

Arquitecturas xPON

jrgbish@hotmail.com

Arquitecturas PON

- PON = Pasive Optical Network
- Arquitecturas basadas en fibra óptica con distribución totalmente pasiva → mayor confiabilidad
- En algunos casos se llega con la fibra óptica hasta la casa FTTH
- En otros con la fibra al edificio FTTB
- Y en algunos con la fibra hasta un pedestal o gabinete FTTC.
- Donde termina el cable de fibra óptica debe efectuarse una conversión óptico-eléctrica.
- En los casos FTTH y FTTC la distribución hasta el cliente final se hace con cable coaxil o par de cobre trenzado

Implementaciones de FTTH



En Operación



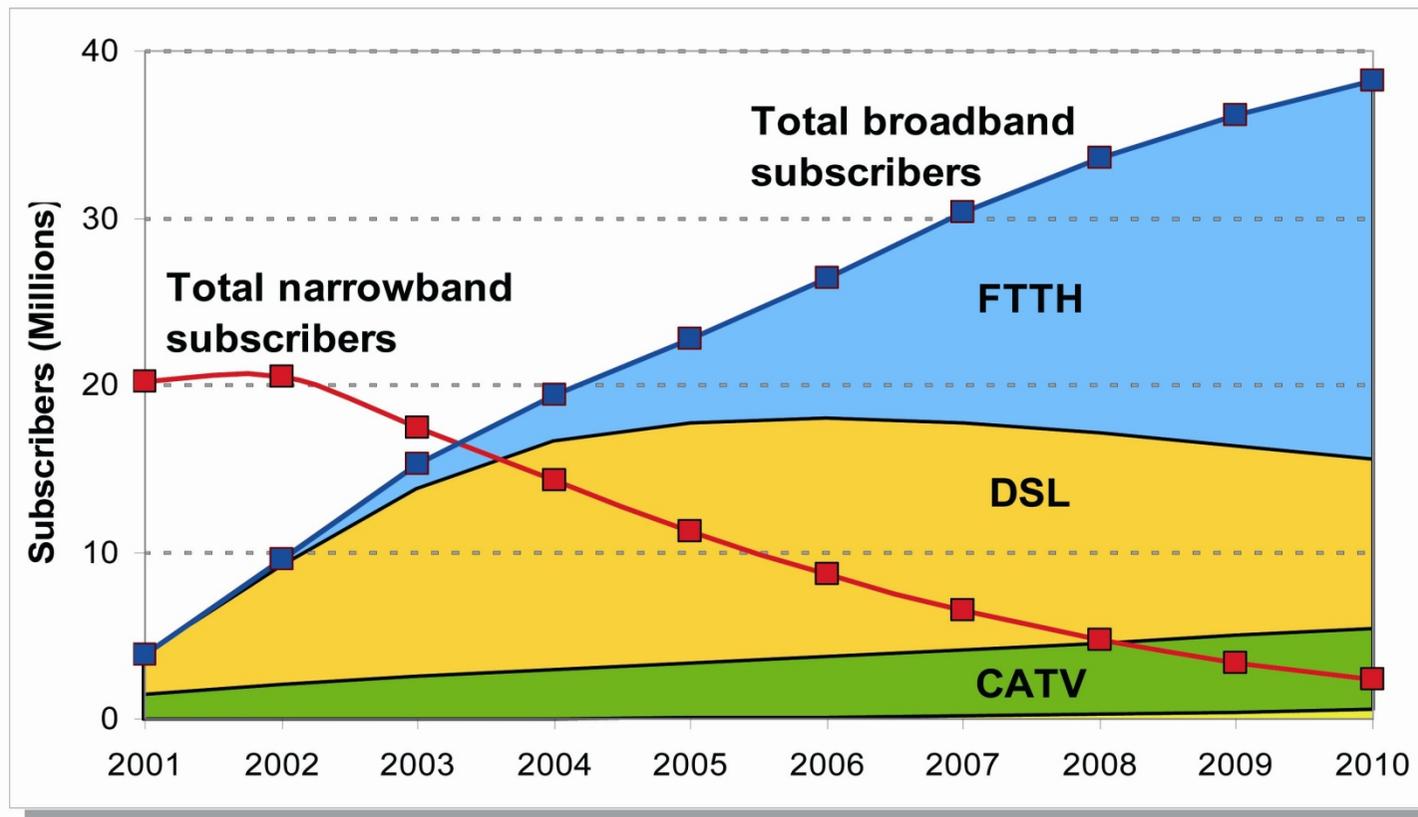
Trials



Proyectadas

Evolución del FTTH

Estimated by Yano Research Institute, Ltd. March 2005



Evolución del FTTH en Japón.

Otros países están siguiendo la misma tendencia

Standares Internacionales

- Hay dos organizaciones internacionales que desarrollaron los standares de comunicación para los protocolos PON.
- **ITU** = International Telecommunications Union → Europa
Ha desarrollado standares para HDSL, ADSL, SS7, etc . Todos los “carries” del mundo pertenecen y soportan al ITU.
- **IEEE** = Institute of Electrical and Electronic Engineers → USA
Organización que ha ido cobrando importancia en los últimos cinco a diez años, principalmente en el mercado IT (datos). Pero como datos y telefonía convergen el IEEE hoy esta involucrado en muchos standares de “telecomunicaciones”.

Diferentes Sabores de PON

- TPON = Telephone over PON (British Telecom)
- APON = ITU-T ATM PON
- BPON = ITU-T Broadband PON
- EPON = IEEE802.3ah Ethernet PON
- GPON = ITU-T 1 Gbps capable PON
- GEAPON = Gigabit Ethernet PON
- DPON = Docsis PON
- WDM-PON = Wave Division Multiplexing PON
- RFoG = Radio Frequency Over Glass
- 10GEAPON = 10 Gigabit Ethernet PON

Standard PON de la ITU-T

- La ITU fue la primer organización en proponer un standard PON
→ APON = Asynchronous Transfer Mode PON
- **APON** nace a mediados de la decada del 90 operando con:
 - 622 Mbps de downstream en 1550 nm
 - 155 Mbps de upstream en 1310 nm
 - No prevee transmisión tipo broadcast
- **BPON** = Broadband PON – Año 2001
 - Incorpora la transmisión broadcast de TV analógica
 - Cambia el downstream a 1490 nm
 - Broadcast ubicado en 1550 nm
- **GPON** es el último standard de la ITU – Año 2003
 - Transporte nativo de ATM, TDM, E1/DS1 y ethernet
 - 2.488 Mbps de downstream y 1.244 Gbps de upstream

BPON/GPON Matrix

	BPON/BPON+	GPON
Downstream Bandwidth	622 Mb/1.2 Gbps**	1.2 Gbps/2.4 Gbps
Upstream Bandwidth	155 Mbps/622 Mbps**	1.2 Gbps
Max ONTs	32	128
MAC layer protocol flexibility	ATM only	Flexible GPON encapsulation method (GEM) and ATM
Video Architecture	RF overlay/IPTV	IPTV*
Standards Maturity	High	Low
Scale Economies	Today	Today
Protocol Efficiency	Medium	High (GEM)
Multicast support	Not supported***	Native support
Standards Control	FSAN/Operators (ITU-T G.983)	FSAN/Operators (ITU-T G.984)

* RF overlay can continue to be used in a migration course

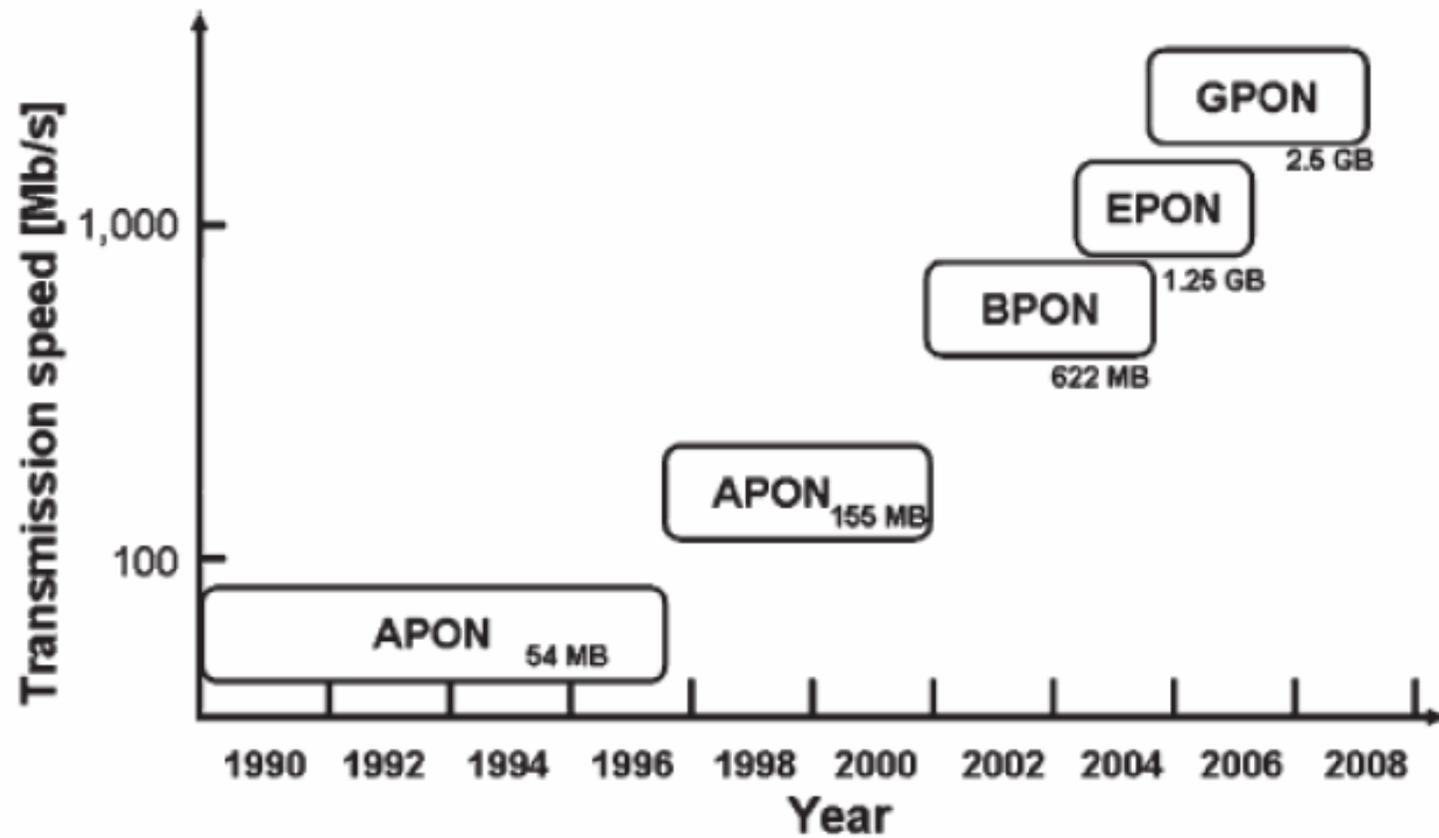
** Excludes RF video bandwidth

*** Not supported on RF video overlay; multicast can be employed with inband VOD streams.

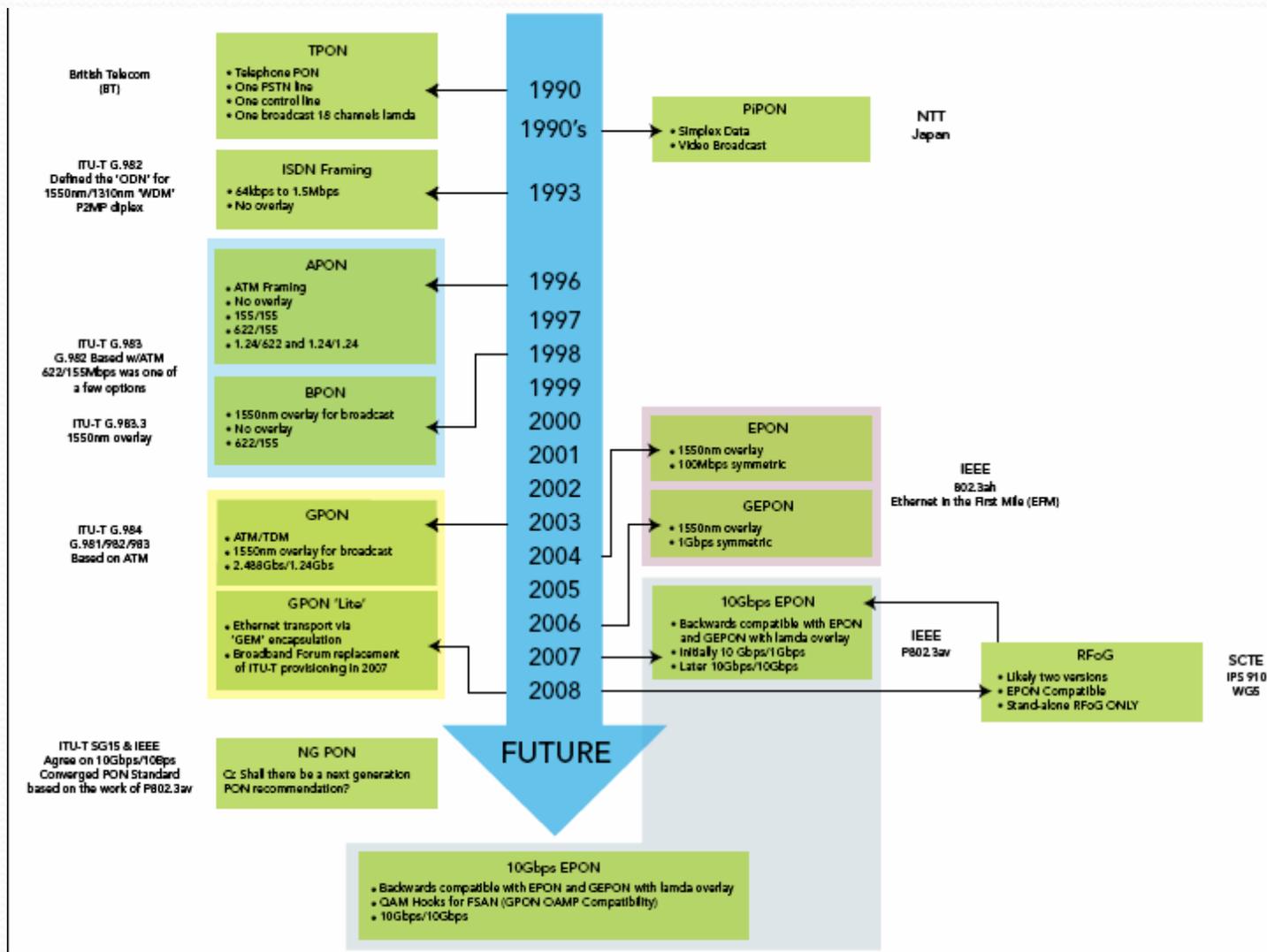
Standard PON del IEEE

- En Noviembre del año 2000 se forma el grupo de estudio para “Ethernet in the First Mile” auspiciado por el IEEE.
- Basado en el protocolo Ethernet.
- Capacidad actual GEPON :
 - Downstream: 1.25 Gbps en 1490 nm (algunos ofrecen 2.5 Gbps)
 - Upstream: 1.25 Gbps en 1310 nm
 - Broadcast en 1550 nm
- Capacidad Futura 10 GEPON :
 - Downstream: 10 Gbps
 - Upstream: 1 Gbps o 10 Gbps
 - Compatible con GEPON

Evolución en el Tiempo



Evolución en el Tiempo



Cable de Fibra Óptica

- Los cables de diferentes fabricantes tienen similares características de atenuación.
- Para el cálculo del presupuesto óptico (link budget) debemos tomar la atenuación en la fibra en 1310 nm.
- Algunos fabricantes diferencian calidades en sus cables
 - SMF-28e premium = 0.31 dB/Km @ 1310 nm (Corning)
 - SMF-28e standard = 0.34 dB/Km @ 1310 nm (Corning)
- A medida que pasa el tiempo se evidencia un incremento en la atenuación del cable por un fenómeno que se conoce como “envejecimiento de hidrógeno”. Las moléculas de los átomos de hidrógeno dentro del vidrio tienden a romperse haciendo la fibra “menos clara”.

Relación de División Óptica

- La relación de división óptica determina cual es el máximo número de ONUs que podemos conectar a cada fibra.
- No es solo por un problema de atenuación de los pasivos sino basicamente de “timing”.
- BPON solo permite un split ratio de 32, o sea que podemos atender entre 1 y 32 ONUs → 1:32
- GPON reconoce que si disponemos de mayor ancho de banda debemos poder atender a mayor cantidad de ONUs y eleva ese límite a 64 → 1:64
- Probablemente en un futuro los nuevos chipset permitirán una relacion de split de 128 → 1:128.

Clases de Óptica

- EPON tradicionalmente utiliza ópticas PX10 y PX20 con un link budget máximo de 26 dB.
- BPON utiliza ópticas Clase B donde el budget máximo es de 25 / 26 dB.
- GPON utiliza ópticas clase B+ y clase C donde el link máximo es de 28 dB y 30 dB respectivamente.
- Todas las normas hablan de un alcance máximo de 20 Km aunque eso también depende de la atenuación de los pasivos
→ en cuantos ONUs se divide la fibra
- En el futuro la necesidad de alcanzar distancias mayores (30 a 40 Km) y mayores relaciones de split (1:128) obligarán al uso de ópticas clase C.

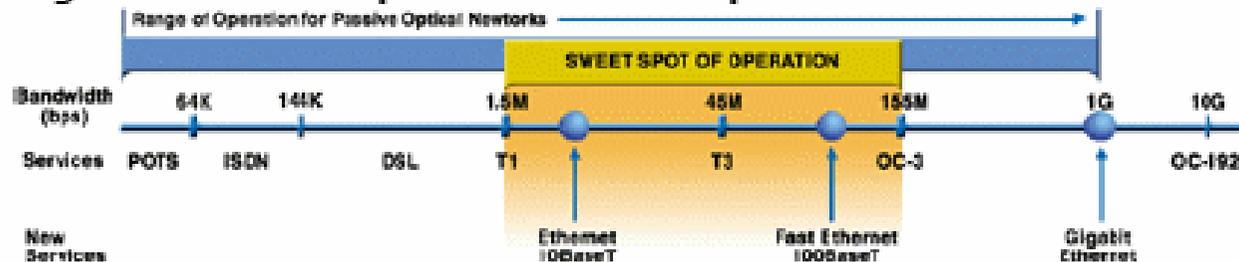
Pérdida de División Óptica

- Los “Splitters Ópticos” son dispositivos pasivos, no requieren alimentación e introducen pérdida o atenuación.
- Las pérdidas típicas para los splitters ópticos incluidos sus conectores son:
 - 1 x 2 = 3.70 dB
 - 1 x 3 = 5.10 dB
 - 1 x 4 = 7.25 dB
 - 1 x 8 = 10.38 dB
 - 1 x 16 = 14.10 dB
 - 1 x 32 = 17.45 dB
- Si queremos llegar a un split de 64 con un div 1x2 y otro de 1x32 tenemos 21.15 dB de pérdida y usando óptica clase B con 26 dB de budget el máximo alcance sería de 17 Km.

Aspectos económicos de PON

- Inicialmente las arquitecturas PON se aplicaron al mercado corporativo y de oficinas reemplazando enlaces punto a punto de fibra óptica.
- Los enlaces punto a punto requieren una fibra dedicada, equipos en cada extremo y a veces regeneradores intermedios.
- Con las arquitecturas PON se consigue un ahorro significativo de fibra y de equipamiento

Figure 1. Sweet Spot for Passive Optical Networks

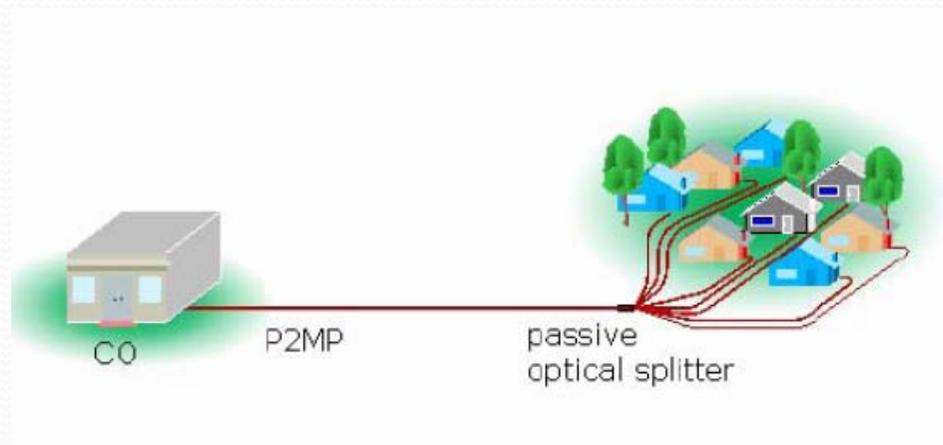


Comparación P2P con PON

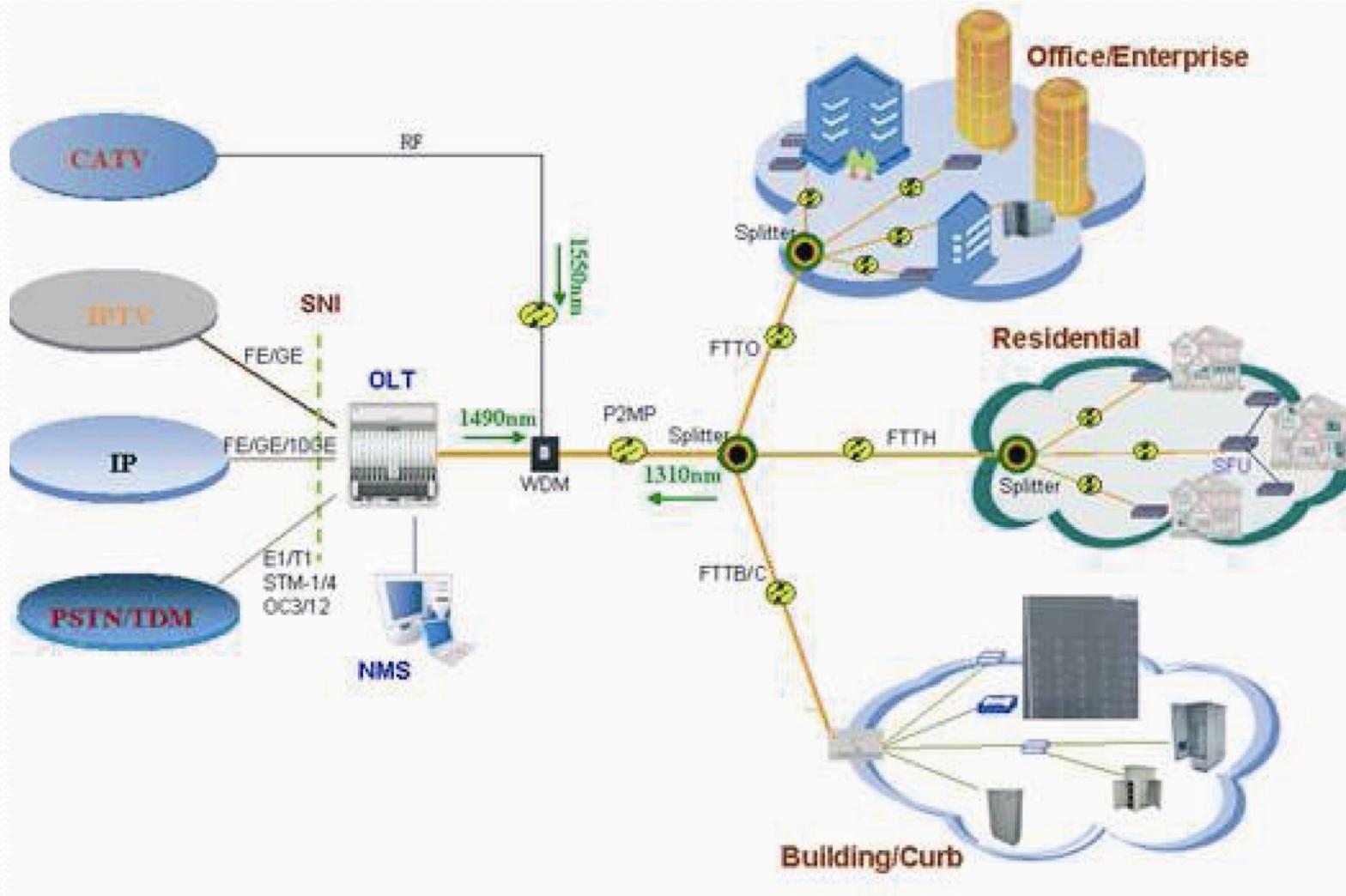
<u>Enlaces Punto a Punto con Fibra Óptica</u>	<u>Arquitectura PON con Fibra Óptica</u>
Arquitectura de tipo Punto a Punto	Arquitectura de tipo Punto a Multipunto
Requiere activos en los extremo del enlace y en la planta externa.	Elimina componentes activos de la planta externa y los reemplaza por pasivos. Los pasivos son mas económicos, fáciles de mantener y mas confiables.
Cada cliente necesita una fibra en la central	Conserva fibra y puertos de equipo en la central agrupando 64 clientes sobre una sola fibra
Requiere equipos caros para cada enlace	El OLT es el equipo mas caro y se comparte entre muchos clientes / enlaces

Características Arquitectura PON

- Los equipos se sitúan en los extremos del enlace :
 - OLT = Optical Line Terminal en el lado central
 - ONU = Optical Network Unit en el lado cliente.
- Amplificadores ópticos para sumar señal de broadcast también van en el lado central.
- Típicamente soportan dos niveles de splitting y 32 / 64 clientes
- La arquitectura PON mas común es el TDM-PON que utiliza topología de tipo Punto a Multipunto → P2MP



Arquitectura PON

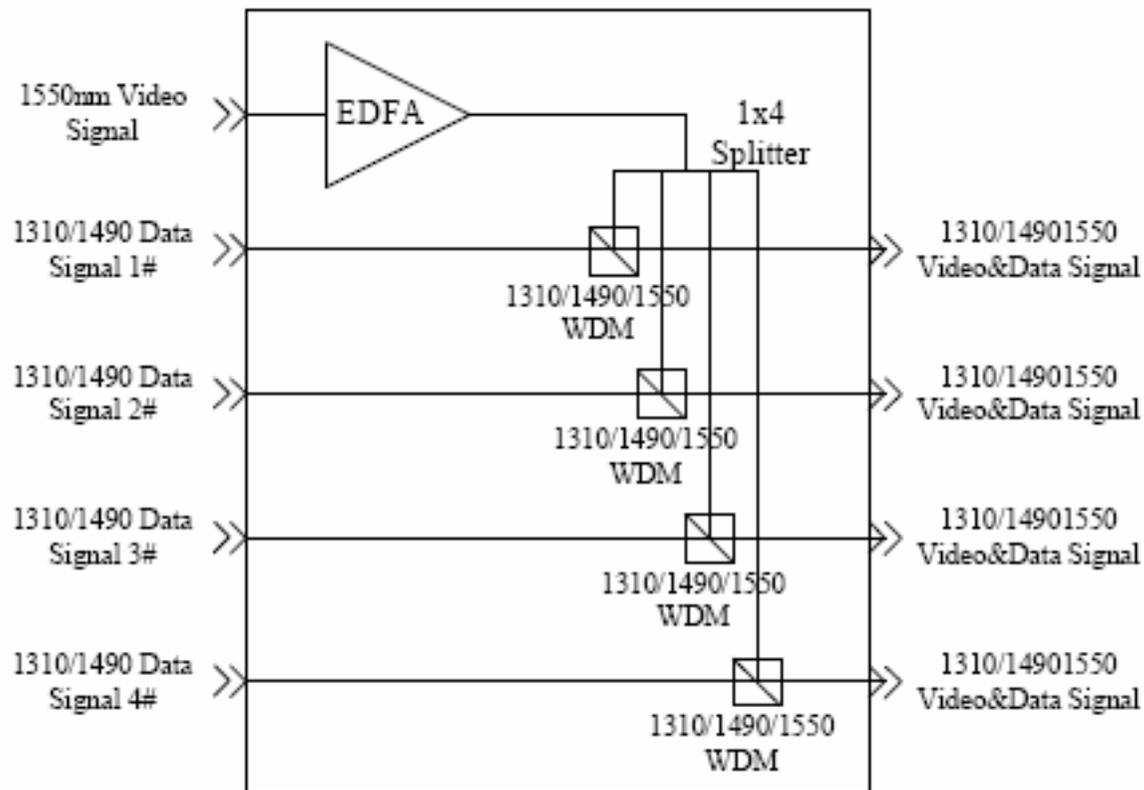


Broadcast de TV en 1550nm

- La señal de broadcast de TV en 1550 nm se combina con el downstream del OLT que opera en 1490 nm.
- Los requerimientos de nivel de señal en la entrada del receptor óptico del ONU (umbral) son muy diferentes para una transmisión analógica y digital:
 - ➔ umbral analógico = -6 dBmW, recomendado = -3 dBmW
 - ➔ umbral digital = -26 dBmW
- Es necesario amplificar la señal analógica ➔ EDFA
- Existe un límite en la máxima potencia que puede lanzarse dentro de una fibra ➔ SBS = Stimulated Brillouin Scattering
- Usualmente se trabaja con un amplificador óptico cuya salida se divide x4 o x8

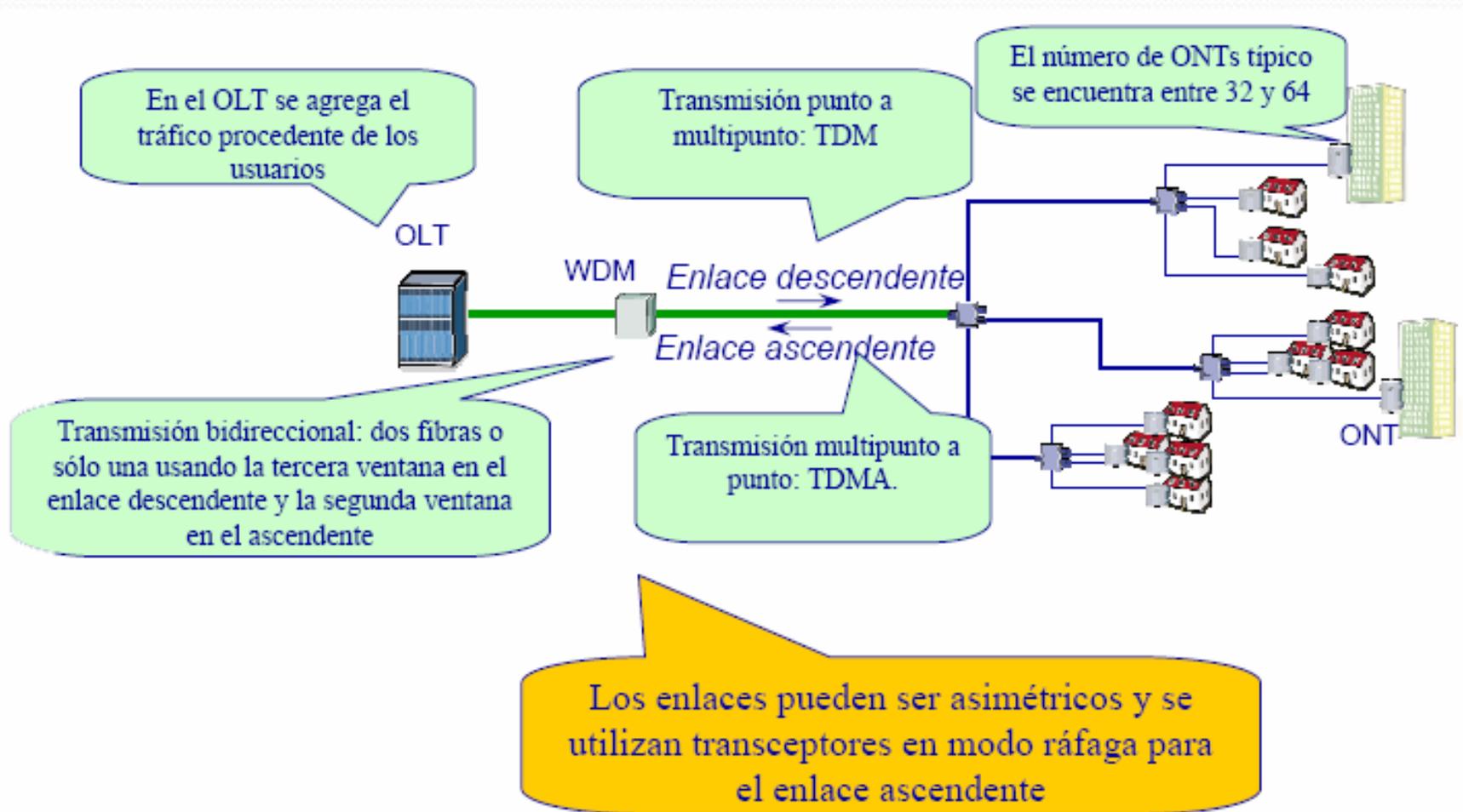
Broadcast de TV en 1550nm

Amplificador Óptico + MUX integrado

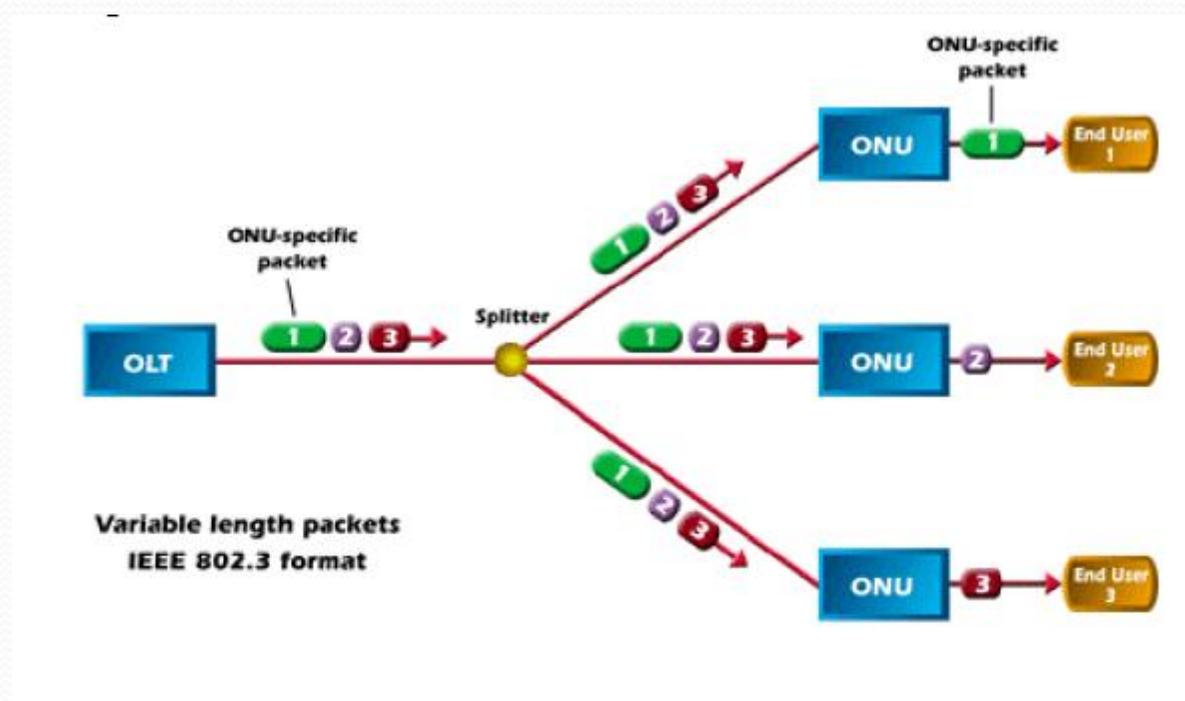


EDFA de + 23 dBmW → 16 dBmW por cada salida

Enlaces Ascendente y Descendente

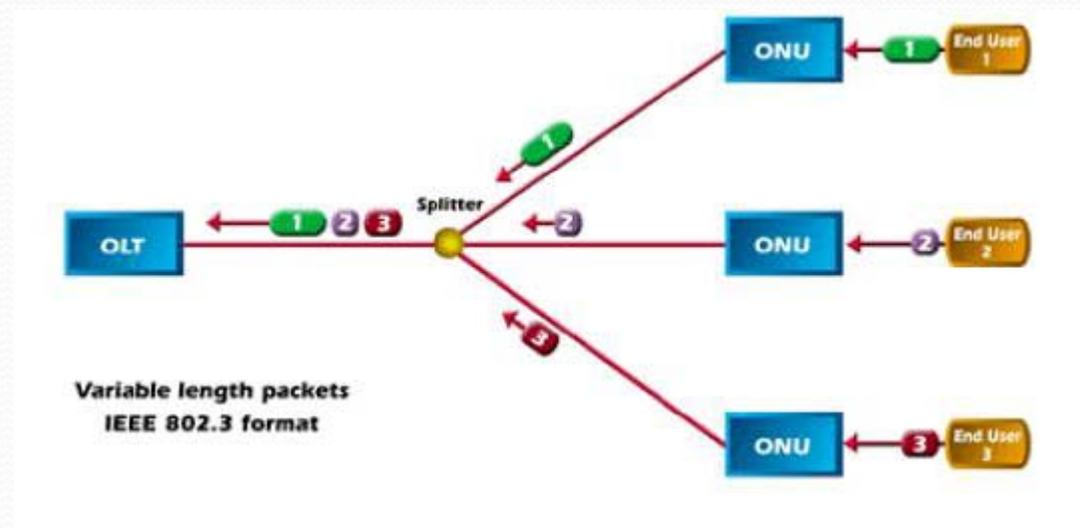


xPON – Canal Descendente



La comunicación es de tipo punto multipunto. Todos los paquetes de información llegan a las ONUs, cada una toma el que les corresponde y descarta el resto.

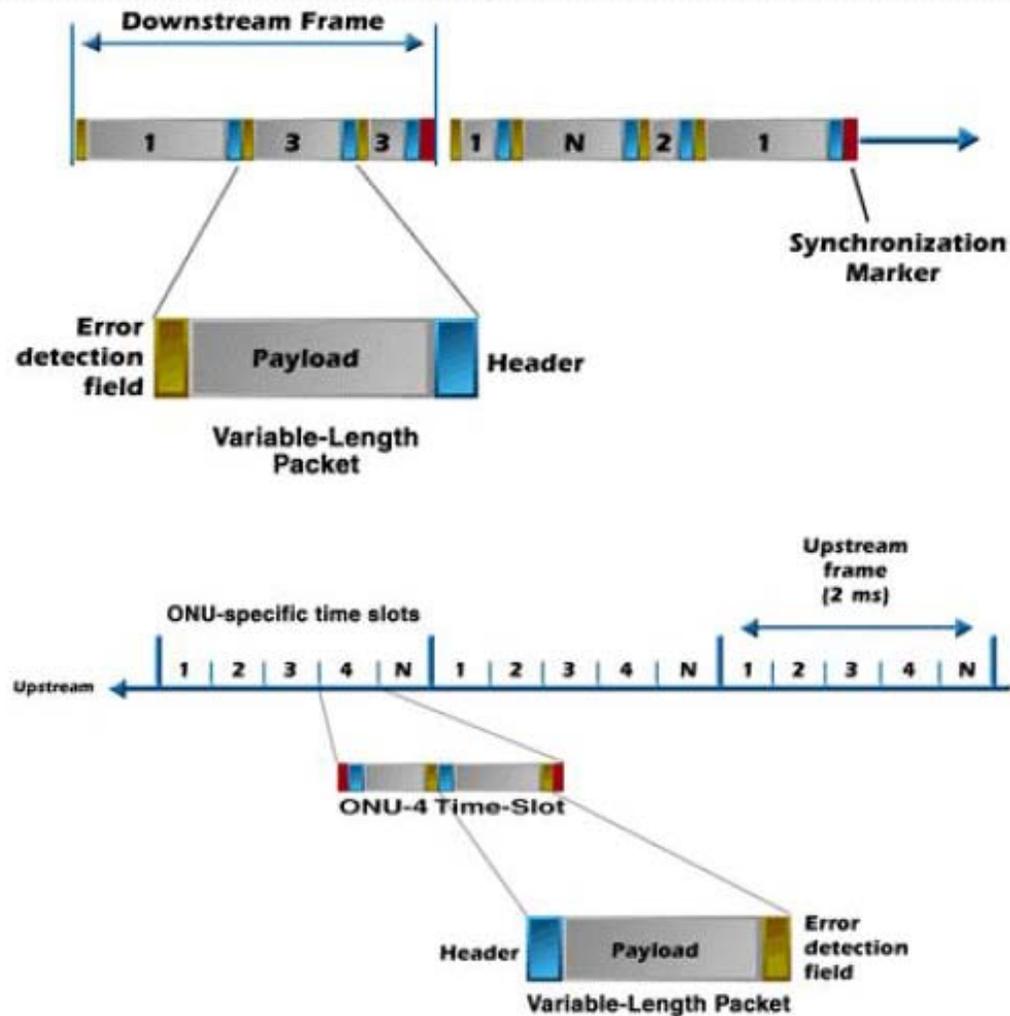
xPON – Canal Ascendente



Cada ONU tiene una ventana de tiempo para transmitir. De esta manera se evita que se produzcan colisiones. Los diferentes paquetes se multiplexan en tiempo y son recibidos por el OLT.

Canales Ascendente y Descendente

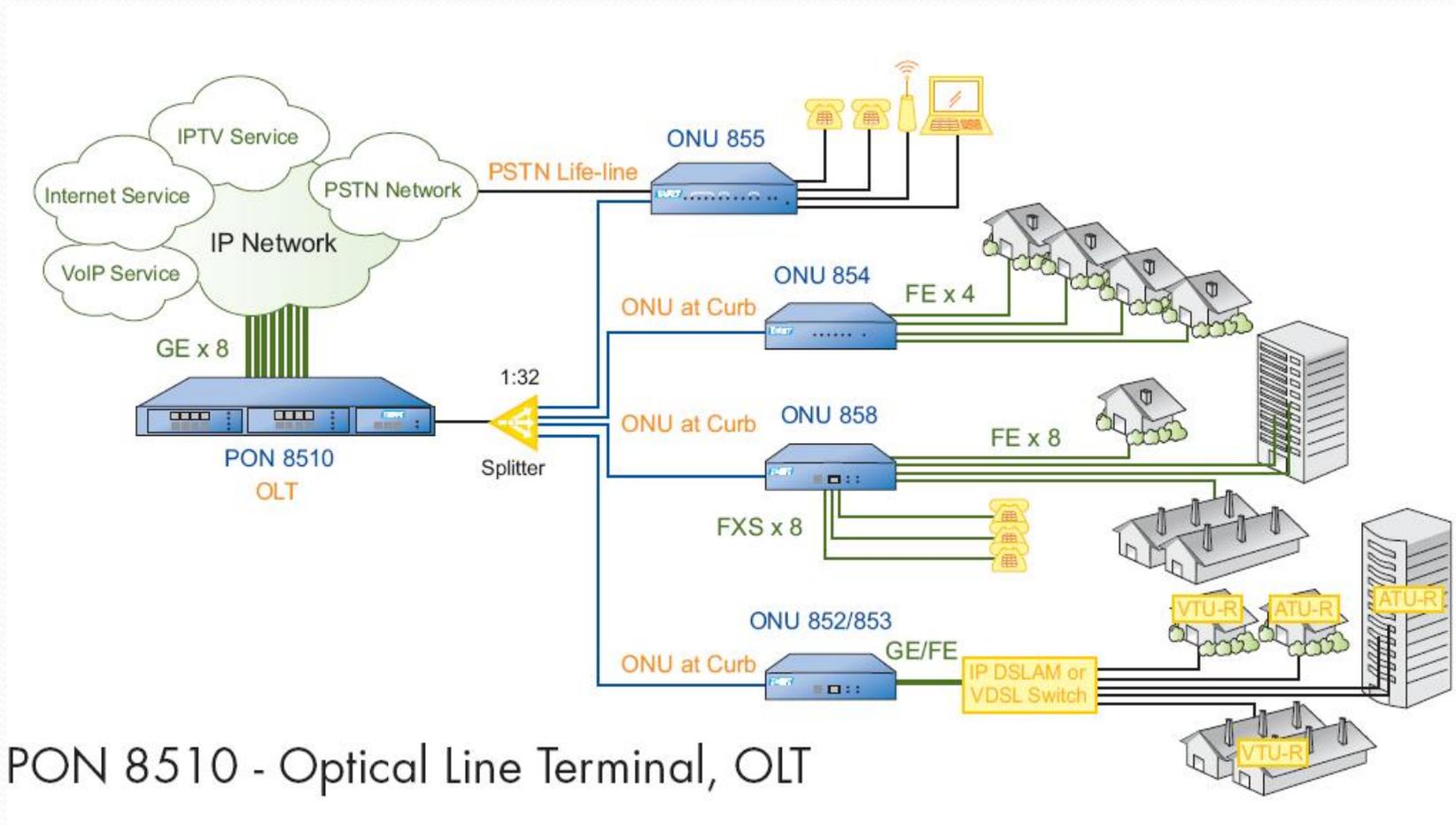
Multiplexación de Información



Canal Descendente

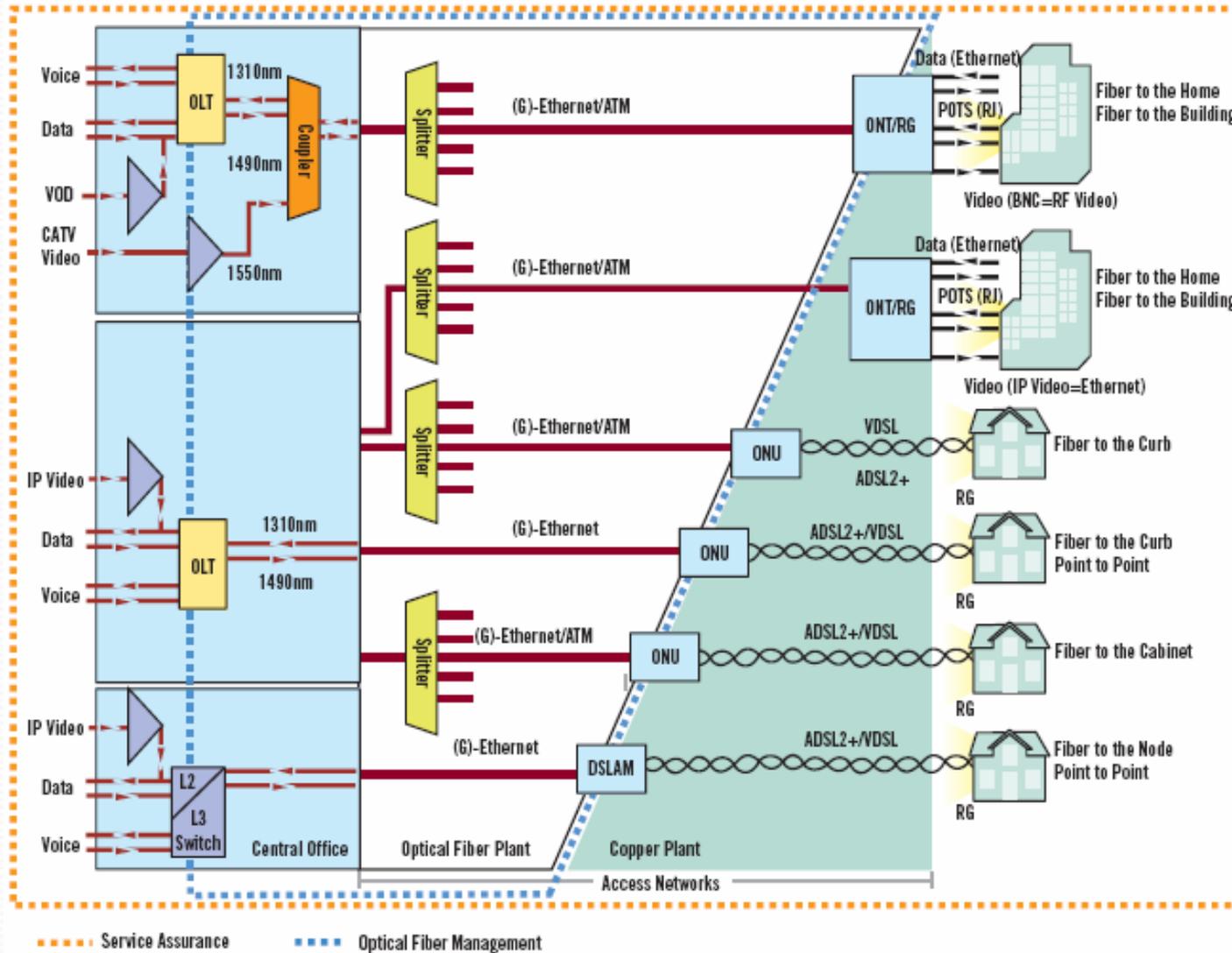
Canal Ascendente

Diferentes tipos de ONU



PON 8510 - Optical Line Terminal, OLT

Arquiteturas Tipo FTTx



Comparación ITU vs IEEE

- BPON es una tecnología mas madura y probada
- La eficiencia de EPON/GEAPON es mayor que la de BPON ya que este debe transmitir IP sobre ATM y romper los paquetes ethernet de 1518 bytes en celdas de 53 bytes (con 5 de overhead) .
- EPON/GEAPON utiliza una sola red IP para todos los servicios.
- GPON soporta dos métodos de encapsulamiento :
 - ATM = Tradicional de APON & BPON
 - GEM = GPON Encapsulation Method
- Con GEM todo el tráfico es mapeado a través de la PON con una variante de SONET/SDH. GEM soporta un transporte nativo de video, voz y datos sin el encapsulamiento IP ni ATM
- Hoy los costos por cliente de GEAPON son menores que GPON

Full Service Access Network

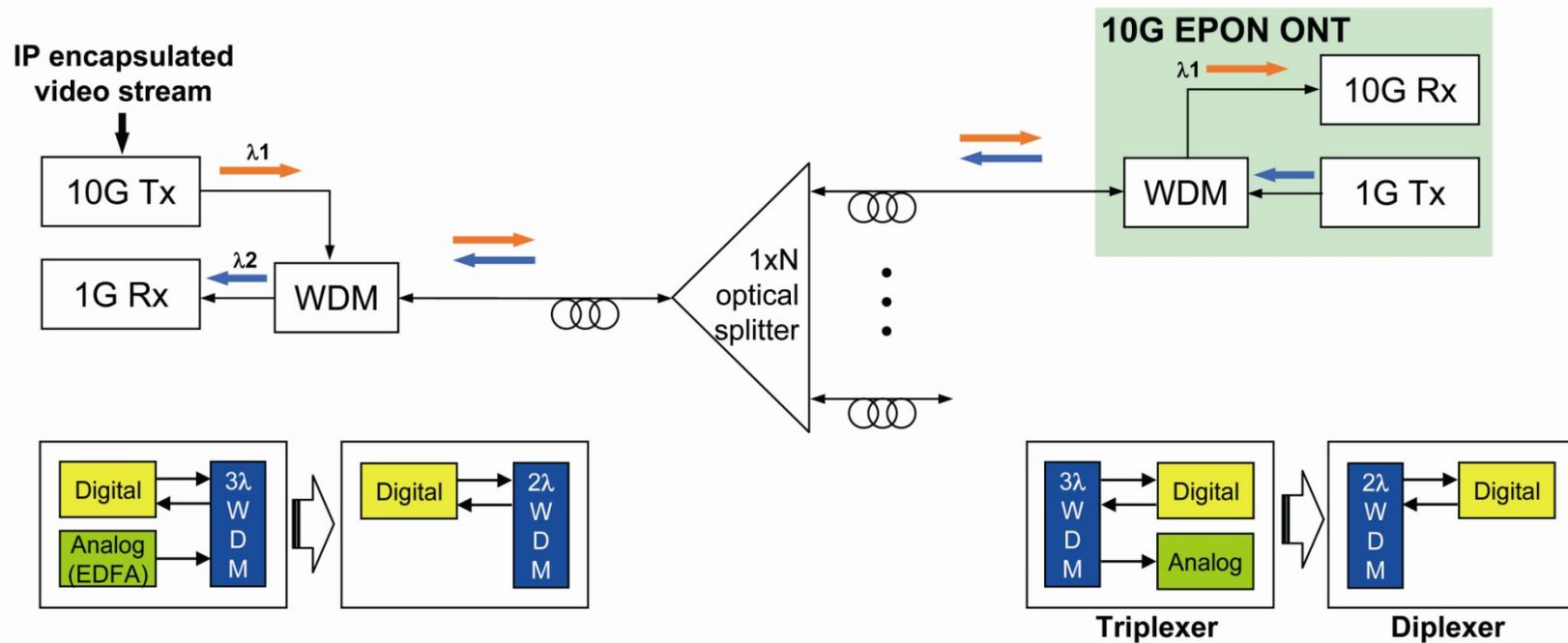
- FSAN = Full Service Access Network
Todos los servicios se transmiten sobre una plataforma IP
- La capacidad de 1 Gbps de downstream puede resultar insuficiente cuando se quiere implementar el servicio de televisión IP, sobre todo con el advenimiento de alta definición.
- Requerimientos para IPTV:
 - 1 canal de SDTV con mpeg4 → 1 a 2 Mbps
 - 1 canal de HDTV con mpeg4 → 4 a 8 Mbps
- Requerimientos de un hogar tipo:
 - TV = 1 canal de HDTV + 2 de SDTV → 6 a 12 Mbps
 - Internet → 4 a 8 Mbps
 - Total → 10 a 20 Mbps
- GPON con split de 64 → aprox 20 Mbps x ONU

10GE PON

- El nuevo standard PON es el 10GE PON que contempla una capacidad de transmisión en downstream de 10 Gbps.
- En cuanto a la capacidad de upstream existen dos versiones diferentes :
 - Asimétrica → 1 Gbps
 - Simétrica → 10 Gbps
- Un requerimiento importante para este nuevo standard es la convivencia con el anterior GE PON
→ Trabajar con técnicas de DWDM
- También se busca ampliar el link budget
- Primeras pruebas de campo para el 2009 e implementación a partir del 2012

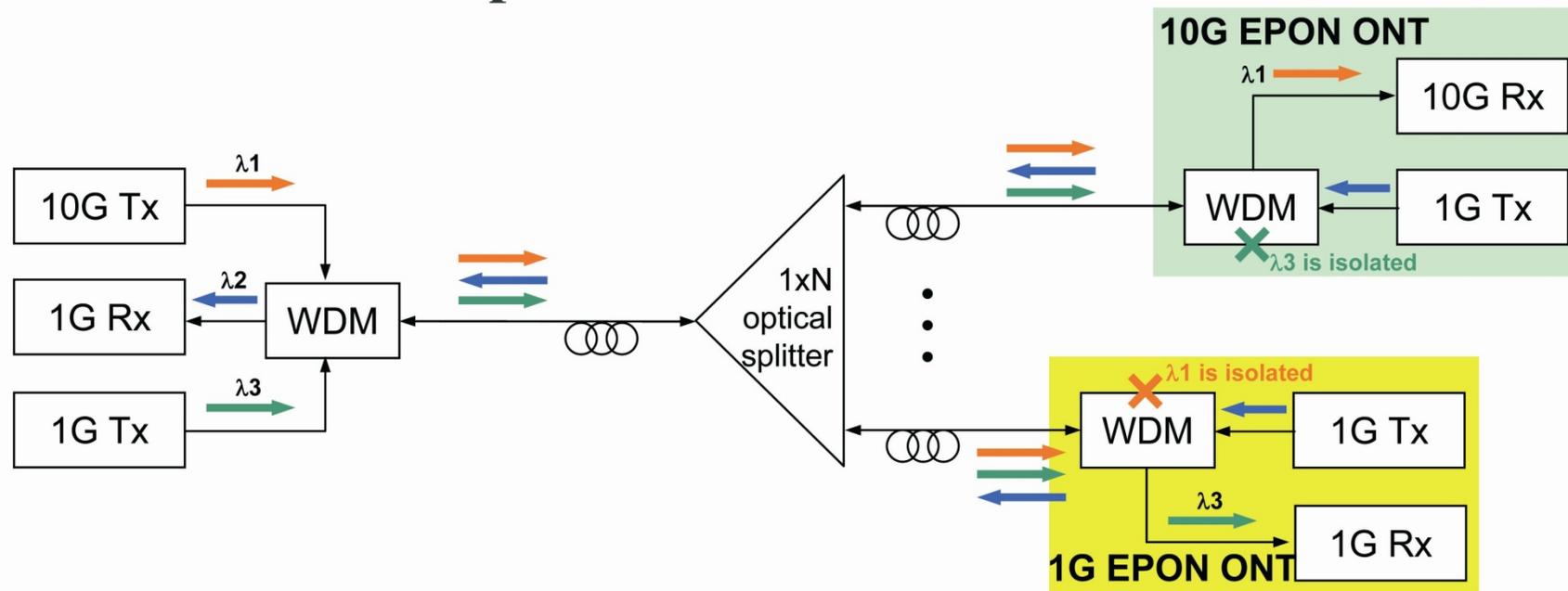
10 GEAPON Asimétrico

10G-down / 1G-up



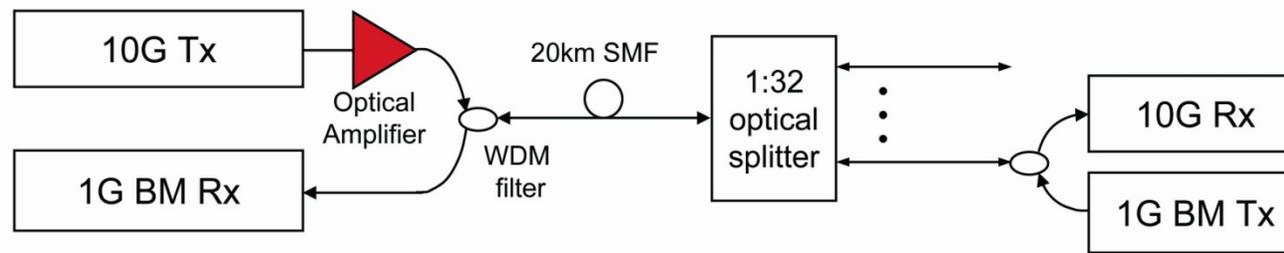
10GEPON - Convivencia con GEPON

10G-down / 1G-up



10GEPON Simétrico

Ampliación del Link Budget a 29 dB



Stream	Tx Launch Power		Rx Performance			Available Link Budget
	Source	Amplifier	Sensitivity ¹⁾	Amplifier	FEC	
10G Down	+1 dBm (EML)	9 dB Gain (SOA)	-15 dBm (pin-PD)	N/A	4dB	29 dB
	+1 dBm (EML)	13 dB Gain (SOA)	-15 dBm (pin-PD)	N/A	N/A	29 dB
1G Up	-1 dBm (DFB LD)	N/A	-30 dBm (APD)	N/A	N/A	29 dB

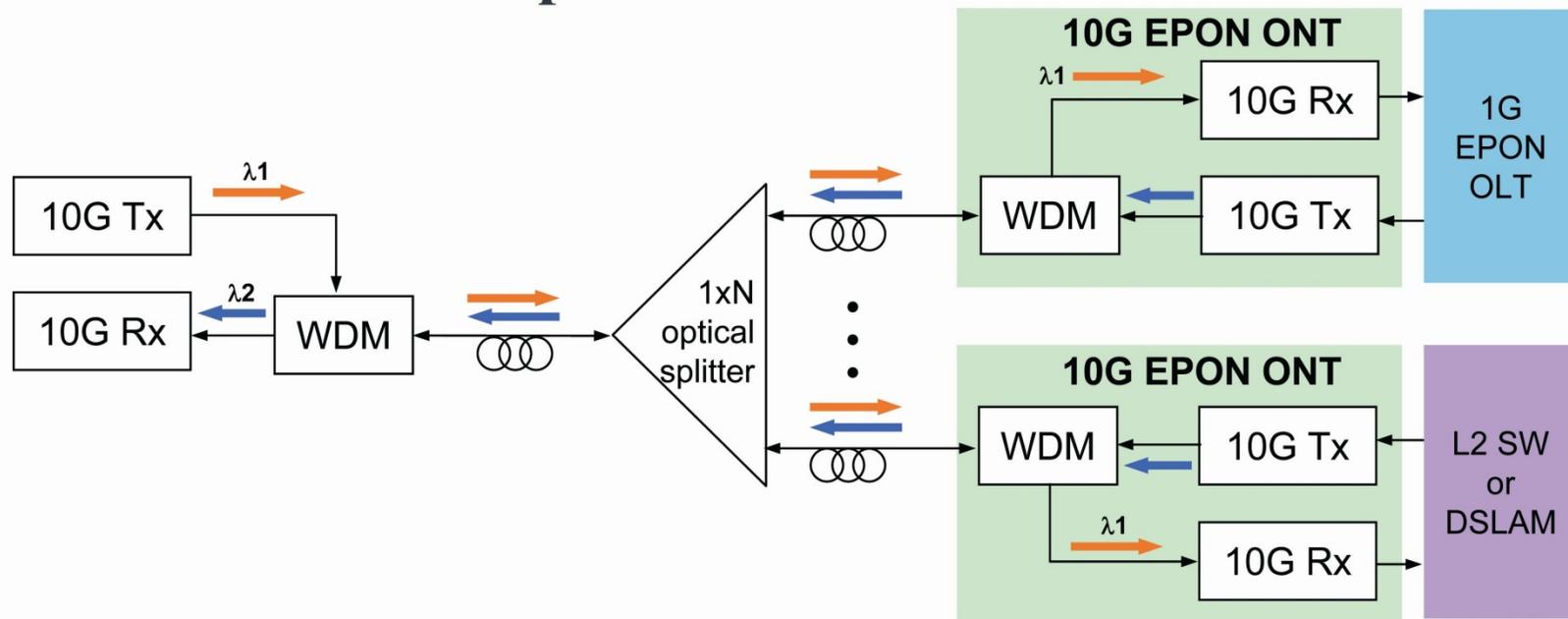
¹⁾ in a typical case

- SBS threshold: +17 dBm with frequency dithering
- SOA gain for continuous-mode downstream: 20 dB (typical)

10GEON Simétrico

Aplicación y Compatibilidad

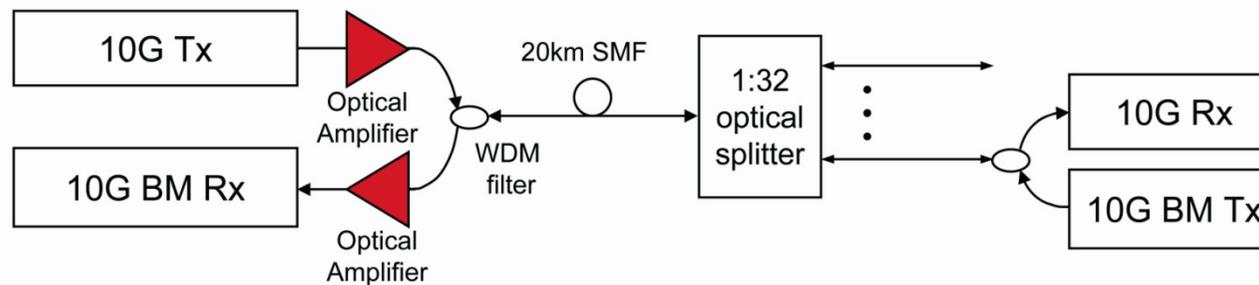
10G-down / 10G-up



En un primer momento se utilizará como “backhaul” para los OLTs de GEAPON y DSLAM de ADSL

10GEPON Simétrico

Ampliación del Link Budget a 29 dB



Stream	Tx Launch Power		Rx Performance			Available Link Budget
	Source	Amplifier	Sensitivity ¹⁾	Amplifier	FEC	
10G Down	+1 dBm (EML)	9 dB Gain (SOA)	-15 dBm (pin-PD)	N/A	4dB	29 dB
	+1 dBm (EML)	13 dB Gain (SOA)	-15 dBm (pin-PD)	N/A	N/A	29 dB
10G Up	-1 dBm (DFB LD)	N/A	-21 dBm (APD)	9 dB Gain (PDFA or SOA)	N/A	29 dB

- Shared optical amplifier gain for burst-mode upstream ^{1) in a typical case}

- ~10 dB for PDFA, reported by K. Suzuki, et al., at ECOC 2005
- ~20 dB for SOA, reported by N. Suzuki, et al., at ECOC 2005

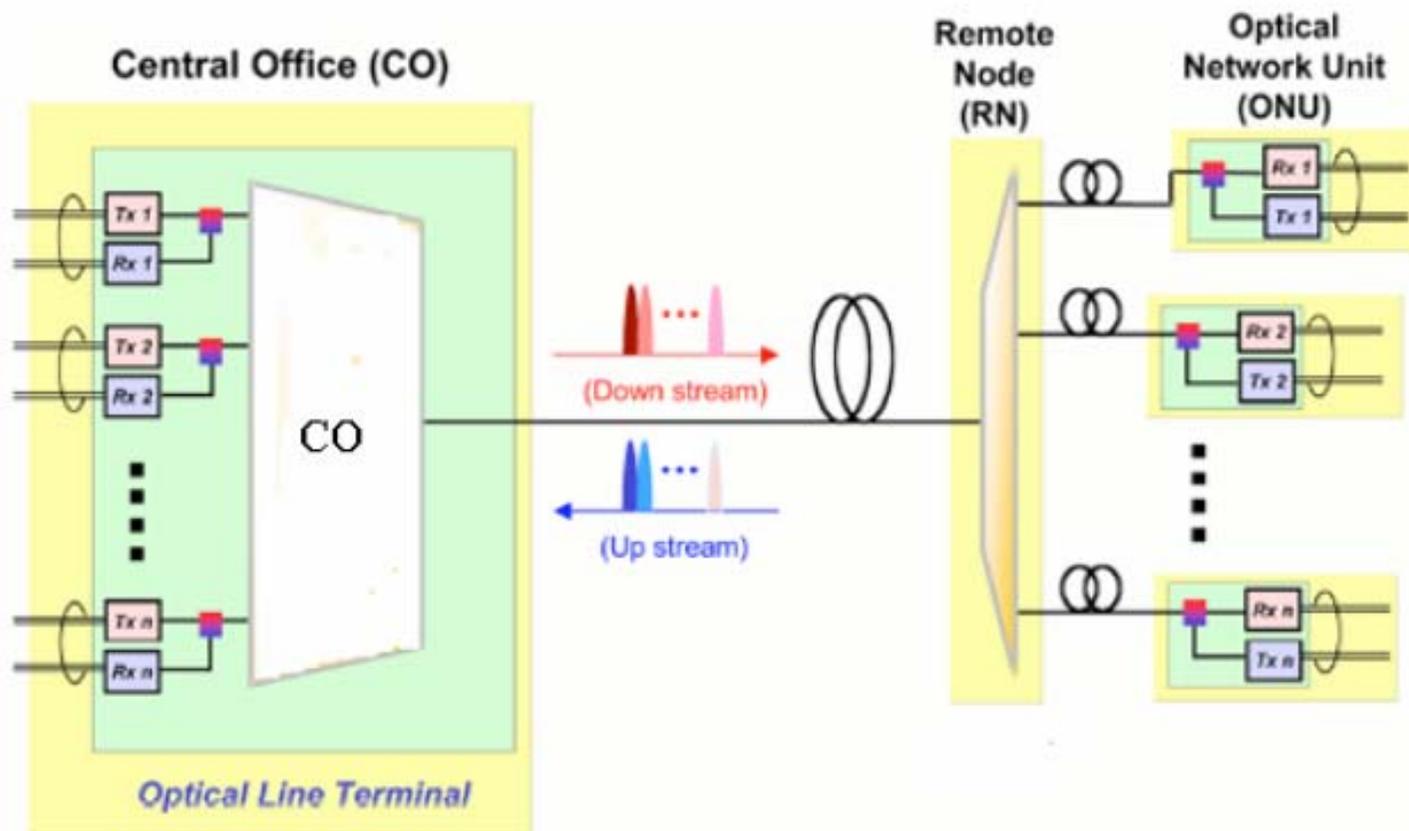
Evaluación del TDM-PON

- Por su naturaleza Broadcast presenta problemas de seguridad → todas las ONUs reciben todos los paquetes de información.
- La última milla representa un medio de acceso compartido, o sea que las ONUs comparten ancho de banda → la capacidad asignada a un cliente puede resultar disminuida.
- Aplicación en cortas y medianas distancias → el uso de divisores ópticos agrega atenuación que reduce el alcance.
- El protocolo debe asignar dinámicamente capacidad (ancho de banda) a cada usuario → protocolo complejo.

WDM-PON

- En el OLT (Central Office) se asigna una longitud de onda dedicada para cada cliente.
- Utiliza una topología de tipo Punto a Punto (P2P).
- El nodo remoto (Remote Node = RN) reemplaza a los divisores ópticos de la arquitectura PON con multiplexores y demultiplexores.
- Cada cliente dispone de un transceiver (transmisor y receptor) que se comunica con un equipo similar del lado central (CO).
- No hace falta un protocolo que administre las ventanas de transmisión para cada dispositivo.

WDM-PON



Ventajas del WDM-PON

- Gran disponibilidad de ancho de banda
 - ➔ 1 Gbps por cliente
- Calidad de servicio garantizada.
 - ➔ Capacidad exclusiva para cada cliente
- Buenas características de seguridad.
 - ➔ Cada cliente recibe solo los paquetes destinados a el.
- Permite enlaces a grandes distancias.
 - ➔ No existe la atenuación de los divisores ópticos.
- Reduce la complejidad del protocolo.
- Mas fácil de implementar que TDM-PON

Desventajas del WDM-PON

- Una desventaja principal y muy importante → **COSTO**.
- El cliente difícilmente utiliza 1 Gbps.
- Se requieren muchas longitudes de onda.
- Se desperdicia gran parte de la capacidad de cada λ .
- Requiere mayor cantidad de fibras y de transceivers.
- Actualmente resulta impracticable a menos que :
 - Baje sensiblemente el costo de los equipos
 - Crezca la demanda de ancho de banda

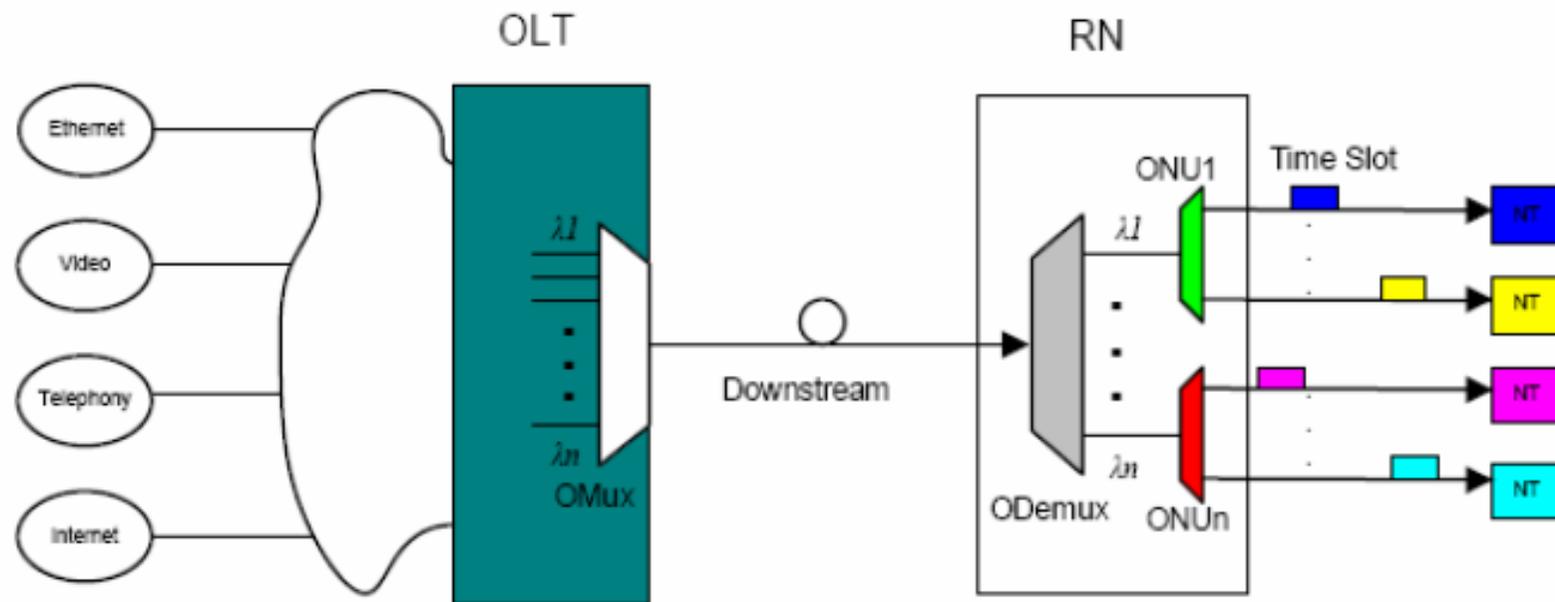
Como hacer viable el WDM-PON

- Se esta trabajando en diferentes direcciones para optimizar el costo del WDM-PON:
 - Implementar TDM sobre el WDM
 - Implementar puertos múltiples en el OLT
 - Implementar ONUs con interfases ópticas sintonizables

WDM-TDM PON

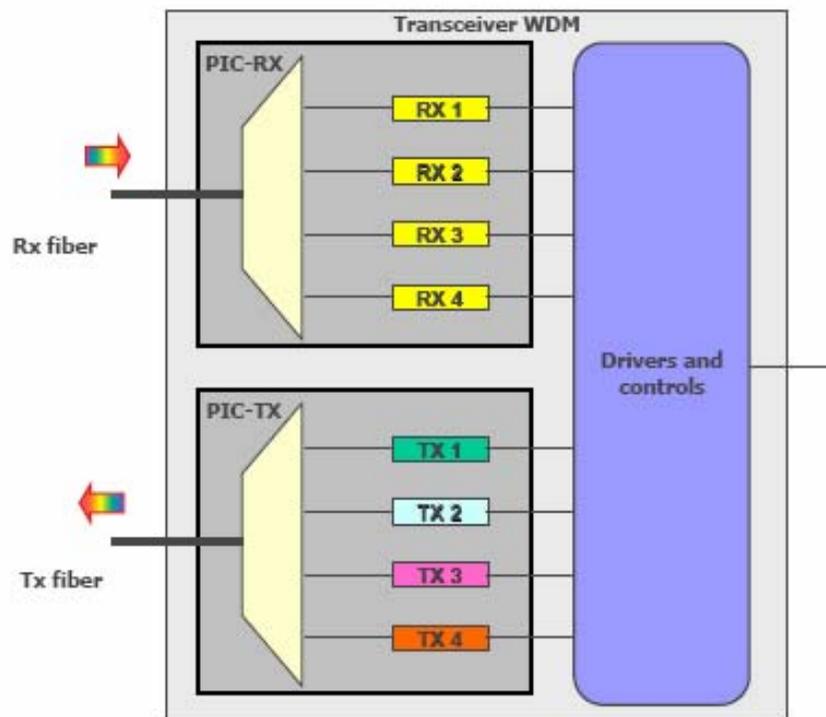
- Primero se implementa WDM y luego TDM
- Cada ONU trabaja sobre una determinada longitud de onda.
- Varios NTs (NT = network terminal) conectados a una ONU comparten el ancho de banda con técnicas TDM.
- Uno o varios clientes conectados a un NT.
- El tráfico que va hacia o desde los NTs esta multiplexado en tiempo → TDM.
- El tráfico entre el OLT y el ONU esta multiplexado en longitud de onda → WDM

WDM-TDM PON

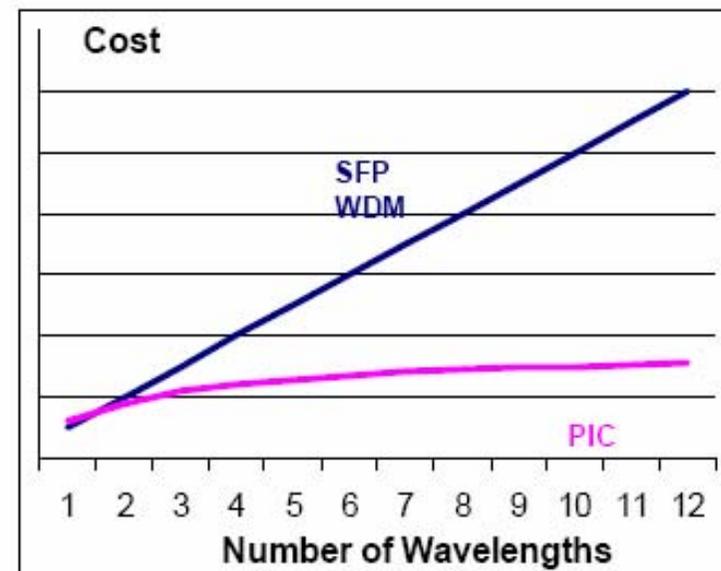


WDM-TDM PON

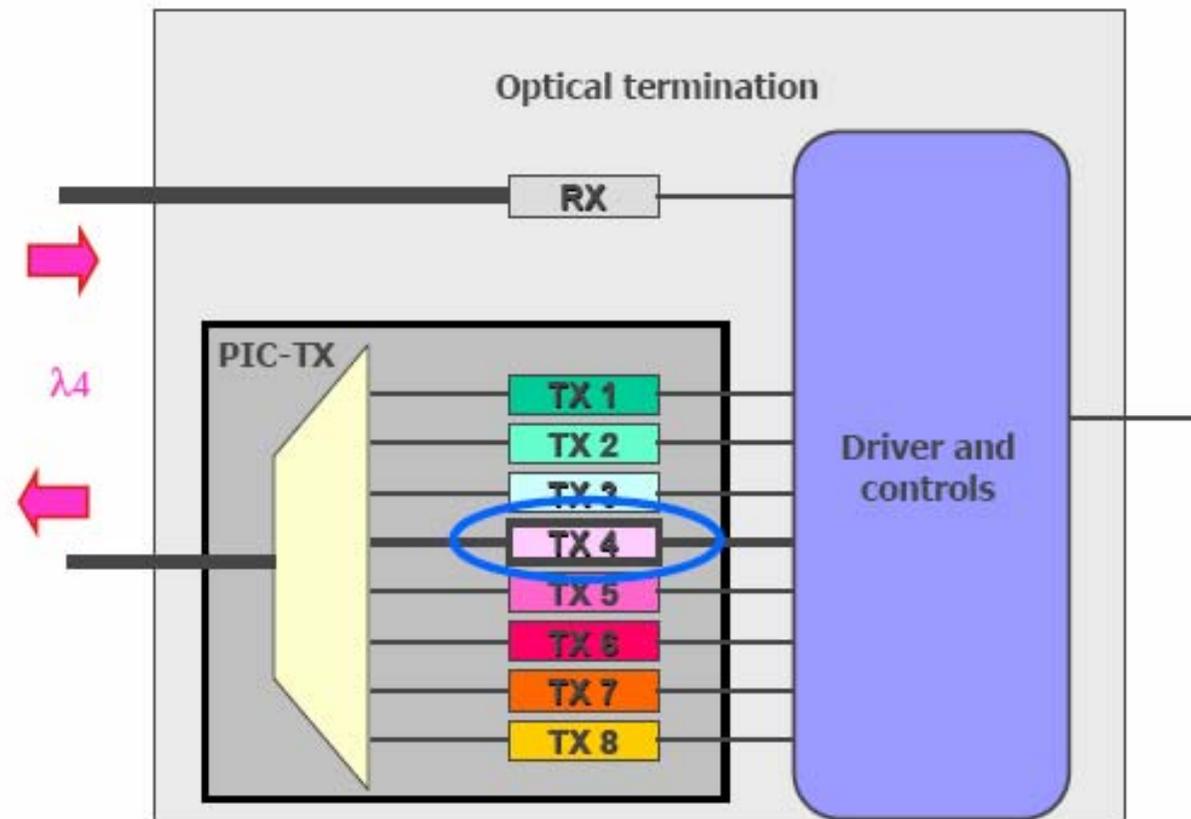
Puertos Múltiples en el OLT



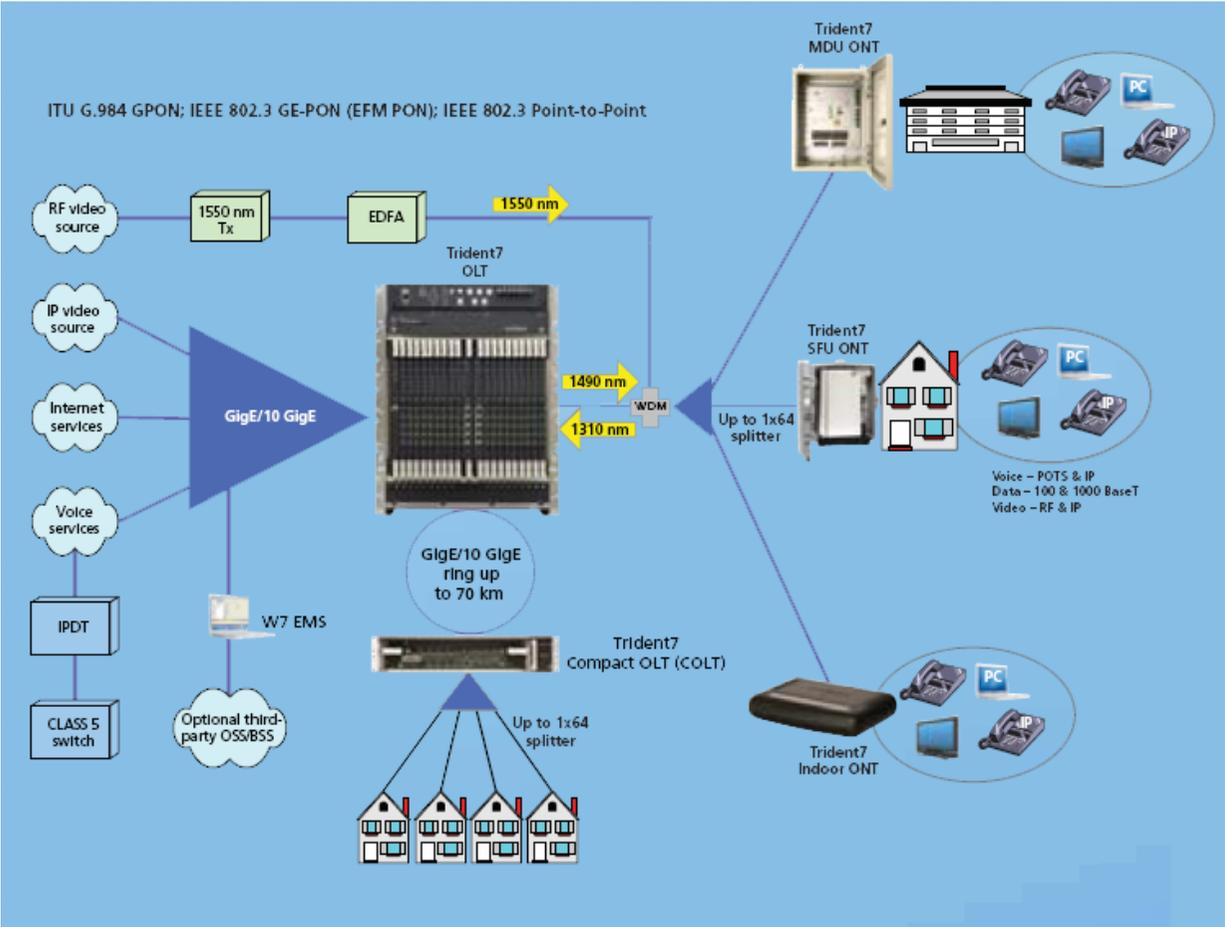
Cost is not linear with number of sources/Detectors



WDM-TDM PON ONUs Sintonizables



Ejemplo Arquitectura de Enableance



Ejemplo de Arquitectura de Motorola

