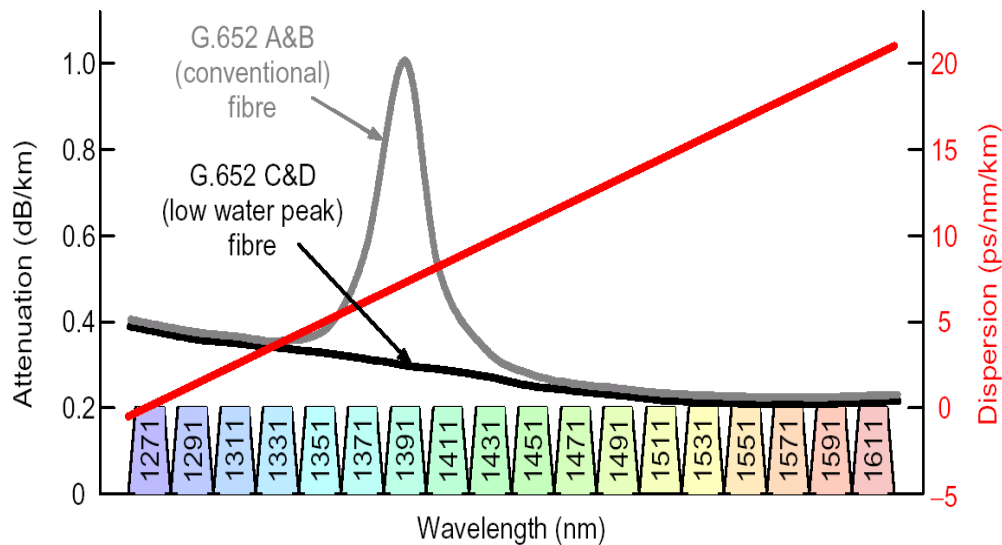
Bandas según G.692

81 canales en Banda C (espaciamiento: 50 GHz – 0.4 nm)



Band	Descriptor	Range (nm)
O band	Original	1260 to 1360
E band	Extended	1360 to 1460
S band	Short wavelength	1460 to 1530
C band	Conventional	1530 to 1565
L band	Long wavelength	1565 to 1625
U band	Ultralong wavelength	1625 to 1675

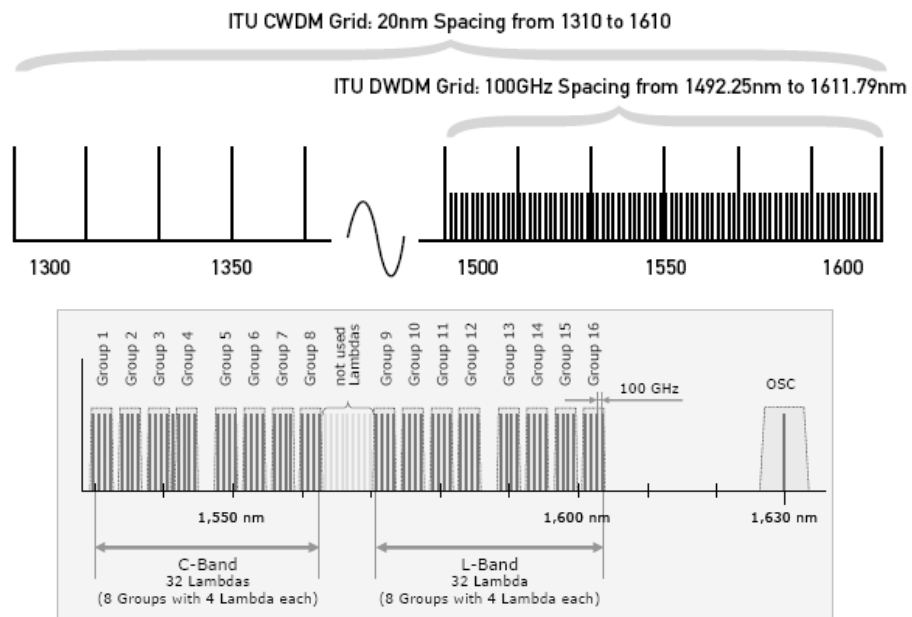
Canales CWDM



Para garantizar la compatibilidad de los productos de distintos fabricantes y diseñadores de equipos se estableció un estándar por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Éste establece una malla o rejilla de longitudes de onda para la ubicación de los canales WDM. Esta rejilla está situada en la tercera ventana (bandas L, C y S), ya que es la región de mínima atenuación para las fibras y porque los amplificadores ópticos adecuados operan en esta región.

La rejilla de la UIT está especificada en términos de frecuencias. La frecuencia de referencia es 193.1 THz (1552.524 nm) y las restantes se sitúan separadas unas de otras una distancia de 100 ó 50 GHz (0.8 y 0.4 nm, respectivamente). Actualmente se está desarrollando sistemas donde la separación entre canales se reduce a 25 GHz. Esta separación ha de ser tal que se evite la interferencia entre canales adyacentes y la distorsión de las señales. Esto depende de la estabilidad y selectividad en frecuencia de los filtros y demultiplexores, y de la estabilidad y la anchura espectral de las fuentes ópticas.

CWDM vs DWDM



Longitudes de ondas centrales nominales (nm) para un espaciamiento de 20 nm
1271
1291
1311
1331
1351
1371
1391
1411
1431
1451
1471
1491
1511
1531
1551
1571
1591
1611
NOTA – Los puntos extremos de este cuadro se presentan a título informativo solamente.

Comparación entre CWDM y DWDM

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
Tipo de láser	uncooled DFB	cooled DFB	cooled DFB
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
Distancia	hasta 80 km	cientos de km	miles de km
Coste	bajo	medio	Alto
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman



CWDM

Ventajas

- Aplicación a entornos Metropolitanos.
- Bajo Costo de componentes ~ 10% DWDM
- $\Delta\lambda$ grande permite variaciones en las longitudes de onda de los laser. Evita emplear controladores de temperatura
- Bajo consumo en los laser $0.5\text{mW} < 2\text{mW}$ (DWDM).
- Filtros de película delgada (TFF) mas simples.
- Implementado con tecnologia GBICs (gigabit interface converters)

Desventajas

- Fibras monomodo G.652 presentan atenuación significativa de 1350 nm a 1450 nm debido al pico de absorción del agua.
- Se requieren fibras G.652C con reducción del pico de agua. (mayor costo que fibras estándar)
- 16 canales CWDM (1310 nm a 1610 nm) con fibra ZWPF (zero water peak fiber). 8 Canales con fibras SMF estándar

Frecuencias Centrales y Espaciamiento de Canales

central frequencies(wavelengths) for 100 GHz spacing

$$f_c = 193.1 \pm m \times 0.1 THz$$

$$\lambda_c = 1552.52 nm \pm m \times 0.8 nm$$

central frequencies(wavelengths) for 50 GHz spacing

$$f_c = 193.1 \pm m \times 0.05 THz$$

$$\lambda_c = 1552.52 nm \pm m \times 0.4 nm$$

Espaciado de Canal (GHz):

400, 200, 100, 50, 25, 12.5

Cantidad de canales:

4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512

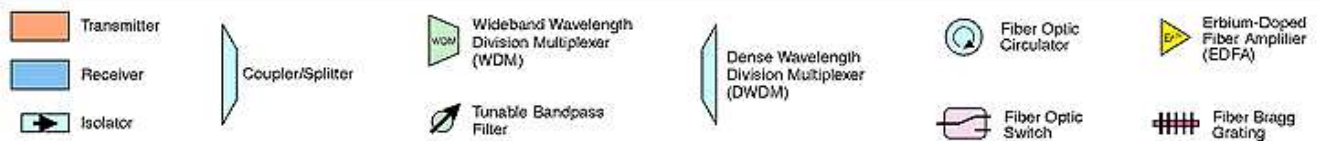
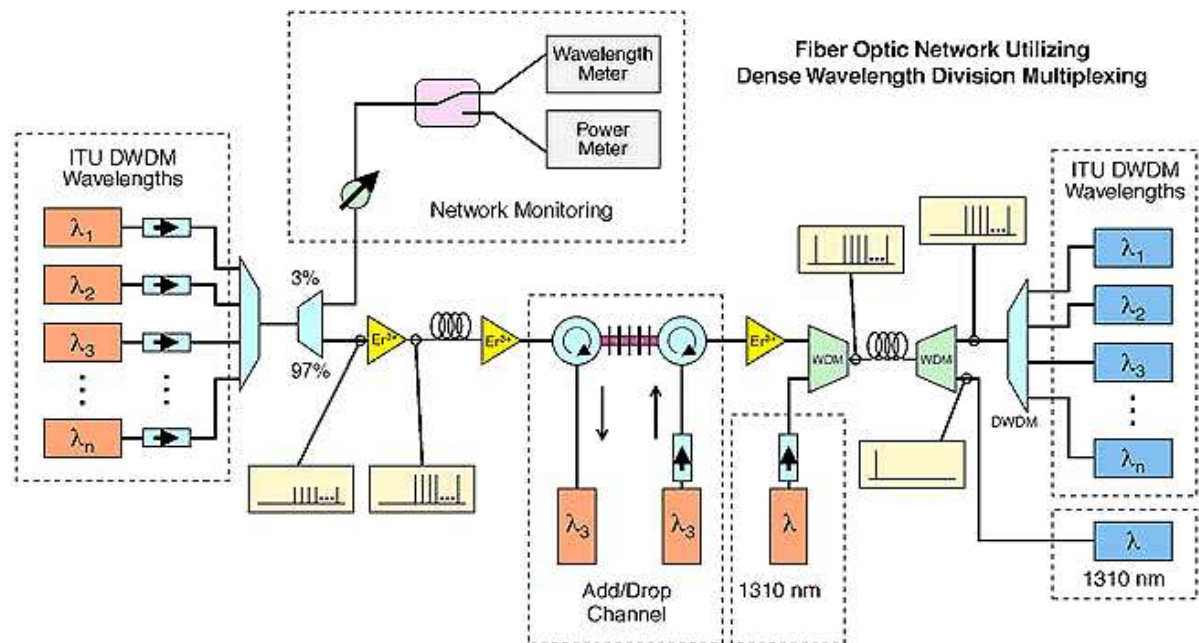


Grilla de Canales según G.694 para distintos espaciamentos

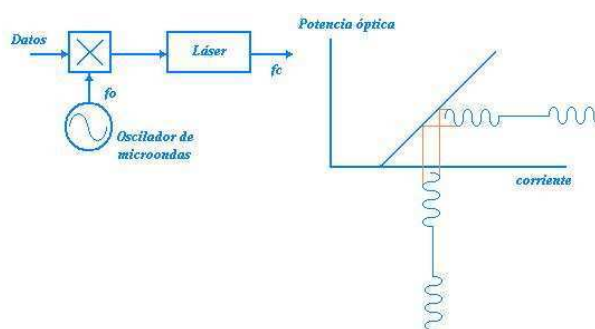
Frecuencias centrales nominales (THz) para espaciamentos de				Longitudes de ondas centrales nominales (nm) aproximadas
12,5 GHz	25 GHz	50 GHz	100 GHz y espaciamentos superiores	
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
195,9375	–	–	–	1530,04
195,9250	195,925	–	–	1530,14
195,9125	–	–	–	1530,24
195,9000	195,900	195,90	195,9	1530,33
195,8875	–	–	–	1530,43
195,8750	195,875	–	–	1530,53
195,8625	–	–	–	1530,63
195,8500	195,850	195,85	–	1530,72
195,8375	–	–	–	1530,82
195,8250	195,825	–	–	1530,92
195,8125	–	–	–	1531,02
195,8000	195,800	195,80	195,8	1531,12
195,7875	–	–	–	1531,21
195,7750	195,775	–	–	1531,31
195,7625	–	–	–	1531,41
195,7500	195,750	195,75	–	1531,51
195,7375	–	–	–	1531,60
195,7250	195,725	–	–	1531,70
195,7125	–	–	–	1531,80
195,7000	195,700	195,70	195,7	1531,90
195,6875	–	–	–	1532,00
195,6750	195,675	–	–	1532,09
195,6625	–	–	–	1532,19
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
193,2375	–	–	–	1551,42
193,2250	193,225	–	–	1551,52
193,2125	–	–	–	1551,62
193,2000	193,200	193,20	193,2	1551,72
193,1875	–	–	–	1551,82
193,1750	193,175	–	–	1551,92

Frecuencias centrales nominales (THz) para espaciamentos de				Longitudes de ondas centrales nominales (nm) aproximadas
12,5 GHz	25 GHz	50 GHz	100 GHz y espaciamentos superiores	
193,1625	–	–	–	1552,02
193,1500	193,150	193,15	–	1552,12
193,1375	–	–	–	1552,22
193,1250	193,125	–	–	1552,32
193,1125	–	–	–	1552,42
193,1000	193,100	193,10	193,1	1552,52
193,0875	–	–	–	1552,62
193,0750	193,075	–	–	1552,73
193,0625	–	–	–	1552,83
193,0500	193,050	193,05	–	1552,93
193,0375	–	–	–	1553,03
193,0250	193,025	–	–	1553,13
193,0125	–	–	–	1553,23
193,0000	193,000	193,00	193,0	1553,33
192,9875	–	–	–	1553,43
192,9750	192,975	–	–	1553,53
192,9625	–	–	–	1553,63
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
184,7750	184,775	–	–	1622,47
184,7625	–	–	–	1622,58
184,7500	184,750	184,75	–	1622,69
184,7375	–	–	–	1622,80
184,7250	184,725	–	–	1622,91
184,7125	–	–	–	1623,02
184,7000	184,700	184,70	184,7	1623,13
184,6875	–	–	–	1623,24
184,6750	184,675	–	–	1623,35
184,6625	–	–	–	1623,46
184,6500	184,650	184,65	–	1623,57
184,6375	–	–	–	1623,68
184,6250	184,625	–	–	1623,79
184,6125	–	–	–	1623,90
184,6000	184,600	184,60	184,6	1624,01
184,5875	–	–	–	1624,12
184,5750	184,575	–	–	1624,23
184,5625	–	–	–	1624,34
184,5500	184,550	184,55	–	1624,45
184,5375	–	–	–	1624,56
184,5250	184,525	–	–	1624,67
184,5125	–	–	–	1624,78
184,5000	184,500	184,50	184,5	1624,89
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•

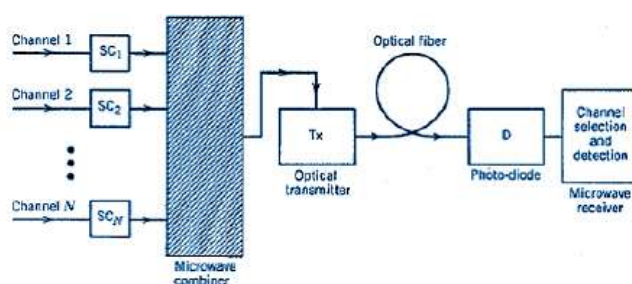
Arquitectura de un sistema DWDM



Sistemas SCM



Modulación SCM



Sistema multiplexor SCM

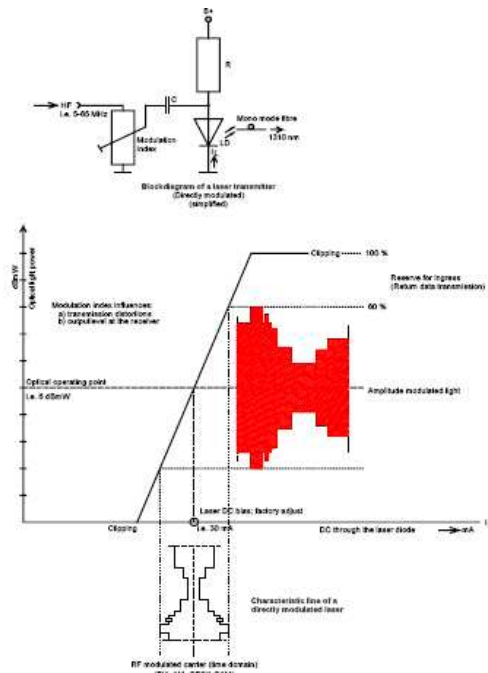


La SCM (*subcarrier Multiplexing*) consiste en modular una portadora cuya frecuencia está situada en el rango de las microondas (denominada subportadora, que puede estar modulada en amplitud, frecuencia o fase, empleando tanto técnicas digitales con analógicas), de forma que la señal resultante modula a continuación una portadora óptica, tal y como se muestra en el esquema.

De esta forma se pueden multiplexar diferentes cadenas de datos en una única señal óptica.

La ventaja principal de este sistema es la flexibilidad y escalabilidad para el diseño de redes de banda ancha.

Sistemas SCM Analógicos



Estos sistemas se emplean para la transmisión de video. Muchas redes CATV (*Community Antenna Television*) distribuyen los canales de televisión empleando técnicas de modulación en frecuencia, FM, o modulación de amplitud con banda lateral vestigial, AM-VSB. Estos sistemas requieren una alta SNR en el receptor y una linealidad muy estricta en las fuentes ópticas y en los canales de comunicación.

Las portadoras de microondas son moduladas en distintos formatos son combinadas para formar una señal que modula la intensidad de un láser. La potencia en el receptor sería la misma si el canal de comunicación fuese lineal, pero en la práctica se produce distorsión en la señal durante su transmisión. La principal fuente de distorsión en estos sistemas es la distorsión por intermodulación (IMD, *intermodulation distortion*) que es similar a la provocada por la distorsión FWM. Aparecen nuevas frecuencias, productos de intermodulación, de la forma $f_i + f_j$ (IMD de segundo orden) y $f_i + f_j \pm f_k$ (IMD de tercer orden), algunos de estos batidos de frecuencia caen dentro del ancho de banda de transmisión distorsionando así la señal. En un sistema SCM de N canales se generan $N(N-1)(N-2)/2$ batidos triples y $N(N-1)$ batidos dobles. Para caracterizar estas distorsiones se definen los parámetros CSO (*composite second order*) y CTB (*composite triple beat*). Estos parámetros se definen como el cociente entre la potencia del producto de intermodulación de segundo orden o tercer orden, respectivamente, y la potencia de la portadora. Las unidades de estos parámetros son dBc, donde c indica que se normaliza la potencia de los términos de distorsión con la potencia de la subportadora.

En los sistemas SCM, el valor de la CMR depende de la modulación empleada. En el caso de AM-VSB, la CNR debería superar los 50dB. Esto se logra incrementando la potencia óptica recibida por encima de 0.1mW. Esto tiene dos efectos. El primero es que el balance de potencia de los sistemas SCM con modulación analógica AM se limita extremadamente a no ser que la potencia del transmisor se incremente por encima de los 10mW. El segundo efecto es que la contribución del ruido de la intensidad crece de forma cuadrática con la potencia por lo que esta contribución es la mayor limitación del rendimiento del sistema, provocando que la CNR sea independiente de la potencia óptica recibida cuando esta es suficientemente elevada.

En el caso de sistemas SCM con modulación de frecuencia el valor de la CNR necesaria para su correcto funcionamiento es menor que en el caso de la modulación de amplitud, en torno a los 16 dB. Así la potencia óptica que necesita el receptor puede ser del orden de 10μW, de forma que la RIN no es un problema siempre que no sea inferior a -135dB/Hz. En estos sistemas la componente de ruido dominante es el ruido térmico.

Sistemas SCM Digitales

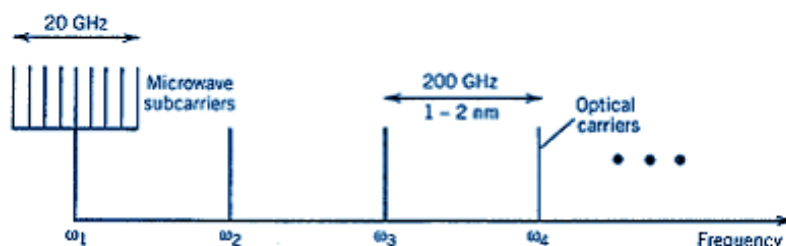
- Utiliza modulación QAM multinivel (QAM-64/QAM-256)
- Es afectada por fenómenos no lineales de primer orden como SPM, SBS debido a las altas potencias ópticas requeridas



Una de las técnicas digitales de modulación más empleada en combinación con SCM es la modulación de amplitud en cuadratura, QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). en concreto se emplea la QAM multinivel. Esta técnica combina la modulación en amplitud y fase. Aprovecha el hecho de que se puede transmitir 2 señales simultáneamente sobre la misma portadora si estas están en cuadratura, desplazadas 90°. Es multinivel porque se emplean M amplitudes distintas, tal que $M=2^m$ (normalmente se emplea $M=64$), luego cada símbolo representa una cadena de m bits.

Otra alternativa es emplear sobre SCM una combinación de la modulación analógica AM-VSB y la modulación digital M-QAM. Este sistema híbrido permite transmitir simultáneamente un gran número de canales de TV. Estos sistemas se ven afectados por las reflexiones ópticas, *clipping noise*, los efectos no lineales como SPM (*Selph-Phase Modulation*) y SBS (*Stimulated Brillouin Scattering*), que limitan la potencia óptica y los canales multiplexados. Estos sistemas pueden transportar más de 80 canales analógicas y 30 canales digitales empleando un único láser.

Combinación de SCM y WDM



La combinación de SCM y WDM potencialmente, permite diseñar redes de ópticas capaces de suministrar servicios integrados (audio, video, datos, ...) a un gran número de abonados.

Varias portadoras ópticas son transmitidas por la misma fibra óptica mediante la técnica WDM. Cada portadora tiene varias subportadoras de microondas para cada canal. Esto permite mezclar señales analógicas y digitales empleando distintas portadoras o subportadoras.

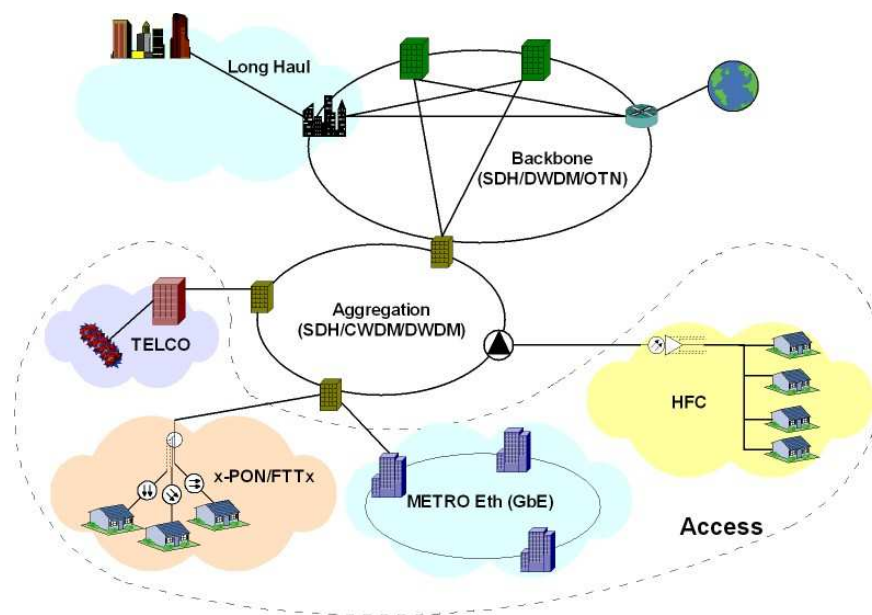
El *crosstalk* o diafonía es el principal limitación de esta técnica. El origen de la diafonía se encuentra en los efectos no lineales como SRS y XPM, o en efectos lineales como *optical beat interference*. Esto ocurre cuando varios usuarios transmiten a la vez en el mismo canal óptico pero con diferentes frecuencias subportadoras. En esta situación como las frecuencias subportadoras son ligeramente diferentes se produce un batido entre ellas. Si la frecuencia de este batido solapa alguna subportadora activa dificultará el proceso de detección de ese canal.

Esta técnica es muy útil en redes LAN o MAN, ya que mediante un único transmisor y receptor óptico se pueden transmitir varios servicios (telefonía, transmisión de datos, televisión analógica y digital, etc...) empleando diferentes subportadoras de microondas. Este sistema permite dar servicio a $N \cdot M$ usuarios, donde N es el número de longitudes de onda y M es el número de portadoras de microondas, empleando por tanto únicamente N transmisores ópticos. Además se puede reducir el coste del equipamiento empleando longitudes de onda relativamente separadas.

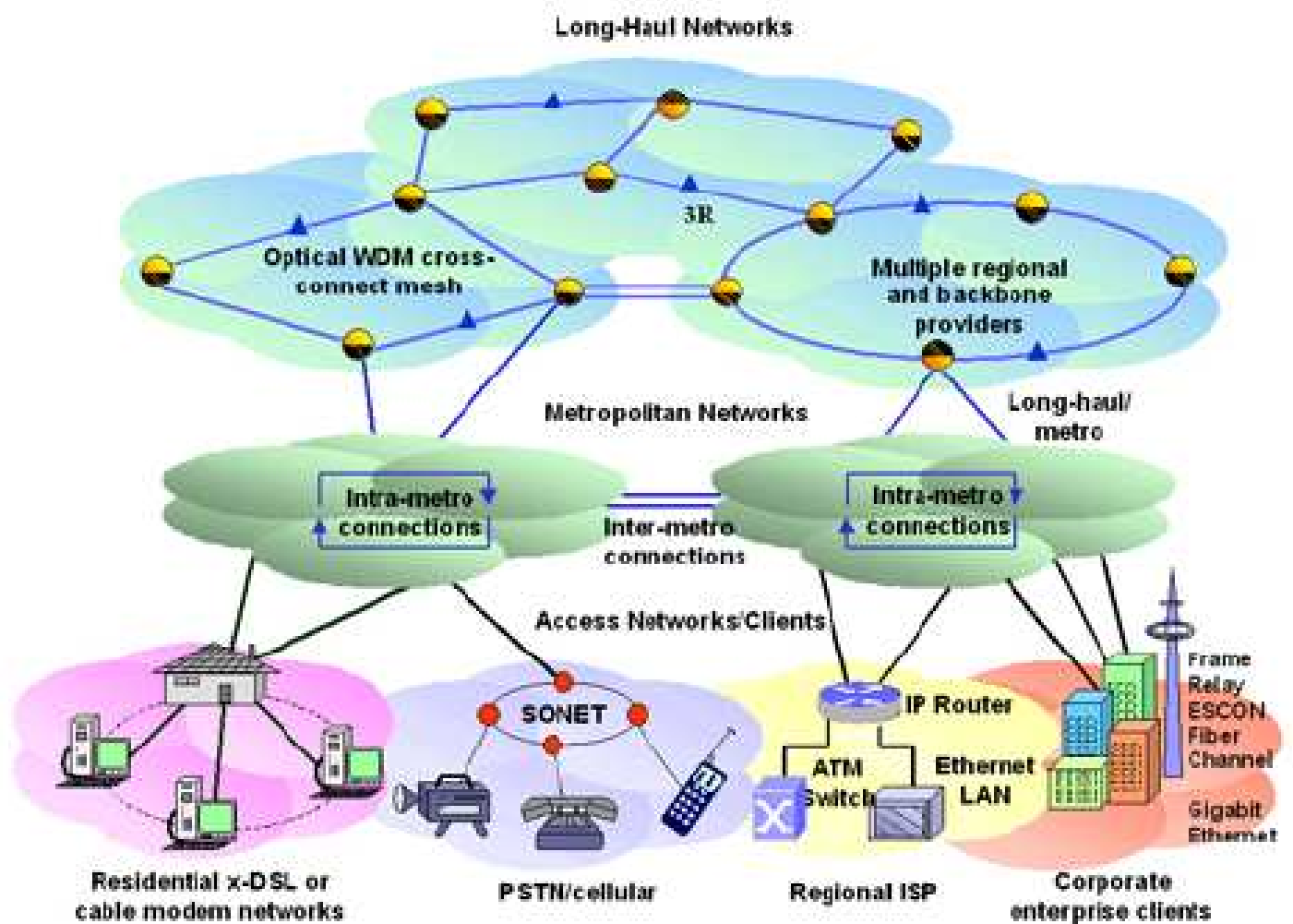
Arquitecturas de red óptica



Topología de las redes Ópticas



Segmentos de una red Optica



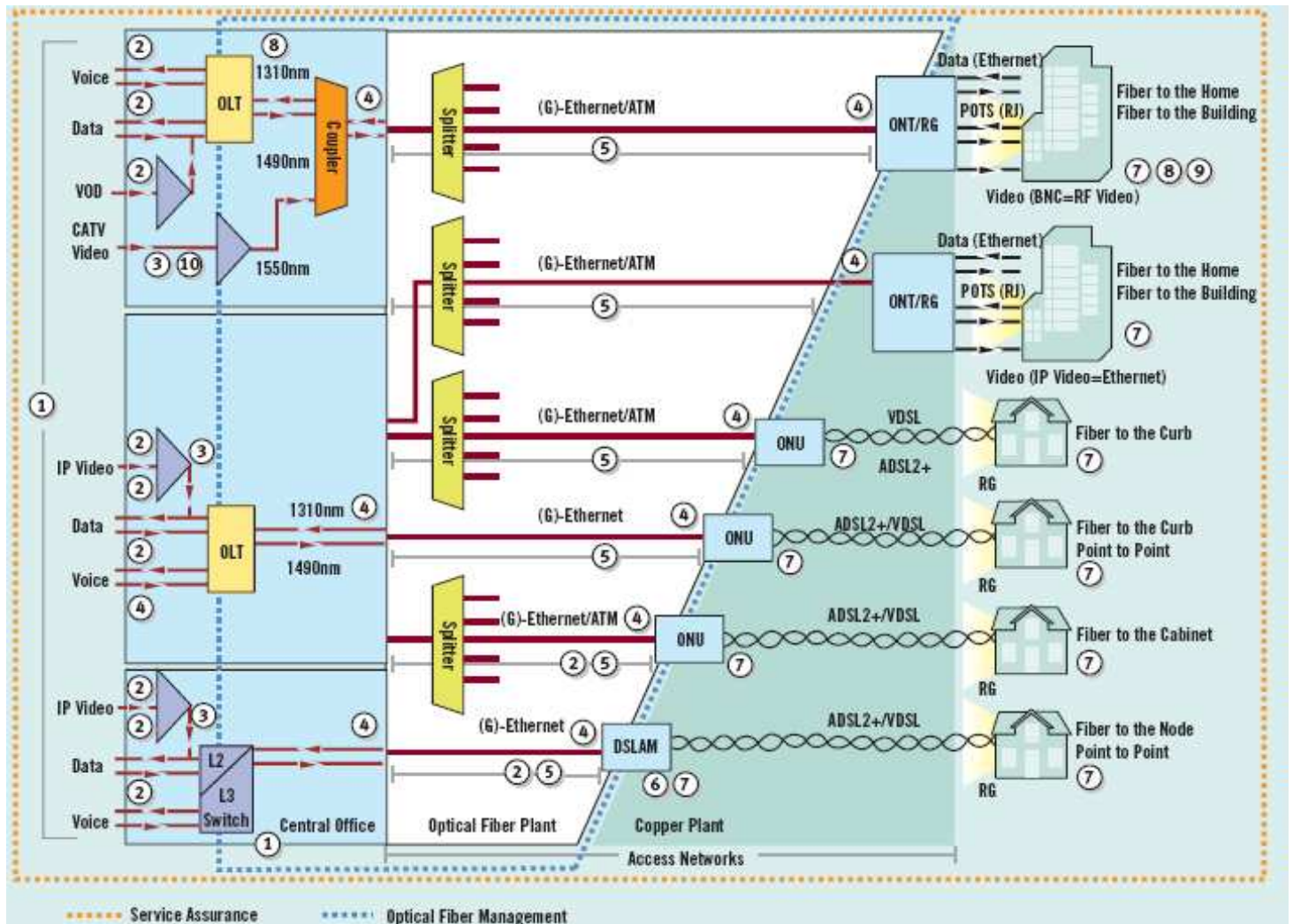
Características de redes de transporte metro vs larga distancia

	Long-haul	Metro
Transmission distance	Hundreds to thousands of km	Typically up to 100 km
Traffic channels	2.5 Gbps, 10 Gbps, and 40 Gbps	Highly diverse, SONET-like channels coexist with Fiber and Gigabit Ethernet channels
Fiber topology	Linear	Ring or mesh
Traffic topology	Linear	Hub-and-spoke
Traffic protection	Implemented by OXC, DCC, or upper layer protocol. Transmission system itself does not provide protection	Transmission system must provide protection or support client layer protection mechanisms
Migration	Limited to additional channels	Addition of both capacity and new ring sites
Cost	Low cost is an advantage	Must be low enough to compete with alternative technologies and the provision of additional fiber
Footprint	Small size is an advantage	Small size is crucial

Redes de acceso pasivas (PON)



Tipos de redes FTTx



Características y variantes de redes PON

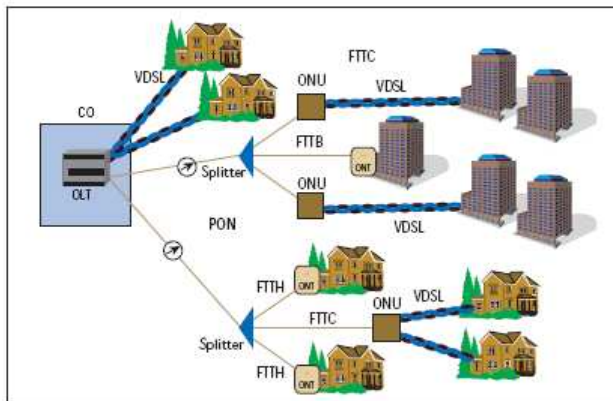
Type	APON (ATM-Based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit-Capable PON)		EPON (Ethernet PON)
Protocol	ATM	ATM	ATM	ATM and GEM ¹	Ethernet + FEC ²
Standard	ITU-T G.983.1 (including Amendment 1)	ITU-T G.983.3	ITU-T G.983.1 (Amendment 2)	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
Architecture	Symmetric: FTTCab/B/C/H Asymmetric: FTTCab/B/C	Symmetric: FTTCab/B/C/H Asymmetric: FTTCab/B/C	Symmetric: FTTCab/B/C/H Asymmetric: FTTCab/B/C	Symmetric: FTTCab/C/H/B for Multidwelling Units (MDU); FTTB for Business Asymmetric: FTTCab/C/H/B-MDU	1000BASE-PX10 1000BASE-PX20
Services	Telecommunication Services for Small Businesses, Teleconsulting, etc.: Symmetric FTTCab/C/H/B Digital Broadcast Services, Video-on-Demand, Internet, Distant Learning, Telemedicine, etc.: Asymmetric FTTCab/C/H/B Voice: FTTCab/C/H/B	Voice/Data/Video/ Additional Digital Services (ADS)/Future Services	Voice/Data	Content Broadcast, E-mailing, File Exchange, Distant Learning, Telemedicine, Online Gaming, etc.: Symmetric FTTCab/C/H/B-MDU/Business Digital Broadcast Services, Video-on-Demand, File Download, etc.: Asymmetric FTTCab/C/H/B-MDU Voice: FTTCab/C/H/B-MDU/Business Private Line: FTTB-Business xDSL: FTTCab/C	Triple-play

Características y variantes de redes PON

Type	APON (ATM-Based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit-Capable PON)		EPON (Ethernet PON)
Fiber Type	ITU-T G.652 (Single or Dual Fiber)	ITU-T G.652 (Single Fiber)	ITU-T G.652 (Single or Dual Fiber)	ITU-T G.652 (Single or Dual Fiber)	1000BASE-PX10: Single Fiber 1000BASE-PX20: Dual Fiber (No fiber type specified)
Maximum Physical Distance (ONT-OLT)	20 km	20 km	20 km	10 km (Fabry-Perot Laser Diodes for 1244.16 Mb/s and higher) 20 km > 20 km (with different fiber types—for further study)	1000BASE-PX10: 10 km 1000BASE-PX20: 20 km
Split Ratio	Up to 32	Up to 32	Up to 32	Up to 64 (realistic) Up to 128 (considered)	1:16 Up to 32
Wavelength Band	Single fiber: Downstream: 1480-1580 nm; Upstream: 1260-1360 nm Dual fiber: 1260-1360 nm	Upstream: 1260-1360 nm (ATM-PON) Upstream and/or Downstream: Intermediate Wavelength Band: 1360-1480 nm (for future use) 1.5 μ m Wavelength Band: Basic Band: 1480-1500 nm (ATM-PON Downstream) Enhancement Band: (1) 1539-1565 nm (ADS) (2) 1550-1560 nm (Video Distribution Service) Future L Band: Wavelengths not yet defined (for future use)	Single fiber: Downstream: 1480-1580 nm; Upstream: 1260-1360 nm Dual fiber: 1260-1360 nm	Single Fiber: Downstream: 1480-1500 nm Upstream: 1260-1360 nm Dual Fiber: Downstream/Upstream: 1260-1360 nm	1000BASE-PX10: Downstream: 1490 nm + PIN Rx; Upstream: 1300 nm (low-cost FP optics and PIN Rx) 1000BASE-PX20: Downstream: 1490 nm + APD Rx; Upstream: 1300 nm (DFB optics + PIN Rx)

Características y variantes de redes PON

Type	APON (ATM-Based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit-Capable PON)		EPON (Ethernet PON)
Data Rate(s)	Symmetric: 155.52/622.08 Mb/s Asymmetric: Downstream: 622.08 Mb/s Upstream: 155.52 Mb/s	Symmetric: 155.52/622.08 Mb/s Asymmetric: Downstream: 622.08 Mb/s Upstream: 155.52 Mb/s	Symmetric: 155.52/622.08 Mb/s Asymmetric: Downstream: 622.08/1244.16 Mb/s Upstream: 155.52/622.08 Mb/s	Symmetric: 1244.16/2488.32 Mb/s Asymmetric: Downstream: 1244.16/2488.32 Mb/s Upstream: 155.52/622.08/1244.16 Mb/s	Symmetric: 1.25 Gb/s

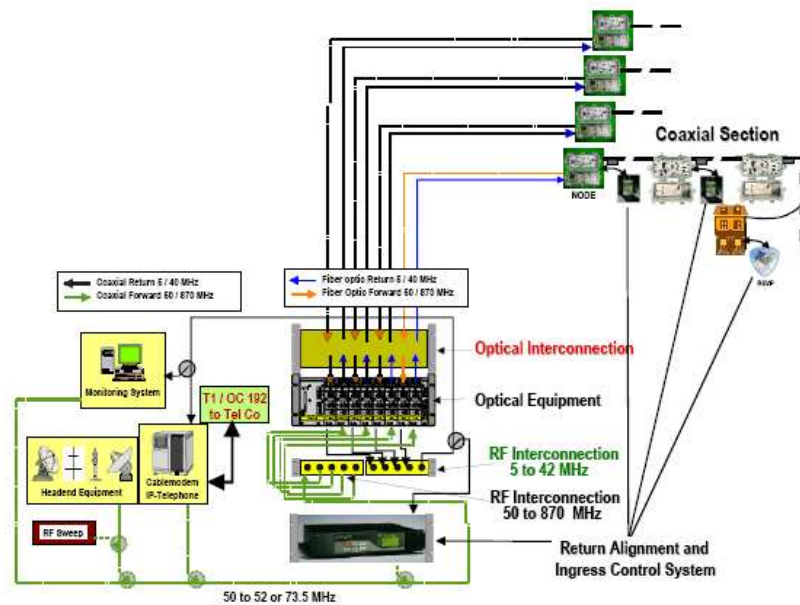


Services	
Data:	• High-Speed Internet • Legacy Data to Corporate Customers • Private Lines • Frame Relay • ATM Connections • Interactive Gaming • Monitoring and Security Systems • Future Services
POTS:	• Single or Multiple Phone Lines
Video:	• Digital and Analog Broadcast Video • High-Definition Television (HDTV) • Video-on-Demand (VOD) • Interactive TV/Pay Per View

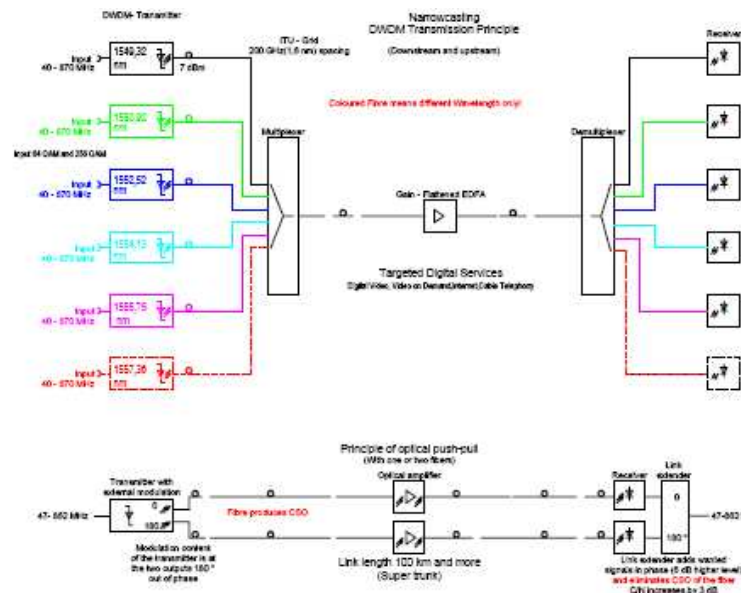
Redes Híbridas de Fibra y Cable (HFC)



Esquema de una red HFC

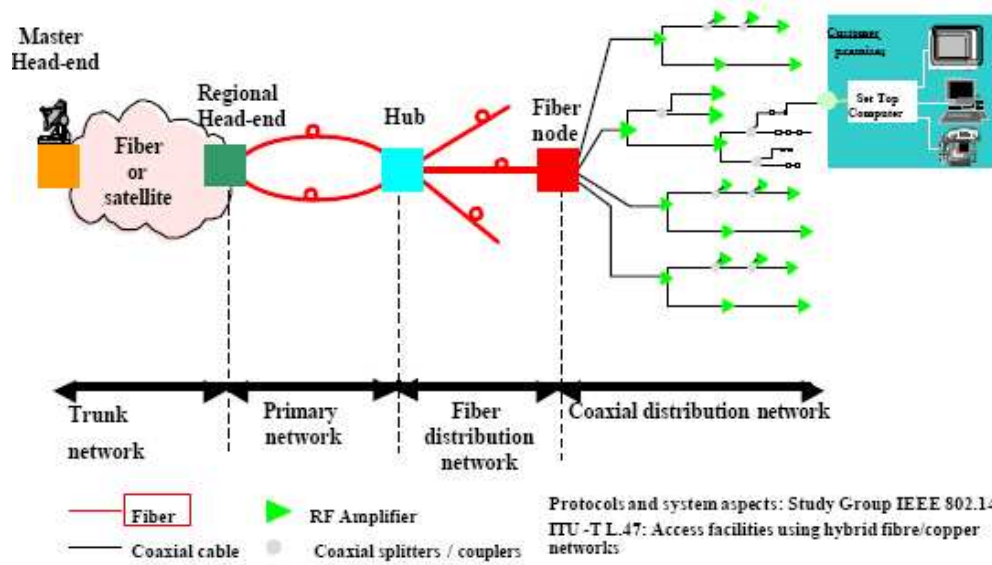


Transmisión analógica en varias longitudes de onda

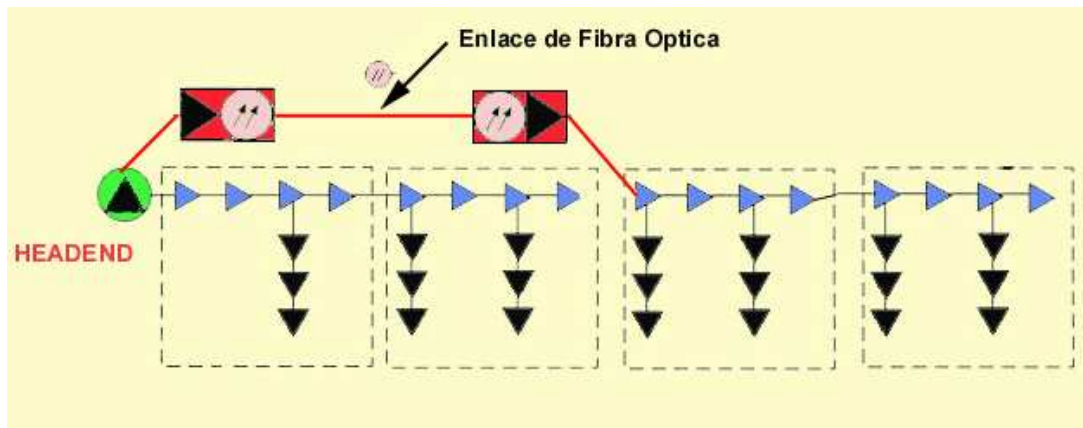


- 1550 nm transmission technology for distances up to appr. 100 km
- Externally modulated transmitters (Chirp) for analogue signal transmission; 2 outputs; 180 ° phase-delayed, chromatic dispersion of the standard monomode fibre at 1550 nm = 17 ps/nm/km
- Fibre generates CSO
- Stimulated Brillouin (SBS), Raman and Rayleigh scattering
- Phase noise
- Self-phase modulation
- Wave length selected, direct modulated transmitters in DWDM technology (Dense Wave Division Multiplex) and wave length couplers
- CWDM technology (Corse Wave Division Multiplex) of 1310 to 1625 nm in connection with fibre type G.625.C
- Optical pushpull (single fibre/two fibres system) to improve the CSO and C/N ratios
- Optical 1550 nm EDFA (Erbium doped fibre amplifier), gain flattened

Secciones de red HFC



Topologías de redes HFC - CAN

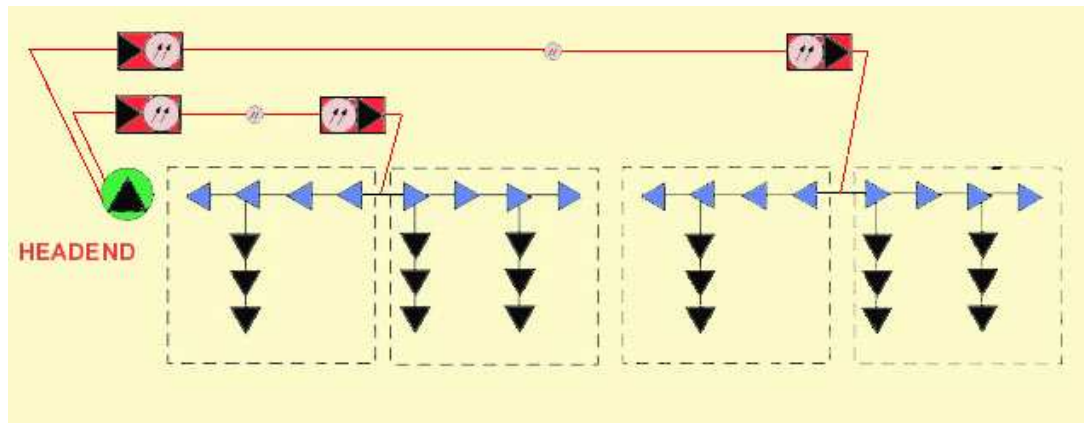


Cable Area Network

Más que una arquitectura se trata de una herramienta de actualización del sistema (upgrade).

- Consiste en reemplazar partes de la línea troncal por enlaces de fibra óptica.
- Permite mejorar la confiabilidad y la calidad de la señal al reducir cascadas de amplificadores.
- Permite implementar sistemas redundantes si se utiliza la vieja troncal como reserva.
- Permite utilizar este recurso como alternativa para ampliar el ancho de banda reemplazando troncales por equipos de mayor ganancia (superior a 30 dB)

Fiber Backbone

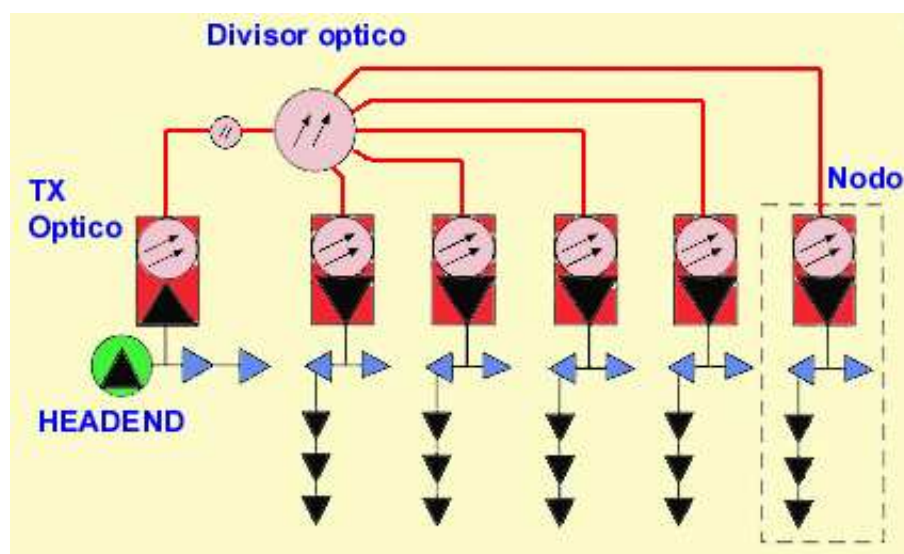


Fiber Backbone

Si se invierte la posición de algunos amplificadores de la vieja troncal se logra optimizar la relación entre cascada y cantidad de enlaces de fibra.

- Se pierde la redundancia al no poder utilizarse la vieja troncal como reserva.
- Esta arquitectura se utilizó tanto en actualización como en nuevas construcciones a fines de los 80s

Fiber to the feeder

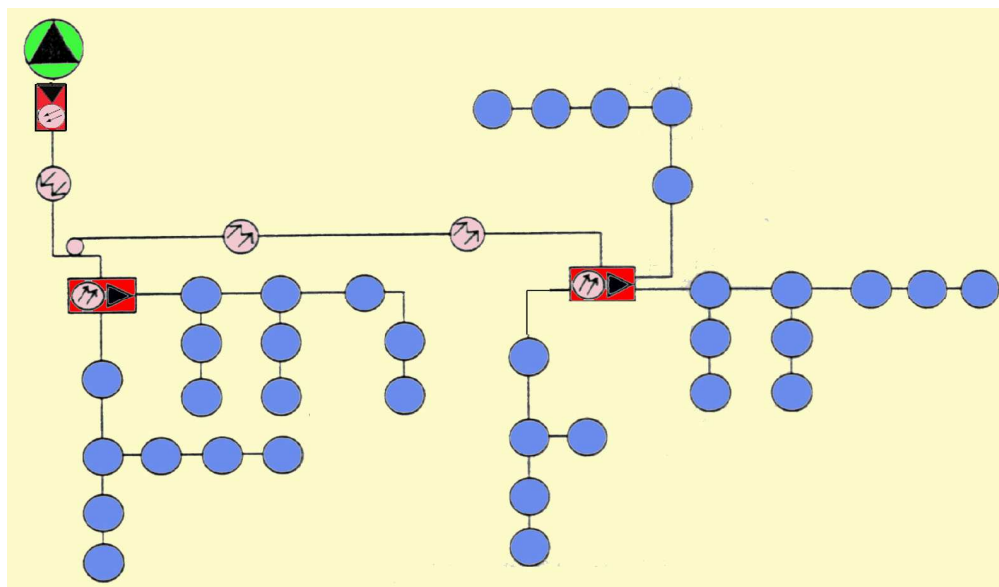


Fiber to the feeder

Esta arquitectura parte de definir el alcance del nodo optico en funcion de una cierta cantidad de casas pasadas o extension geografica.

- La calidad de señal buscada tambien limita la extension del nodo optico.
- En el tramo coaxil diferenciamos lineas expreso (express feeder) y lineas de distribucion.
- Es practica comun no intercalar derivadores domiciliarios (multitaps) sobre las lineas expreso.

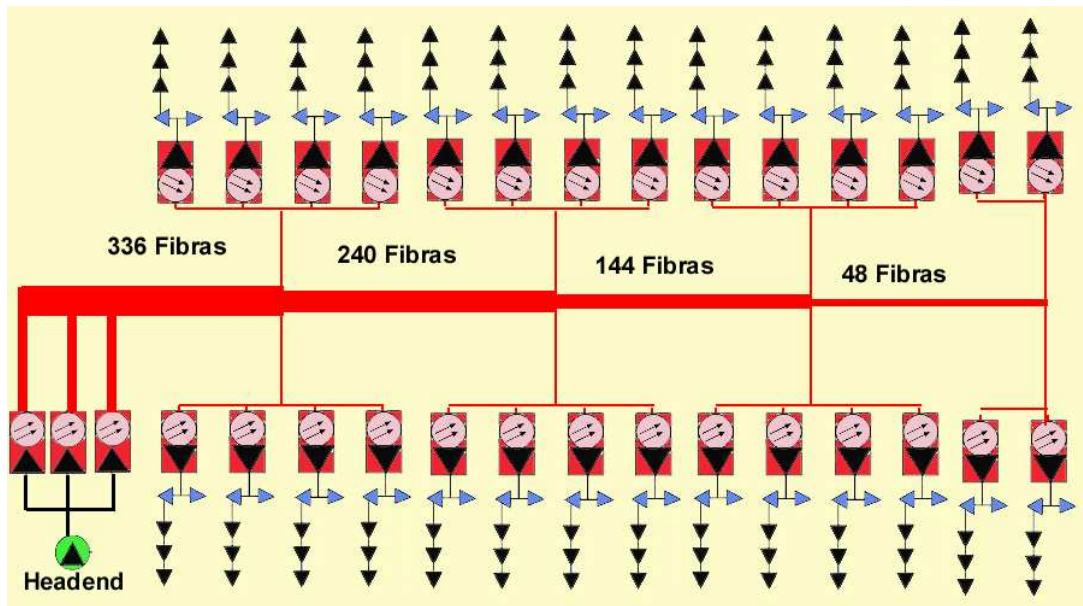
Fiber to the last Active



Esta arquitectura ubica un nodo óptico con varias salidas operando en alto nivel para alimentar una gran cantidad de clientes.

- Nodos pequeños, menos de 100 hogares típico.
- No existen amplificadores en cascada.
- La distribución es totalmente pasiva
- Arquitectura eficiente en areas de densidad media o alta.

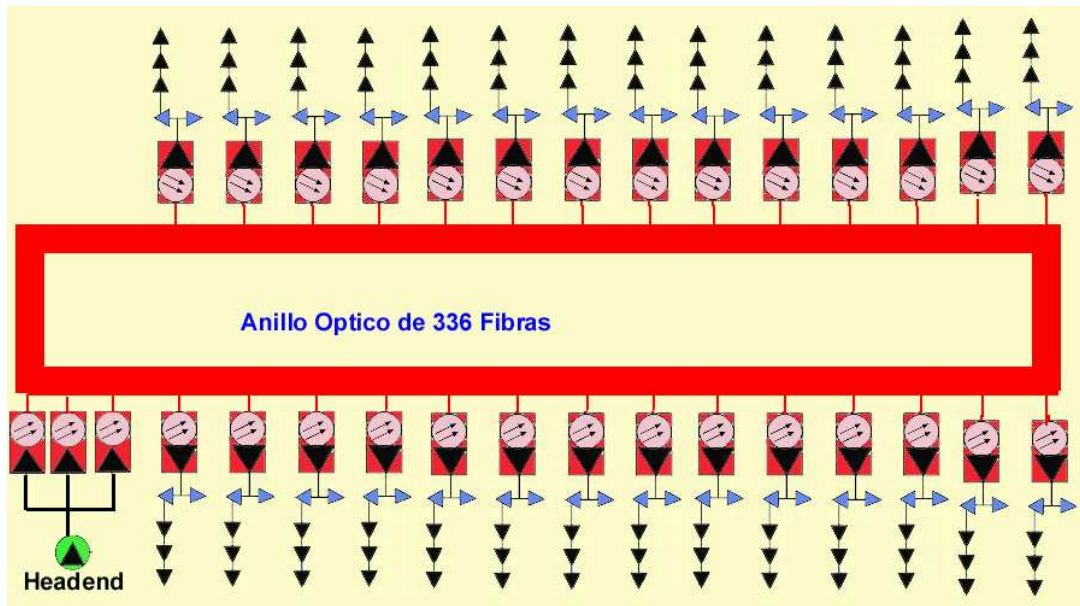
Estrella de Fibra – Módulo decreciente



A medida que el tamaño del nodo va disminuyendo cada vez se requiere que mas fibras ópticas lleguen hasta la cabecera del sistema.

- En sistemas sin redundancia el numero de fibras en los cables se ira reduciendo a medida que nos alejemos de la cabecera (modulo escalonado)
- En sistemas redundantes tendremos un anillo con cantidad constante de fibras (modulo constante)
- Con nodos pequeños se tiene casi la misma calidad de señal en cualquier punto del sistema.

Anillo de fibra – Módulo constante



Fiber count = cantidad de fibras opticas que se asignan a cada nodo.

- Debe definirse si se va a permitir dividir la señal optica en la calle. Es preferible hacer todo el manejo de las señales ópticas (division, conmutacion y combinacion) en el headend.

- Mínima cantidad de fibras = 2 por nodo (1 fibra para directa y 1 fibra para reversa)

- Cantidad de fibras recomendada 8 a 12 por nodo

- 12 fibras = 4 directa + 4 reversa + 4 reserva

Consideremos los siguientes parámetros :

- Ciudad de 1.000.000 hogares (Buenos Aires)

- Nodos de 1000 hogares pasados.

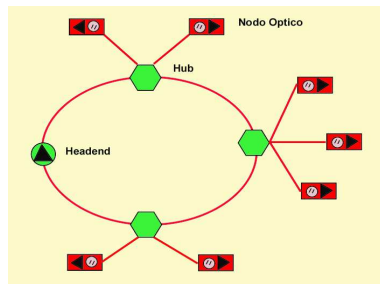
- Prevision de 12 fibras ópticas por nodo.

Con estas hipótesis resulta :

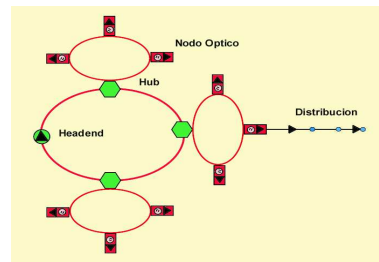
- Cantidad total de nodos = **1000**

- Cantidad total de fibras ópticas llegando a la cabecera del sistema = **12000**

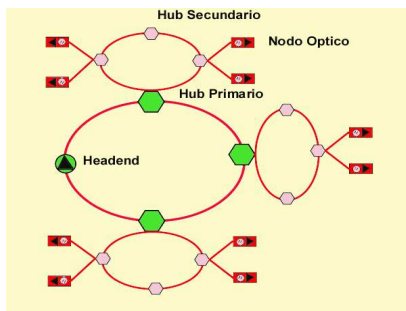
Arquitecturas modernas de red HFC



Anillo - Estrella



Anillo - Anillo



Anillo - Anillo - Estrella



Para reducir la cantidad de fibras que llegan al Headend dividimos al sistema en unidades menores denominadas HUBS .

Desde el Headend llegamos a los HUBS con enlaces redundantes de fibra (anillos).

Desde los hubs llegamos a los nodos con :

- Enlaces redundantes (anillos)
- Enlaces no redundantes (estrella o modulo decreciente)

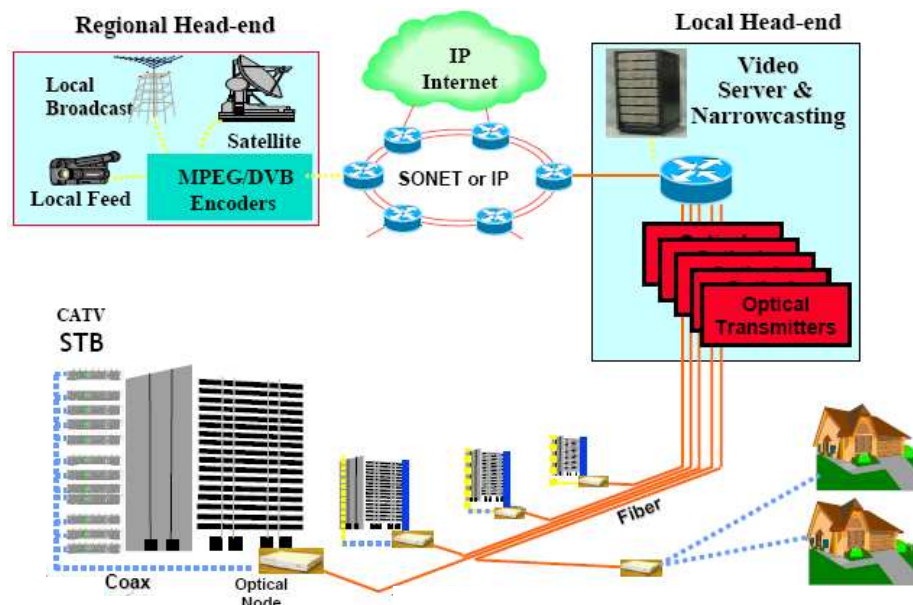
De acuerdo a las consideraciones anteriores resultan tres arquitecturas modernas tipo HFC.

- Anillo – Estrella : Anillo entre HUBs y estrella al nodo.
- Doble Anillo : Anillo entre HUBs y anillo entre los nodos.
- Anillo – Anillo – Estrella: Introduce el concepto de HUB secundario. Anillo HUBs primarios y anillo HUBs secundarios Estrella de Hub secundario al nodo.

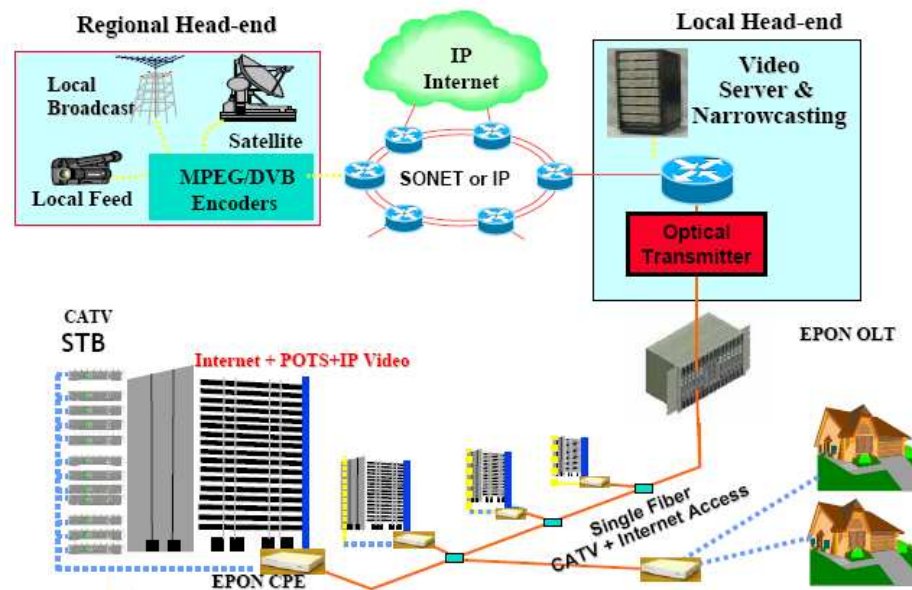
Servicios de acceso Triple Play



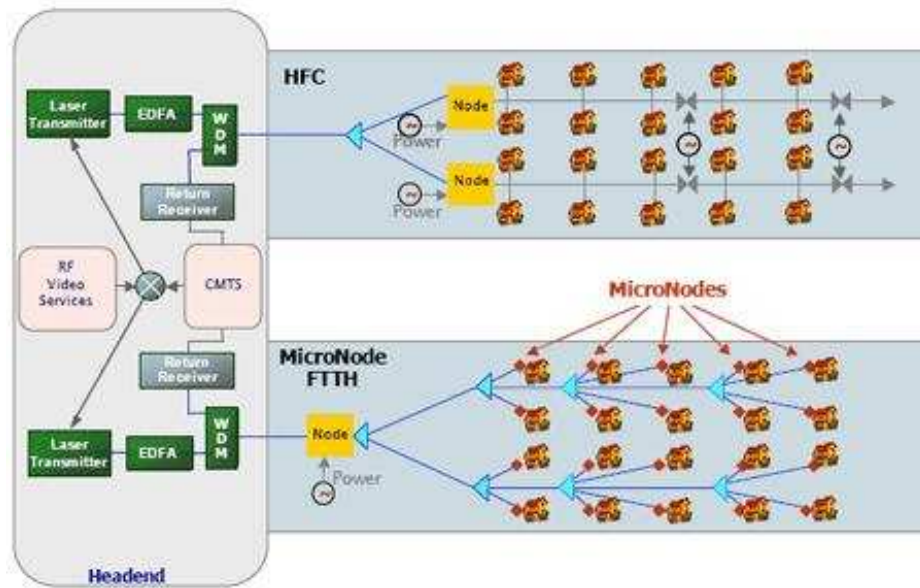
CATV + Triple Play usando HFC



CATV + Triple Play usando PON



RF over Glass (HFC PON)



Red PON de datos y video

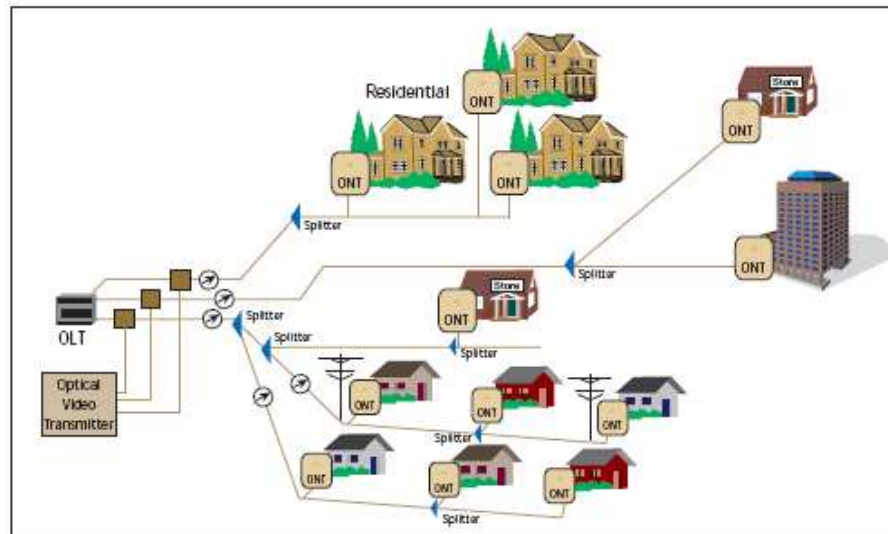
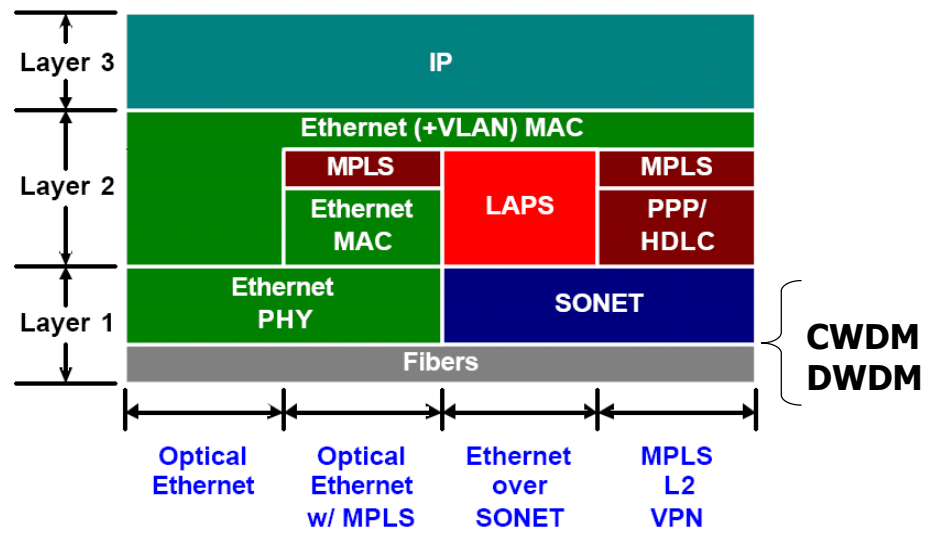


Figure 1-1. Providing triple-play services over a high-bandwidth passive optical network

Redes Metropolitanas de Datos (Metro Ethernet / GbE)



Opciones para capa 1 y 2 en BB



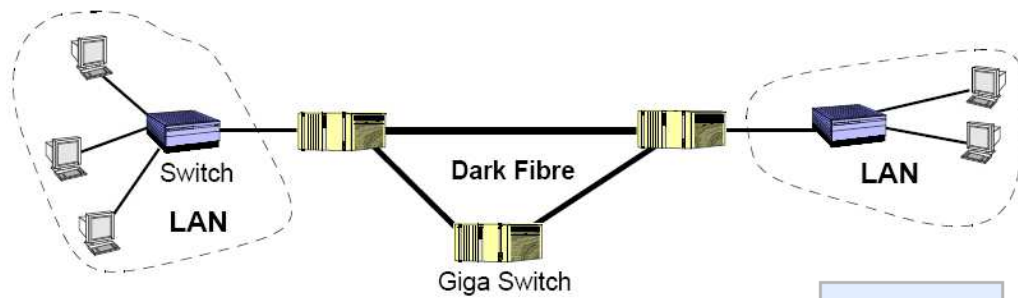
Alternativas para GbE PHY

Interface	Fiber Type	Wavelength	Range	Application
10GBASE-LX4	MMF	~ 1300 nm	2 ~ 300 m	Take profit of legacy fiber installation working in the second transmission window
10GBASE-LX4	SMF	~ 1300 nm	2 ~ 10 km	Ethernet over dark fiber in the MAN
10GBASE-SR 10GBASE-SW	MMF	850 nm	2 ~ 300 m	Take profit of legacy fiber installation working in the first transmission window
10GBASE-LR 10GBASE-LW	SMF	1310 nm	2 ~ 10 km	Ethernet over dark fiber for MAN. The 10GBASE-LW allows easy internetworking with SDH/SONET
10GBASE-ER 10GBASE-EW	SMF	1550 nm	2 ~ 40 km	Ethernet over dark fiber for MAN/WAN. The 10GBASE-EW allows easy internetworking with SDH/SONET

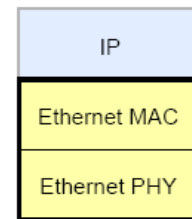
Otras tecnologías para la capa física

- Los servicios Metro Ethernet no necesitan que toda la red de nivel 2 sea ethernet; tambien pueden ser:
 - Ethernet over SONET/SDH (EOS)
 - Resilient Packet Ring (RPR)
 - Ethernet Transport
 - Ethernet sobre MPLS

Metro Ethernet sobre fibra oscura



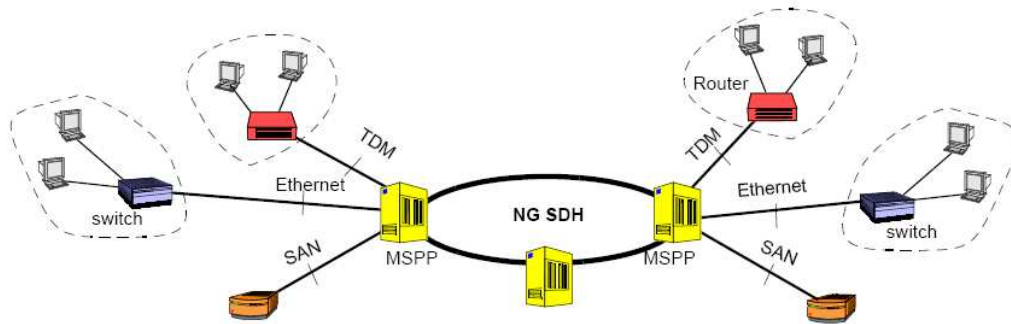
- :-) packet aggregation, simple, cheap
- :-(poor management, inefficient, no granularity



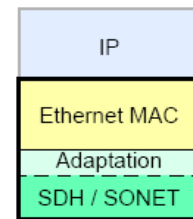
Dark Fibre



Metro Ethernet usando EoSDH



- :-) multiservice, integrated management
- :- (complex, expensive

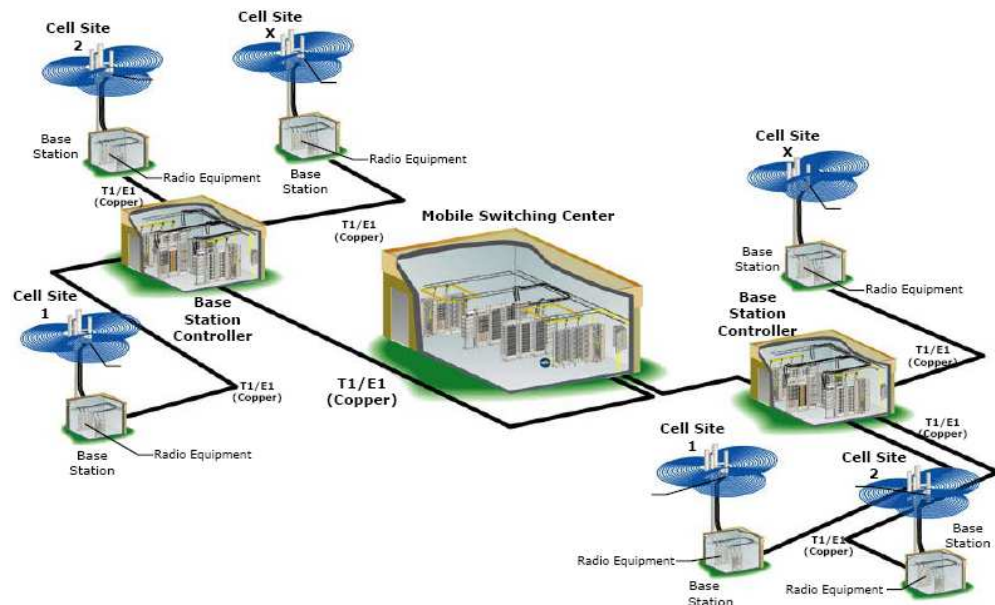


LAPS / NG SDH

Sistemas de Antena Distribuida para operaciones celulares (DAS)



Distributed Antenna System



Propósito de los sistemas DAS

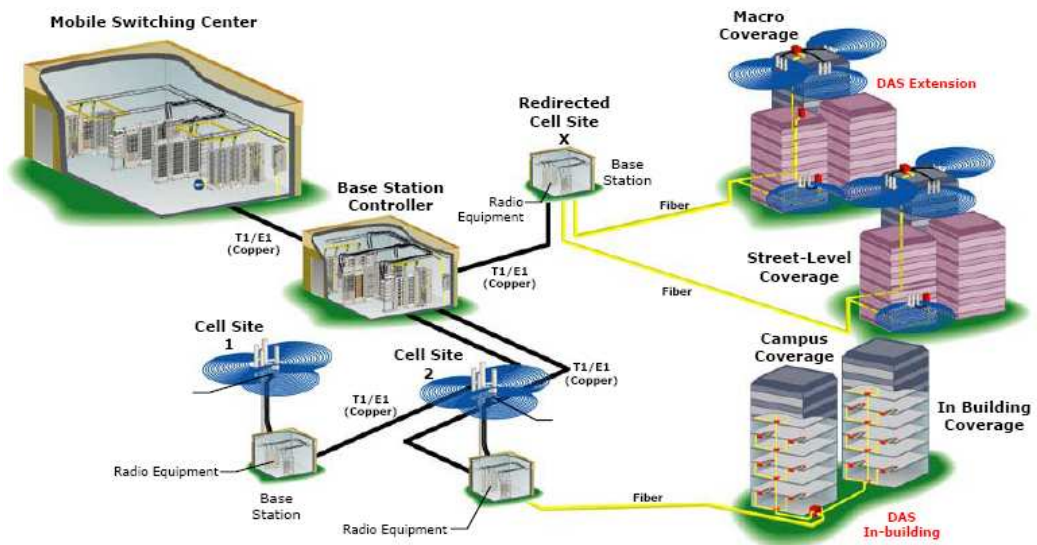
- Provide uniform signal quality over targeted coverage area
- Reduce zoning issues
- Minimize the proliferation of antenna sites
- Deliver quicker time-to-market RF
- Increase spectrum efficiency
- Reduce CAPEX and OPEX
- Future proof the radio access network



Tipos de DAS

- Analog Modulation DAS
- Digitized RF DAS
- Digital Baseband (I-Q in at least one direction) DAS-RRH

DAS: RF over Fiber



Comparación de sistemas DAS

RF Analog	RF Digitized	Baseband Digitized
Analog Modulation of the optical system by the composite RF	The input RF signals are conditioned and digitized with a very fast A/D converter	Sometimes referred to as RRH or Remote Radio Head
Uses Amplitude intensity modulation to impress the RF on the lightwave	The digital bit stream modulates a digital laser	Forward path signals are obtained as digital IQ from the BTS transmitter
Input RF signals are conditioned and either downconverted to an intermediate frequency or directly modulate an analog laser diode.	Signals are carried on digital optical fiber	Processing prepares the digital IP signals for digital optical transport
The received optical signal is converted to RF by the photodetector diode	The received optical is detected and converted to a digital bit stream	The transported IQ signals are used to modulate the RF signal(s) generated at the remote unit
	A D/A converter creates RF from the digital bit stream and conditions it back to RF	Other transport media may be used for short distances

DAS: RF over Fiber con WDM

