

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA

**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERIA**

**ESTUDIO TECNICO ECONOMICO DE FACTIBILIDAD PARA EL
DISEÑO DE REDES PON Y GPON**

H. MAURICIO MORENO A.

SANGOLQUI - ECUADOR

RESUMEN

Existe hoy en día una demanda creciente de conexiones de un alto ancho de banda, además de que las tecnologías tradicionales como XDSL tienen muchos límites que a su vez se pueden mitigar con enlaces de fibra óptica. El presente trabajo muestra el estudio técnico de factibilidad de redes ópticas pasivas y redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit, las diferentes arquitecturas, topologías existentes y sus avances, para lo cual se ha utilizado como herramienta principal los distintos artículos (papers) publicados en los últimos meses sobre redes PON, así como también material sobre redes de acceso. Se ha realizado un estudio económico general de los costos involucrados en esta tecnología que demuestran que con el despliegue de este tipo de redes se logra obtener una considerable reducción de costos. Esta propuesta constituye un inicio importante para el campo de las redes de comunicación con banda ancha en el país.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN A REDES DE ACCESO POR FIBRA OPTICA

1.1 Breve introducción	7
1.2 Componentes ópticos	12
1.3 Componentes Pasivos	19
1.4 Criterios de diseño	21
1.5 Redes de acceso vía fibra óptica.....	26
1.6 Clasificación de las redes de acceso de fibra óptica.....	28

CAPITULO 2 DESCRIPCION Y ESTANDARES DE REDES OPTICAS PASIVAS

2.1 Conceptos Fundamentales de redes PON.....	32
2.2 COMPONENTES DE UNA RED PON.....	36
2.3 Arquitectura de red	39
2.4 Definiciones Importantes.....	41
2.5 ARQUITECTURAS PON	42
2.6 TOPOLOGIAS PON.....	42
2.7 Ventajas de redes PON	84

CAPITULO 3 TECNOLOGIAS DE TRANSPORTE

3.1 ETHERNET IEEE 802.3.....	87
3.2 Frame Relay.....	91
3.3 ATM (Modo de transferencia asíncrono).....	106
3.4 Protocolos TCP IP.....	102

CAPITULO 4 PROPUESTA TECNICA	
4.1 Funcionamiento general de GPON.....	110
4.2 PON en Adolecencia de PON TDMA A PON WDM.....	117
CAPITULO 5 ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE FACTIBILIDAD	
5.1 Factores económicos de la red PON.....	129
5.2 Comparación entre GPON y EPON	133
5.3 Eficiencia del ancho de banda.....	137
5.4 Consideraciones de diseño.....	138
5.5 Proyecciones del ancho de banda en Ecuador.....	142
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145
GLOSARIO.....	150
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.1	2
Figura 1.2	4
Figura 1.3	6
Figura 1.4	8
Figura 1.5	9
Figura 1.6	11
Figura 1.7	12
Figura 1.8	13
Figura 1.9	14
Figura 1.10	17
Figura 1.11	19
Figura 1.12	21
Figura 1.13	23
Figura 1.14	24
Figura 2.1	26
Figura 2.2	27
Figura 2.3	28
Figura 2.4	32
Figura 2.5	36
Figura 2.6	37
Figura 2.7	38
Figura 2.8	39
Figura 2.9	40
Figura 2.10	41
Figura 2.11	42
Figura 2.12	43
Figura 2.13	43
Figura 2.14	44
Figura 2.15	45
Figura 2.16	45
Figura 2.17	48
Figura 2.18	49
Figura 2.19	49
Figura 2.20	51
Figura 2.21	52
Figura 2.22	53
Figura 2.23	54
Figura 2.24	55
Figura 2.25	56
Figura 2.26	57
Figura 2.27	58
Figura 2.28	59
Figura 2.29	60
Figura 2.30	61
Figura 2.31	62
Figura 2.32	65
Figura 2.33	69
Figura 2.34	72
Figura 3.1	82
Figura 3.2	83

Figura 3.3	88
Figura 3.4	88
Figura 3.5	88
Figura 3.6	91
Figura 3.7	92
Figura 3.8	93
Figura 4.1	103
Figura 4.2	104
Figura 4.3	105
Figura 4.4	105
Figura 4.5	106
Figura 4.6	107
Figura 4.7	108
Figura 4.8	108
Figura 4.9	109
Figura 4.10	109
Figura 4.11	110
Figura 4.12	111
Figura 4.13	113
Figura 4.14	114
Figura 4.15	116
Figura 4.16	118
Figura 4.17	120
Figura 5.1	122
Figura 5.2	123
Figura 5.3	124
Figura 5.4	125
Figura 5.5	125
Figura 5.6	128
Figura 5.7	130
Figura 5.8	131
Figura 5.9	132
Figura 5.10	133
Figura 5.11	133
Figura 5.12	134
Figura 5.13	135
Figura 5.14	137
Tabla 3.1	83
Tabla 4.1	115
Tabla 4.2	117
Tabla 5.1	127
Tabla 5.2	129
Tabla 5.3	137

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN A REDES DE ACCESO POR FIBRA OPTICA

1.1 Breve introducción

En los últimos años, la Sociedad de la Información ha experimentado un rápido desarrollo, debido, en gran parte, a la mayor competitividad impulsada por la desregulación del Mercado de las Telecomunicaciones y a la aparición de nuevos servicios de banda ancha.

El resultado de estos dos factores se ha traducido en una necesidad de disponer mejores redes de comunicaciones capaces de ofrecer un mayor ancho de banda a un menor costo, siendo en la actualidad en nuestro País la tecnología ADSL la que sigue explotando el bucle de abonado en cobre.

Por otro lado, la demanda cada vez mayor de los usuarios de un mayor ancho de banda ha hecho replantear a los operadores consolidados y emergentes sus estrategias, comenzando una carrera por la duplicación de la velocidad de sus líneas que parece no tener fin. Sin embargo ADSL cuenta con una limitación técnica importante: el ancho de banda que puede ofrecer. Además el ancho de banda disminuye drásticamente a medida que el usuario se aleja del punto de acceso.

En este sentido, la tecnología de la fibra óptica se presenta como una firme solución al problema gracias a la robustez, a su potencial ancho de banda ilimitado y a la continua mejora de sus características técnicas y descenso de los costes asociados a los dispositivos involucrados en tales redes. Si a los aspectos anteriores unimos que las nuevas construcciones (nuevas urbanizaciones, nuevos bloques de viviendas, centros comerciales) ya integran cableado estructurado de fibra óptica monomodo por su bajo coste marginal en el proyecto, estamos

hablando de un escenario completamente fértil para poder desplegar soluciones de conectividad en fibra óptica que directamente lleguen hasta el usuario.

1.1.1 Características comunes de Sistemas

Desde 1995, compañías operadoras de telecomunicaciones han venido trabajando en una red de servicios integrada de acceso al abonado, que permitiendo al usuario un acceso en banda ancha a través de fibra óptica, contuviera los costes de un despliegue tradicional punto a punto (como hace ADSL con el bucle de abonado en cobre, o bien en fibra óptica).

Las Redes Ópticas Pasivas toman su modelo de las redes CATV recicladas para ofrecer servicios de banda ancha mediante la habilitación del canal de retorno. Una red CATV como se muestra en la figura 1.1 está compuesta por varios nodos ópticos unidos con la cabecera a través de fibra óptica, de los cuales se derivan, mediante una arquitectura compartida de cable coaxial, los accesos a los abonados. Habitualmente en CATV cada nodo óptico ataca a un determinado número de usuarios (en función del ancho de banda que se quiere asignar a los usuarios) utilizando cable coaxial y splitters (divisores) eléctricos. Las redes ópticas pasivas sustituyen el tramo de coaxial por fibra óptica monomodo y los derivadores eléctricos por divisores ópticos. De esta manera, la mayor capacidad de la fibra permite ofrecer unos anchos de banda mejorados, en canal descendente y sobre todo en canal ascendente, superando la limitación típica de 36Mbps de los sistemas cablemodem.

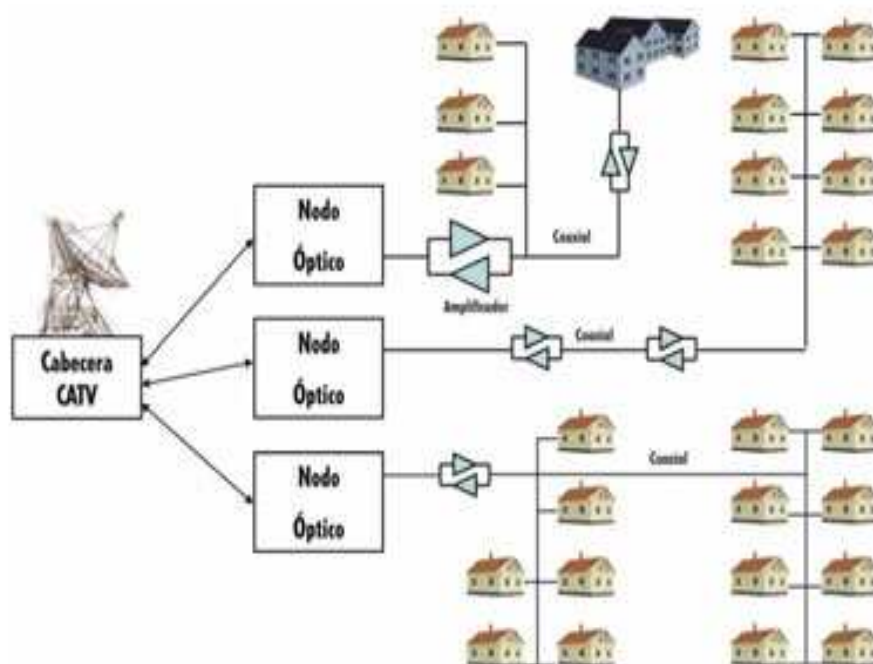


Figura 1.1. Arquitectura CATV

Esta nueva arquitectura es una evolución de menor coste a alternativas tradicionales como las redes punto a punto o las redes conmutadas hasta la manzana, puesto que reducen el equipamiento necesario para la conversión electroóptica y prescinden del equipamiento de red de alta densidad necesario para la conmutación.

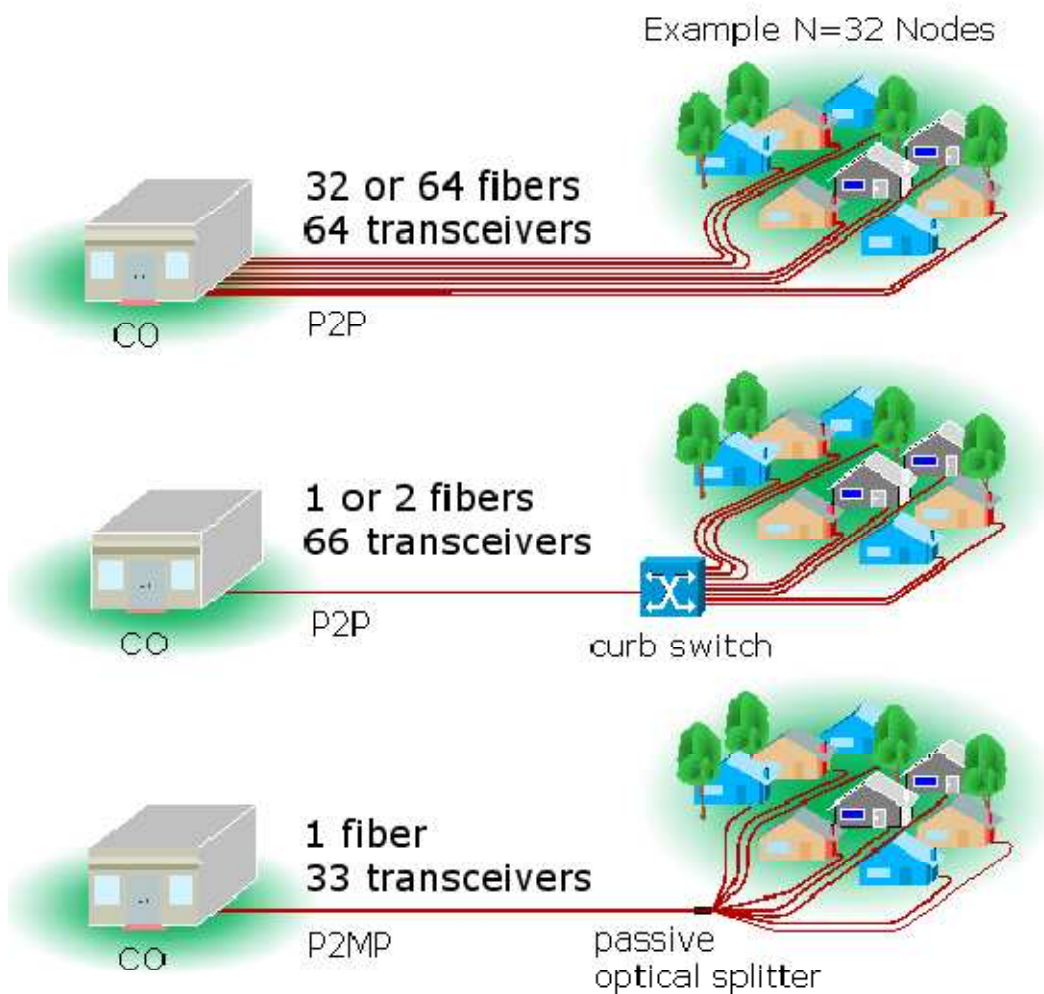


Figura 1.2 Arquitectura punto a punto vs punto multipunto con switch vs PON

Aunque las redes PON como concepto existen desde la década de los 90, solo en los últimos dos o tres años han alcanzado una madurez tecnológica que permiten que numerosos operadores comiencen a utilizarlas en forma masiva. En estos momentos parecen la opción preferida para edificar la futura red de acceso al abonado, una vez agotadas las posibilidades de crecimiento de las tecnologías xDSL

1.2 COMPONENTES DE RED OPTICA

Una red de fibra óptica requiere al menos de los siguientes componentes:

- Transmisor
- Receptor
- Regeneradores y amplificadores
- Empalmes y conectores

Muchos sistemas usan fuentes de luz de Arseniuro de Galio (GaAs) y Arseniuro de Galio y Aluminio (GaAlAs) que operan en longitudes de onda entre 750 y 900 nm. Los láseres de GaAs/GaAlAs y los leds fueron las mejores fuentes disponibles en los primeros sistemas, y se mantienen a bajo costo. Sin embargo, la pérdida y la dispersión son menores a mayores longitudes de onda, de manera que en la ventana de los 850 nm se usan solamente para sistemas cortos y de velocidades bajas.

Muchos de los sistemas actuales operan en la tercera ventana (1550 nm), donde las pérdidas son más bajas de 0,2 a 0,3 dB/km (típicamente 0,25 dB/km). Los amplificadores ópticos (regeneradores) pueden colocarse a distancias mucho mayores. Sin embargo, requieren de un diseño mucho más cuidadoso para reducir efectos que pueden aumentar la dispersión de pulso que en esta ventana es mucho mayor que en las anteriores. Otra posible fuente de luz puede ser un tramo de fibra dopada con una tierra rara como el Erblio, de modo que opere como un láser a 1550 nm. Sin embargo, los láseres de Neodimio y los de fibra dopada con Erblio requieren de modulación externa.

Las fibras ópticas transportan señales a través de largas distancias, gracias a sus bajas pérdidas. La señal podría ser muy débil y no sería bien detectada por el receptor. Para evitar esto se incorporan equipos de amplificación en las redes. Hay dos clases de dispositivos para reforzar la señal óptica: los **repetidores** electro-ópticos ó propiamente **Regeneradores**, y los **Amplificadores Ópticos**.

1.2.1 Transmisores

Algunos son empacados junto con los receptores y las conexiones correspondientes formando los “transceptores” ópticos, llamados a veces “módems de fibras ópticas”.

Los principales parámetros de los transmisores para los sistemas de fibras ópticas son: acoplamiento de potencia dentro de las fibras, longitud de onda central y el ancho espectral. El sistema de transmisión típico, está formado por las etapas mostradas en la figura 1.3.

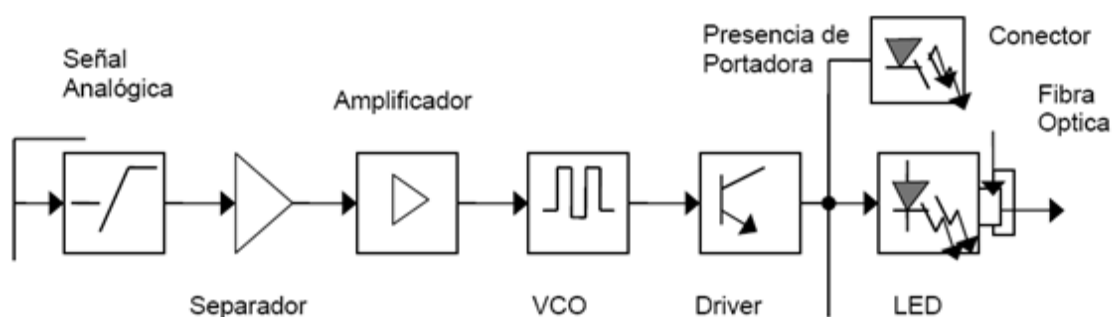


Fig 1.3 TRANSMISOR TIPICO

Figura 1.3 Transmisor óptico típico

El limitador está constituido por un divisor de tensión, a los ejes del cual se aplica la señal analógica, y por dos diodos colocados en paralelo, para evitar que las señales de amplitud excesiva o disturbios puedan saturar las etapas sucesivas.

El separador formado por un operacional que se usa como amplificador no inversor.

El amplificador formado por un operacional como amplificador inversor, que se coloca en paralelo entre la salida y la entrada inversora, sirve para limitar la ganancia a las frecuencias más altas (sobre 30 MHz). La salida de esta 1ª etapa es amplificada a la entrada del VCO (oscilador controlado por voltaje).

El VCO (Voltage Controlled Oscillator) contiene todos los circuitos necesarios para implementar un anillo con enganche de fase (PLL ó Phase Locked Loop), y entre ellos un VCO. Sin señal de entrada, el VCO genera una onda cuadrada de frecuencia fija.

La señal a la entrada, provoca una variación en la frecuencia de oscilación del VCO y de esta manera se obtiene una modulación de frecuencia.

El transductor electro-óptico en el cual la onda cuadrada modulada en frecuencia, de una amplitud fija (10 Vpp), es enviada a través del driver que, trabajando en conmutación, permite el paso de corriente ON-OFF a través de un LED, ó alimenta la entrada de un Láser. La onda cuadrada de tensión es así convertida en onda cuadrada de energía óptica. A través del conector particular, la señal es acoplada a la fibra óptica y enviada al receptor.

1.2.2 Receptores

El parámetro clave del receptor es la sensibilidad, la mínima **potencia recibida** (P_r) que se requiere para lograr una probabilidad de error dada P_e a una tasa de bits B .

Alternativamente, la sensibilidad puede ser expresada como el número promedio mínimo de fotones \bar{n} que debe recibirse por cada pulso: **$P_r = \bar{n}B \cdot hc/\lambda$** donde hc/λ es la energía de un fotón, h es la cte. de Planck (6.6252×10^{-34} J.seg), c es la velocidad de la luz y λ la long. de onda

Las etapas del receptor se muestran en la figura 1.4

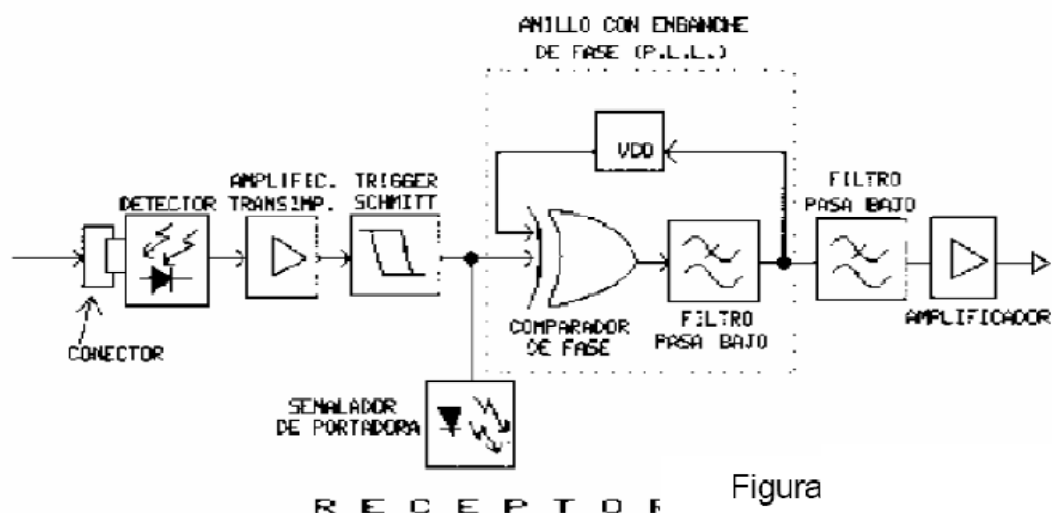


Figura 1.4. Receptor óptico típico

1.2.3 Amplificadores ópticos

Entre los desarrollos más importantes podemos destacar: el uso de amplificadores de fibra con pequeñas cantidades de erbio (EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifier), que actúan como amplificadores de alta potencia de salida en los transmisores ópticos, como amplificadores de línea en los repetidores submarinos y preamplificadores de bajo nivel de ruido en los receptores ópticos. En los sistemas sin repetidores, la máxima distancia de transmisión se puede extender varios kilómetros usando ópticos “bombeados” en forma remota. Estos amplificadores poseen unos pocos metros de EDF insertados en la línea de transmisión, a muchos kilómetros de la terminal y “bombeados” con luz de 1480 nm inyectada desde la terminal.

En los sistemas con repetidores, los amplificadores ópticos reemplazan a los regeneradores ópticos, haciendo posible que un repetidor que tengan menos componentes sea más confiable y resulte independiente de la velocidad en bitios. La mayoría de los amplificadores de fibra que se utilizan hoy en día son variaciones del esquema de amplificación básico como se muestra en la figura 1.5

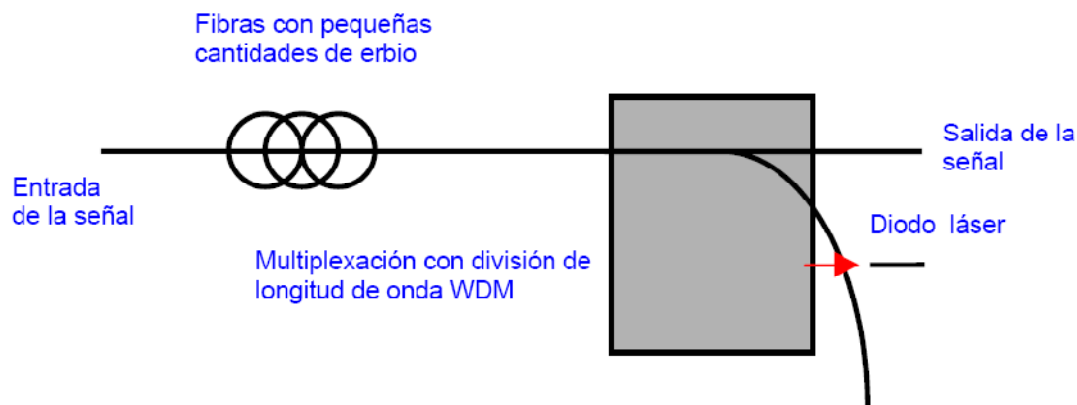


Figura 1.5 Amplificador óptico típico

El amplificador óptico típico consta de fibras con pequeñas cantidades de erbio para brindar amplificación óptica; un diodo láser, que es la fuente de potencia de bombeo óptico; finalmente, un multiplexador de división de onda para acoplar la potencia en el amplificador.

Hay varias características de los amplificadores de fibra con pequeñas cantidades de erbio que los hacen recomendables para utilizar en los sistemas de transmisión de alta capacidad, en primer lugar, presentan una ganancia de onda cercanas a los 1558 nm, donde la pérdida de las fibras ópticas está próxima a su valor mínimo.

En segundo lugar, un EDFA se puede operar de modo que su ganancia aumente con una potencia óptica de entrada más baja. Esta característica, llamada compresión de la ganancia, se usa para fortalecer los sistemas submarinos.

1.2.4 Regeneradores/ Convertidor opto-electrónico (O/E)

Este tipo de conversores convierten las señales ópticas que proceden de la fibra en señales eléctricas para que no se pierda o no se atenúe con la distancia. Un gran problema surge con los regeneradores: la velocidad de transmisión de los datos. Si la velocidad de transmisión es alta, la respuesta de los regeneradores no es la adecuada, por lo que existe pérdida de datos, con la llegada de los amplificadores ópticos con iridium se está simplificando el uso de los regeneradores.

Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente, esta corriente es proporcional a la potencia recibida, y por tanto a la forma de onda de la señal moduladora.

Las condiciones que debe cumplir un fotodetector para su utilización en el campo de las comunicaciones son:

- La corriente inversa (en ausencia de luz) debe de ser muy pequeña, para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).
- Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
- El nivel de ruido generado por el propio dispositivo ha de ser mínimo.

Hay dos tipos de detectores los fotodiodos PIN y los de avalancha APD.

Los detectores PIN (figura 1.6): El fotodiodo PIN es el detector mas utilizada en los sistemas de comunicación óptica. Es relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de tensión. Además es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismo de ganancia. Su nombre viene de que se componen de una unión P-N y entre esa unión se intercala una nueva zona de material intrínseco (I), la cual mejora la eficacia del detector. Se utiliza principalmente es sistemas que permiten una fácil discriminación entre posibles niveles de luz y en distancias cortas.



Figura 1.6. PIN Receiver Module

Los Detectores APD (avalancha photodiode): Los APD (**figura 1.7**) también son diodos polarizados en inversa, el mecanismo de estos detectores consiste en lanzar un electrón a gran velocidad (con la energía suficiente), contra un átomo para que sea capaz de arrancarle otro electrón.

La ganancia de un APD tiene influencia sobre el ancho de banda. El máximo ancho de banda se da para ganancia 1. Con ganancias mas elevadas, el ancho de banda se reduce debido al tiempo necesario para que se forme la fotoavalancha. Estos detectores se pueden clasificar de dos tipos

- De silicio: Presentan un bajo nivel de ruido y un rendimiento de hasta el 90% trabajando en primera ventana. Requieren alta tensión de alimentación (200-300V).
- De germanio: Aptos para trabajar con longitudes de onda comprendidas entre 1000 y 1300 nm y con un rendimiento del 70%



Figura 1.7. APD Photodiode

1.3 Componentes Pasivos

El procesamiento de las señales en forma óptica demanda el uso de componentes como los atenuadores ópticos, los splitters (divisores), acopladores y filtros WDM (Wavelength-Division-Multiplexing).

1.3.1 Atenuadores ópticos

Las limitaciones en el rango dinámico de los receptores demandan el uso de atenuadores en algunos sistemas. Una variedad de atenuadores fijos y ajustables se dispone como complemento para las instalaciones de fibras ópticas. Estos son generalmente implementados dentro de las estructuras de los conectores, utilizando la separación entre los terminales de la fibra, o agregando material de absorción entre las dos fibras para lograr la atenuación deseada.

1.3.2 Acopladores y divisores (Splitters)

Los Acopladores / Divisores (figura 1.8) para fibra óptica monomodo constan de una o dos ramas de entrada y varias de salida (2, 4, 8, 16, 32...). Están diseñados para introducir pérdidas de Inserción aproximadamente iguales en todas sus ramas de salida. La presentación mecánica habitual es sobre bandejas de empalme o casetes para mecánica rack. Los extremos de conexión pueden suministrarse terminados con conectores a requerimiento del cliente.

Cada Acoplador / Divisor se suministra caracterizado con las medidas de Pérdida de Inserción (P.I.) y Pérdida de Retorno (PR) de cada una de sus ramas. Estos acopladores divisores, son ampliamente utilizados en redes CATV



Figura 1.8 Acopladores ópticos típicos

1.3.3 Filtros WDM

Las técnicas ópticas pueden ser usadas para combinar (multiplexar) y separar (demultiplexar) diferentes longitudes de ondas luminosas, de modo que varias longitudes de onda puedan ser usadas simultáneamente en una misma fibra. Los filtros WDM convenientes para fibras mono y multimodo utilizan filtros dieléctricos de película delgada, los cuales transmiten una longitud de onda y reflejan otra, ver figura 1.9

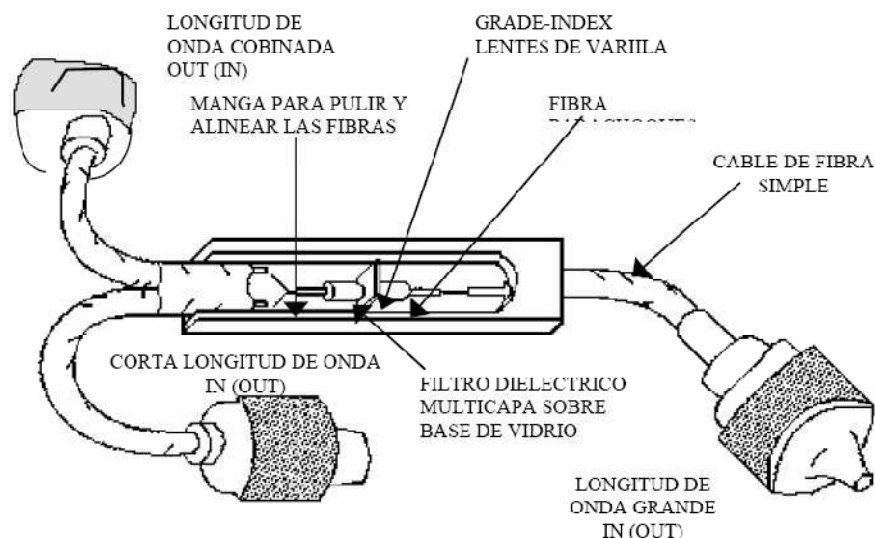


Figura 1.9 Filtro WDM

La figura anterior es un esquema del filtro usado para división de longitudes de onda multiplexadas y demultiplexadas. Tales filtros deben ser conectados a los paneles de distribución de las fibras para extender la capacidad de comunicación del cable de fibra.

La pérdida de inserción de estos filtros puede ser considerada en alrededor de 3 dB. Técnicas integradas de óptica se pueden usar para conseguir mayor selectividad en las longitudes de onda y (usando materiales electroópticos) conseguir estructuras sintonizables.

1.4 CRITERIOS DE DISEÑO DE UNA RED OPTICA

Con las ideas un poco más claras sobre los componentes de los sistemas de fibras ópticas, revisaremos los criterios básicos para diseñar una red con fibras ópticas.

1.4.1 Variables

Se empieza con un conjunto de requerimientos, tales como la necesidad de enviar una tasa de bits a través de ciertos km de cable. Se añaden algunas metas adicionales, por ejemplo, con el menor costo posible, menor que otras alternativas ó dentro de un presupuesto determinado. El sistema requerirá un BER menor a 10^{-9} y deberá operar sin interrupción al menos por 5 años.

Muchas variables intervienen en el diseño de un sistema. Las principales son las siguientes:

1. Fuente de luz, potencia de salida (hacia la fibra).
2. Pérdidas de acoplamiento.
3. Tiempo de respuesta de la fuente de luz y del transmisor.
4. Codificación de señal.
5. Pérdidas de empalmes y conectores.
6. Tipo de fibra (monomodo ó multimodo).
7. Atenuación y dispersión de la fibra.
8. Sensibilidad del receptor.
9. BER ó S/N
10. Ancho de Banda de Recepción.
11. Configuración del sistema.
12. Costos.

Muchas de estas variables están interrelacionadas. Por ejemplo la atenuación de la fibra y la dispersión dependen de la longitud de onda de operación y del tipo de fibra. Las pérdidas de acoplamiento de factores como el diámetro del núcleo y la AN. Algunas de estas relaciones limitan las opciones disponibles, por ejemplo, la necesidad de bajas pérdidas en la fibra puede requerir que se opere en 1300 ó en 1550 nm. Para conectar varias computadoras, por ejemplo, se tiene suficiente flexibilidad para escoger el tipo de red: Bus Ethernet, Token Ring ó Estrella, pero se tienen que conectar todos los terminales, y eso requiere suficiente potencia óptica para manejarlos.

1.4.2 Presupuesto de Potencia

Es la primera tarea de diseño. Esto es, se necesita estar seguro de que al restar todas las pérdidas ópticas del sistema, de la potencia entregada por el transmisor, llegue suficiente potencia al receptor con el BER ó S/N deseados.

Se debe añadir un Margen de seguridad, de tal forma que, el Presupuesto de Potencia se define como:

$$\text{Potencia del Transmisor - Entrada al Receptor} = \Sigma \text{Perdidas} + \text{Margen}$$

El Margen de seguridad permitirá degradaciones del sistema y fluctuaciones (por ejemplo debidas a la degradación del transmisor o a los empalmes o a pequeñas roturas del cable. Algunos fabricantes suelen especificar la

Potencia Pico, especialmente para los transmisores. Para un sistema de fibra óptica digital, la potencia pico es alrededor del doble de la potencia promedio. Como la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor se especifican como un mismo tipo de potencia, no hay problema, ya que los presupuestos de potencia se calculan en unidades relativas (dB). Sin embargo, se podría tener una diferencia de hasta 3 dB si la potencia del transmisor se especifica en valor pico y la sensibilidad en valor promedio.

Se deben considerar todas las pérdidas del sistema:

1. Pérdidas en la transferencia de la luz desde la fuente hacia la fibra.
2. Pérdidas de los conectores.
3. Pérdidas de los empalmes.
4. Pérdidas de los acopladores.
5. Pérdidas de la fibra.
6. Pérdida de acoplamiento del receptor a la fibra.

Algunas de estas pérdidas se han considerado en el cálculo de los espaciamentos entre regeneradores.

Para ver cómo operan estos presupuestos, debemos analizar primero el presupuesto de las pérdidas en el siguiente ejemplo:

Ejemplo: en un edificio se van a transmitir señales a través de 200 metros de fibra ya instalada (figura 1.10). En otras palabras, se debe enrutar la señal a través de paneles de conexión (patch panels) con conectores. Hay 6 pares de conectores distribuidos en dos pisos, uno para enlazar el terminal de cada piso con la red (total 2), y un par para conectarlos al panel patch en cada piso. (Los conectores también unen la fibra con el transmisor y con el receptor, pero sus pérdidas están incluidas en la transferencia de potencia del LED y en la sensibilidad del receptor). La fibra multimodo de índice gradual y núcleo de 50/125 μm usada, tiene una atenuación de 2,5 dB/km a 850 nm del transmisor LED. El presupuesto de pérdida se calcula de la siguiente forma:

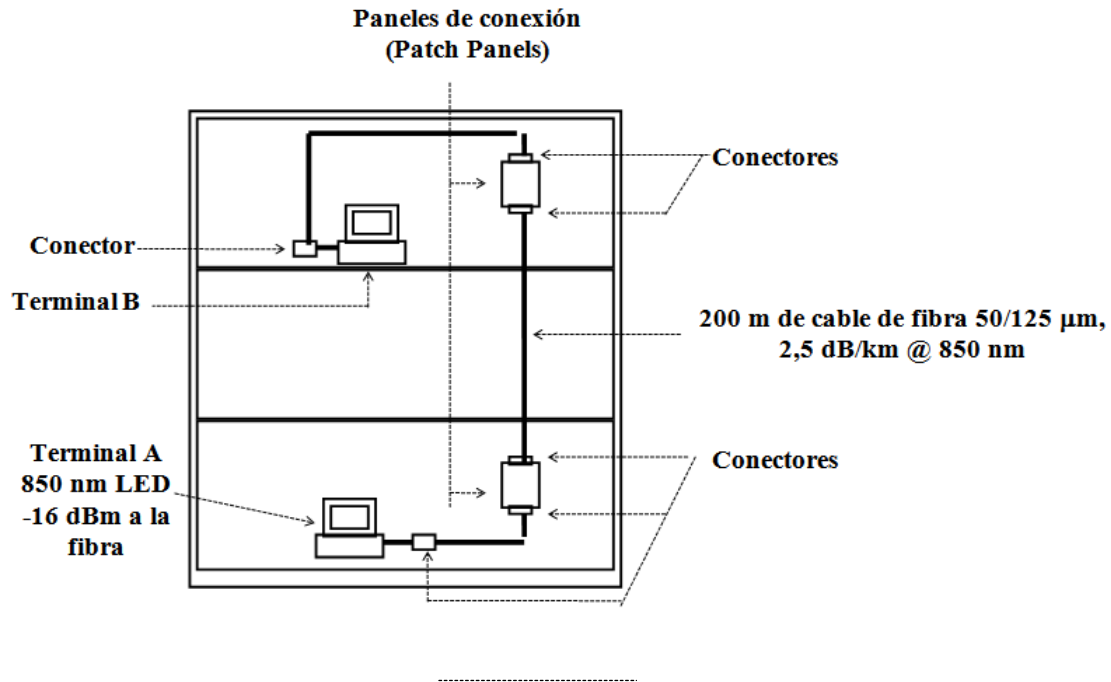


Figura 1.10 Una red LAN en un edificio

Presupuesto de Pérdidas:

Potencia del LED hacia la Fibra:	- 16.0 dBm
Pares de conectores (6 @ 0,7 dB):	- 4.2 dB
Pérdida de la Fibra (200 m @ 2,5 dB/km):	- 0,5 dB
Margen del sistema:	- 10.0 dB

Sensibilidad requerida en el Receptor: - 30,7 dBm

El cálculo muestra que la mayor pérdida está ocasionada por los conectores. La pérdida de la fibra puede ser despreciable para distancias pequeñas.

La sensibilidad calculada para el receptor tiene un nivel razonable, y el Margen del sistema podría ser mayor si tenemos un receptor más sensible. Este cálculo inicia con una pérdida dada, un margen del sistema, y una potencia de entrada; pero, podría empezar con la sensibilidad dada en las especificaciones del receptor, el margen del sistema y la pérdida, para calcular la potencia

requerida en el transmisor. Hay que notar que los LEDs proveen baja potencia de entrada a la fibra.

La pérdida dominante es en los 50 km de la fibra. La atenuación es menor que en el primer ejemplo porque está operando en la segunda ventana (1300 nm) y en una fibra monomodo. La potencia de entrada es mayor porque la larga distancia justifica el costo del laser. De forma similar, se justifica una mayor sensibilidad en el receptor. Los 24 empalmes que unen los segmentos de las fibras (bobinas de 2 km). Un conector (realmente un par acoplado) está en cada extremo para permitir la conexión del transmisor y del receptor a través de los paneles de conexión ó patch panels. El uso de conexiones cruzadas de los cables en estos paneles, muy común en las redes telefónicas, añadiría un par más de conectores a cada extremo, dando un total de 4 pares con una pérdida de conexión de 4 dB. Aumentando la sensibilidad en el receptor o la potencia en el transmisor, se tendrá un mayor margen en el sistema.

1.4.3 Presupuesto de Ancho de Banda

Es a la vez más simple y más complejo que calcular el presupuesto de las pérdidas. La simplicidad viene de la posibilidad de ignorar los componentes como conectores y empalmes, que no inciden directamente en el ancho de banda; pero, la complejidad está en la naturaleza de las relaciones que limitan la velocidad de transmisión, aún después de hacer algunas simplificaciones.

El ancho de banda y la velocidad de transmisión tienen que ser considerados de diferente forma; dependerá si el sistema es analógico o digital, y aún de la codificación digital usada. (Por simplicidad, tomaremos la codificación NRZ como un estándar). Aunque los detalles pueden ser ligeramente diferentes para otros tipos de codificación, los principios son los mismos.

1.5 REDES DE ACCESO VIA FIBRA OPTICA

Como marco de referencia, en la figura 1.11 se muestra lo que se entiende por red de acceso de fibra: un conjunto de equipos e instalaciones que conectan los elementos terminales de la red de transporte con los terminales de los usuarios. En concreto, y avanzando desde la red al usuario, se distinguen las siguientes: Terminador de línea óptica (TLO), red de distribución de fibra óptica, Terminador de Red Óptica (TRO) y acometida.

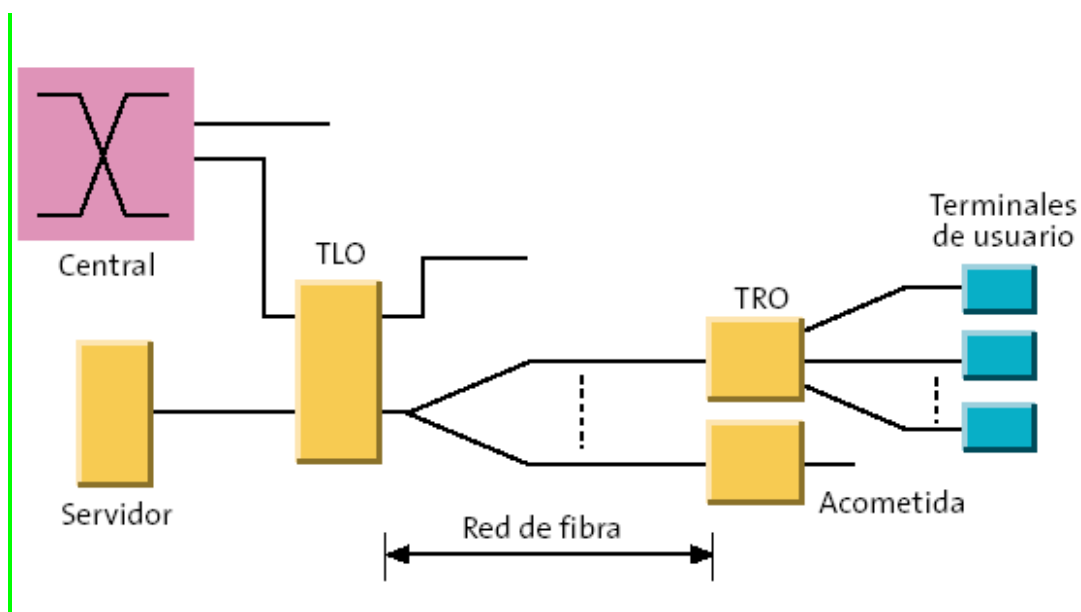


Figura 1.11. Red de acceso de fibra óptica

En redes tradicionales de telefonía, la frontera entre la red de transporte y la de acceso está constituida por las centrales de conmutación local. En la actualidad, esta frontera se ha ampliado e incluye otros tipos de conmutadores: conmutadores ATM, routers IP, etc. Esto es, cualquier tipo de concentrador que agrega el tráfico de clientes finales...

El terminador de línea es un equipo de transmisión que adapta la interfaz de los conmutadores o servidores al medio portador de la red de acceso. Suele estar constelado con éstos últimos en el mismo edificio. Como ejemplo, en el caso de la transmisión mediante ADSL el terminador de línea es un módem. La situación es similar en el acceso de fibra: en algunos casos es un equipo separado,

mientras que en otros está incluido en los conmutadores o routers. Es evidente que las redes que requieren un terminador de línea como equipo independiente son más caras que aquellas en las que la conmutación local y la transmisión están integradas en un único elemento.

La red de distribución constituye la planta exterior propiamente dicha: un conjunto de cables que salen del edificio de la central y se van ramificando hasta llegar a los denominados equipos terminales de red, que, normalmente, pero no siempre constituyen el final de red de fibra. Entre los terminales de red y los de usuario suele existir un tramo adicional de planta, la acometida, generalmente constituida por cables de pares o coaxiales, aunque en algunos casos puede ser también de fibra o incluso una interfaz de radio. El lugar donde se instala el terminador de red da lugar a una clasificación de las redes de acceso de fibra en función de su punto de terminación.

1.5.1 La fibra hasta el punto de terminación FTTx

Tal como se describe anteriormente, la red de acceso de fibra no siempre está constituida únicamente de fibra óptica. Dependiendo del punto donde acabe la fibra óptica el tipo de cable de red recibe un nombre u otro. E pueden citar algunos ejemplos:

- Fibra hasta el hogar, Fiber To The Home (FTTH).
- Fibra hasta la acera, Fiber To The Curb (FTTC).
- Fibra hasta el edificio, Fiber To The Building (FTTB).
- Fibra hasta el escritorio, Fiber To The Desk (FTTD).

Para acabar todas estas situaciones bajo una denominación común se utilizan además otras dos aceptaciones: FTTx, que puede entender como cualquiera de las anteriores, y fibra de acceso, Fiber In The Loop FITL. Dependiendo de los interlocutores y los escenarios, e emplean unos términos u otros.

1.6 Clasificación de las redes de acceso de fibra óptica

Independientemente del nombre que puedan recibir por el lugar donde se encuentra el terminador de red, las redes de acceso de fibra se clasifican según el tipo de servicios que puedan soportar:

- Redes de fibra para servicios de banda ancha estrecha
- Redes de fibra para servicios interactivos de banda ancha (PON, Gigabit Ethernet).
- Redes de fibra para servicios de distribución o redes HFC

1.6.1 Redes de fibra para servicios de banda ancha estrecha

Por servicios de banda estrecha se entienden en este contexto aquellos cuyo ancho de banda es inferior a 2 Mbps. Incluye la telefonía convencional, acceso básico RDSI¹, líneas conmutadas de nx64 Kbps, conexiones ADSL; en las que el usuario recibe una señal del tipo ADSL aunque parte de la red de acceso sea de fibra.

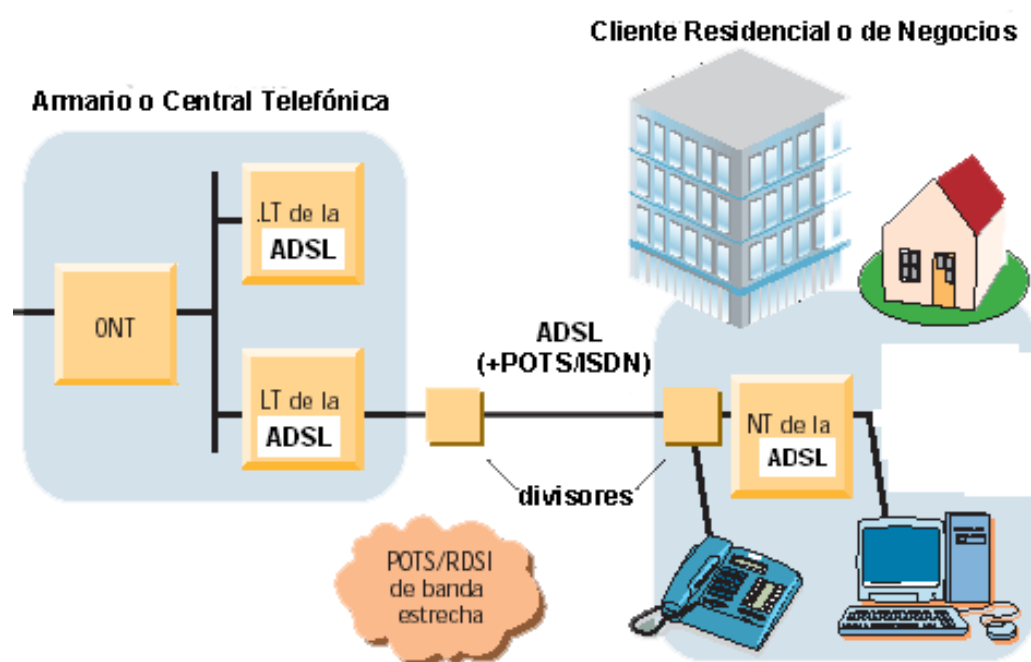


Figura 1.12. Red de banda estrecha

¹ RDSI en inglés ISDN (Red Digital de Servicios Integrados) envía señales digitales en lugar de analógicas por la red. Consigue velocidades de 128kbps en el acceso básico y de hasta 2 Mbps en el acceso primario
POTS: Plain Old Telephone Service, Plan de service telefonico antiguo

1.6.2 Redes de fibra para servicios interactivos de banda ancha

Se entiende por servicios de banda ancha aquellos en los que la velocidad de transmisión en sentido ascendente es superior a 2 Mbit/s. además este servicio no requiere una conexión permanente, sino que utiliza líneas conmutadas o preferentemente, acceso a redes IP de alta velocidad.

Existen diversas implementaciones y propuestas sobre cómo debe ser una red de acceso banda ancha. De forma representativa se presentan las PON y Gigabit Ethernet.

Dejando a un lado las tecnologías APON y EPON que se trataran en el siguiente capitulo, lo que se suele entender por red de acceso Gigabit Ethernet responde al diagrama de la figura 1.13 La topología de red de fibra es un anillo por el que el tráfico se propaga en tramas y cutos nodos son routers IP. No existe el TLO y la conexión entre el router y los terminadores de red se realiza mediante acometidas de cable tipo UTP 5, una por cada terminador, con una longitud máxima de 100 a 150 m, por la que ofrece al cliente una interfaz de 100 Mbps.

De las expuestas hasta ahora, considerando únicamente el coste de los equipos, esta red es la mas barata de todas: el costo de provisión de un enlace Ethernet a 100 Mbps es casi el mismo que el de otro ADSL q 2 Mbps.

Los motivos por los que estas redes todavía no se han desplegado son básicamente los derivados de sus problemas y costos de instalación: la necesidad de tender una nueva acometida de cobre para cada usuario, y la dificultad de instalar routers cerca de os clientes residenciales. Este tipo de interfaz sobre cobre requiere un cable UTP 5, normalmente utilizado en redes de área local, que es diferente del par telefónico. Por otra parte con tendidos de 100 a 150 m, se requiere un número elevado de routers para cubrir un área geográfica extensa, y la colocación de equipos activos en exteriores presenta problemas, ya mencionados como la obtención de permisos necesarios, la protección contra el vandalismo, la integración del equipo con línea estética urbana.

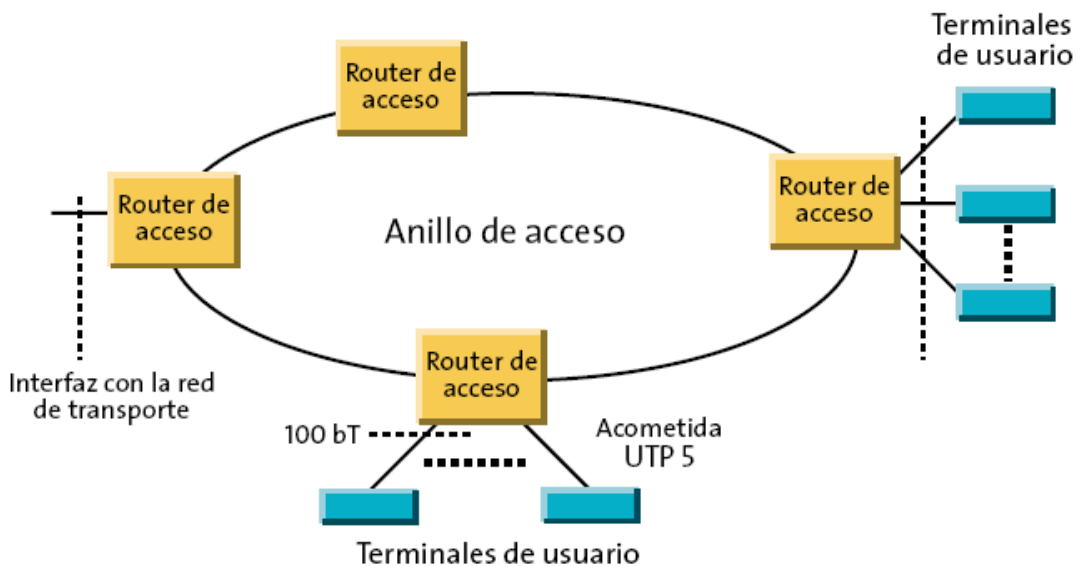


Figura 1.13. Red de acceso Gigabit Ethernet

1.6.2 Redes de fibra para servicios de distribución o redes HFC

La característica que define a estas redes es su transmisión predominantemente unidireccional: desde una cabecera se difunden los canales de TV y el tráfico IP de alta velocidad a decenas de miles de usuarios. Al contrario que las anteriores, han encontrado acogida en el mercado desde hace varios años, ya que han surgido como evolución gradual de las redes de distribución por cable, que han ido mejorando su calidad al sustituir tiradas completas de cable coaxial, con amplificadores intermedios por fibras ópticas sin ningún tipo de repetidor. De hecho, y por haber tenido su origen en la distribución por cable, a estas redes se las sigue denominando “redes de cable”, aunque por lo general, hoy por hoy únicamente incorporan cable coaxial en la acometida. Estas redes también reciben el nombre Híbridas Fibra Coaxial (HFC), ya que la acometida se realiza con cable coaxial.

Una red de acceso HFC está constituida, genéricamente, por tres partes principales como se muestra en la figura. 1.14. Elementos de red: dispositivos específicos para cada servicio que el operador conecta tanto en los puntos de origen de servicio como en los puntos de acceso al servicio.

La infraestructura HFC: incluye la fibra óptica y el cable coaxial, los transmisores ópticos, los nodos ópticos, los amplificadores de radiofrecuencia, taps y

elementos pasivos: box, cablemodems y unidades para integrar el-top-Terminal de usuario: set servicio telefónico.

El ancho de banda de la red HFC es la clave en la que se fundamentan las ventajas de este tipo de redes, entre las que se incluyen:

- Posibilidad de ofrecer una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales.
- Soporte de servicios conmutados y de difusión.

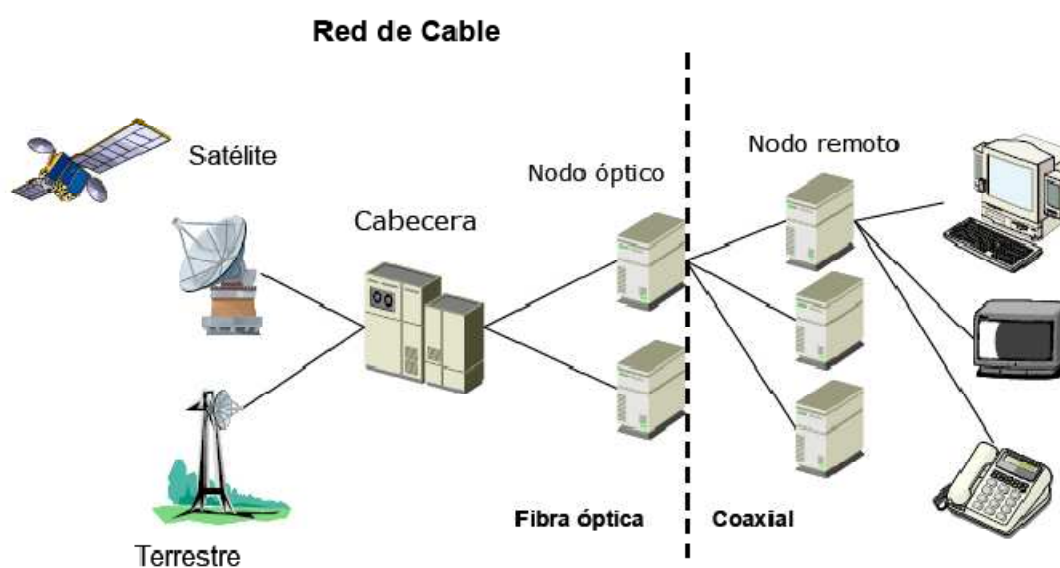


Figura 1.14 Estructura general de una red HFC

En la segunda parte del presente trabajo se describe algunos conceptos sobre redes PON que se deben tomar en cuenta como las arquitecturas, componentes entre otros.

En el capítulo tres se describe los diferentes protocolos de transporte que se aplican en una red óptica pasiva, y se incluye el protocolo IP.

Para el capítulo cuatro se plantea a GPON como propuesta técnica de diseño, se abarca todos sus conceptos y además se detalla la migración de PON TDMA a PON WDM.

En el capítulo cinco se ha realizado un análisis económico general de lo que involucra en una red óptica pasiva, y se demuestra su factibilidad económica cuando el ancho de banda y el número de usuarios aumentan.

Dejando para el capítulo seis las conclusiones y recomendaciones que se han obtenido a lo largo de la elaboración del proyecto.

CAPITULO 2

DESCRIPCION Y ESTANDARES DE REDES OPTICAS PASIVAS

2.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE REDES PON

Las tendencias a corto/mediano plazo en las redes de acceso ópticas están basadas en arquitecturas tanto activas y pasivas. Ambas tienen sus pros y contras y aunque parece que las arquitecturas pasivas son las que ofrecen más ventajas, desde el punto de vista de simplificación de la gestión y operación, como de reducción de costo para los operadores de red, probablemente coexistirán ambos tipos de arquitecturas.

En cuanto a arquitecturas activas figura 2.1, el eFMA Ethernet In The First Mile Alliance lanzó recientemente la iniciativa de EFMF, Ethernet In The First Mile over Fiber, que basándose en los estándares 802.3 conocidos, propuso nuevos estándares sobre fibra que han permitido completar las especificaciones del IEEE 802.3 existentes. Estas nuevas especificaciones del EFMF define la capa física sobre fibra punto a punto simple (monomodo y multimodo) con tráfico Ethernet.

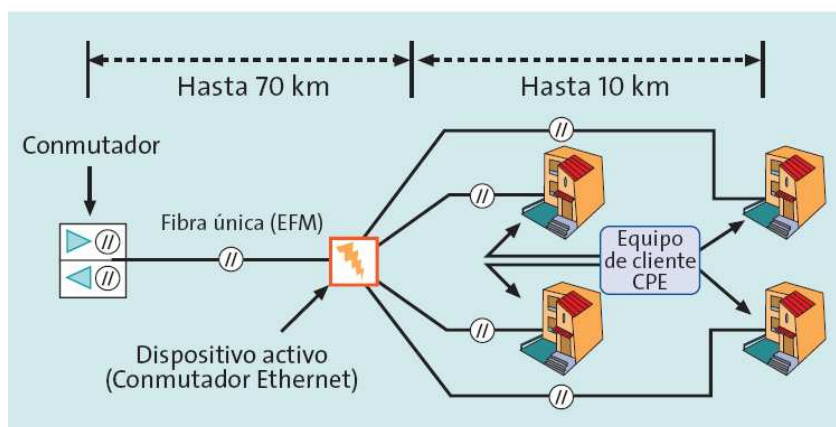


Figura 2.1 Arquitectura de red de acceso activa

El escenario de red se basa en un nodo terminal de red activo (router/switch) ubicado en el área de acceso, conectado por el lado de red a un nodo de acceso ubicado en la Oficina central CO del operador y por el otro lado a los usuarios, realizando la función de agregación de tráfico, y donde se conectan los usuarios mediante una conexión P2P bidireccional con una única fibra. EFMF permite despliegues FTTx, en función de la distribución de los usuarios dentro del área de acceso, consiguiendo coberturas de hasta 80 Km desde la oficina central a expensas, claro está, de instalar un dispositivo “activo” remoto (router o switch) fuera de la planta, que ha de ser gestionado como un elemento de red.

En lo que respecta a las redes de acceso ópticas pasivas Figura 2.2, hay que indicar una red PON esta formada por un dispositivo terminal de línea óptica (OLT) situado en la oficina central (CO), uno o mas separadores/acopladores ópticos distribuidos a lo largo de la red de acceso (optical splitter/coupler) y un conjunto de terminales de red ópticos (ONT/ONU) conectados a un separador óptico mediante fibra. De estos elementos, los separadores ópticos son los realmente pasivos, no requieren alimentación y están ubicados fuera de la planta, siendo de ellos de donde toma el nombre esta tecnología.

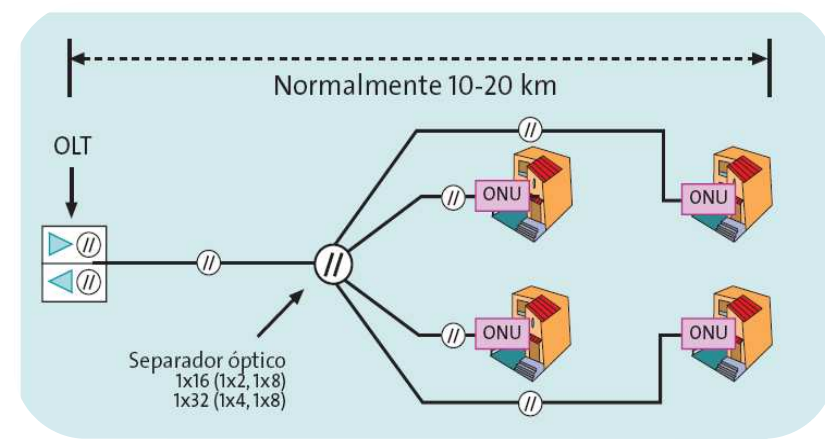


Figura 2.2 Arquitectura de red de acceso pasiva PON.

PON es una tecnología punto-multipunto, cubriendo distancias de 10 a 20 Km. Todas las transmisiones en una red PON se realizan entre la unidad Óptica Terminal de Línea (OLT –Optical Line Terminal-), localizada en el nodo óptico o central y la Unidad Óptica de Usuario (ONU). Habitualmente la unidad OLT se interconecta con una red de transporte que recoge los flujos procedentes de

varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red. La unidad ONU se ubica en domicilio de usuario, configurando un esquema FTTH (fibra hasta el usuario, Fiber To The Home).

Existen varios tipos de topologías adecuadas para el acceso a red, incluyendo topologías en anillo (no muy habituales), árbol, árbol-rama y bus óptico lineal. Cada una de las bifurcaciones se consiguen encadenando divisores ópticos 1x2 o bien divisores 1xN.

En algunos casos, dependiendo de la criticidad del despliegue, a red de acceso puede requerir protección.

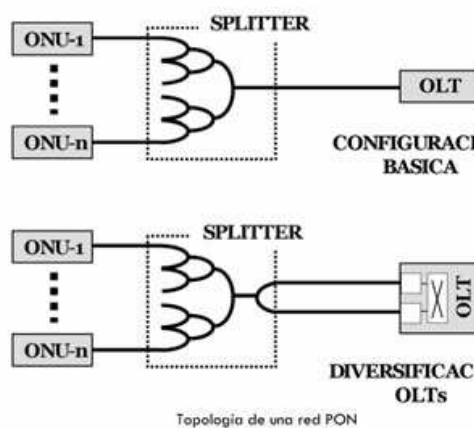


Figura 2.6 Topología de una red PON

Todas las topologías PON utilizan monofibra para el despliegue. En canal descendente una PON es una red punto multipunto. El equipo OLT maneja la totalidad del ancho de banda que se reparte a los usuarios en intervalos temporales. En canal ascendente la PON es una red punto-a punto donde múltiples ONUs transmiten a un único OLT. Trabajando sobre monofibra, la manera de optimizar las transmisiones de los sentidos descendente y ascendente sin entremezclarse consiste en trabajar sobre longitudes de onda diferentes utilizando técnicas WDM (Wavelength Division Multiplexing). La mayoría de las implementaciones superponen dos longitudes de onda, una para la transmisión en sentido descendente (1290nm) y otra para la emisión a la cabecera (1310nm) – sentido ascendente-. La evolución de la tecnología óptica ha permitido miniaturizar los filtros ópticos necesarios para esta separación hasta llegar a integrarlos en los transceivers ópticos de los equipos de usuario. Se utilizan estas

portadoras ópticas en segunda ventana (en lugar de trabajar en tercera ventana) para contener al máximo los costes de la optoelectrónica.

Al mismo tiempo las arquitecturas PON utilizan técnicas de multiplexión en tiempo TDMA para que en distintos instantes temporales determinados por el controlador de cabecera OLT, los equipos ONU puedan enviar su trama en canal ascendente. De manera equivalente el equipo de cabecera OLT también debe utilizar una técnica TDMA para enviar en diferentes slots temporales la información del canal descendente que selectivamente deberán recibir los equipos de usuario (ONU).

Las arquitecturas PON también han tenido que resolver otro aspecto importante: la dependencia de la potencia de transmisión del equipo OLT con la distancia a la que se encuentra el equipo ONU, que como se ha detallado anteriormente, puede variar hasta un máximo de 20Km. Evidentemente un equipo ONU muy cercano al OLT necesitará una menor potencia de su ráfaga para no saturar su fotodiodo. Los equipos muy lejanos necesitarán que su ráfaga temporal se transmita con una mayor potencia. Esta prestación también ha sido introducida recientemente en los transceptores ópticos PON, que han simplificado notablemente la electrónica anteriormente necesaria para actuar sobre un control de ganancia externo al transceptor. La nueva óptica miniaturiza, integra y simplifica el trabajo con ráfagas de diferente nivel de potencia.

2.2 COMPONENTES DE UNA RED PON

Una red óptica pasiva está formada básicamente por:

- Un modulo OLT (*Optical Line Terminal* - Unidad Óptica Terminal de Línea) que se encuentra en el nodo central.
- Un divisor óptico (*splitter*).
- Varias ONUs (*Optical Network Unit* - Unidad Óptica de Usuario) que están ubicadas en el domicilio del usuario.

La transmisión se realiza entonces entre la OLT y la ONU que se comunican a través del divisor, cuya función depende de si el canal es ascendente o

descendente. En definitiva, PON trabaja en modo de radiodifusión utilizando splitters (divisores) ópticos o buses.

2.2.1 Canal descendente (downstream)

En canal descendente, una red PON es una red punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que recibe el divisor y que se encarga de repartir a todas las unidades ONU, cuyo objetivo es el de filtrar y sólo enviar al usuario aquellos contenidos que vayan dirigidos a él. En este procedimiento se utiliza la multiplexación en el tiempo (TDMA) para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

2.2.2 Canal ascendente (upstream)

En canal ascendente una PON es una red punto a punto donde las diferentes ONUs transmiten contenidos a la OLT. Por este motivo también es necesario el uso de TDMA para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad OLT. Al mismo tiempo, todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como "*Ranging*".

2.2.3 Aspectos a contemplar

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando técnicas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Al utilizar longitudes diferentes es necesario, por lo tanto, el uso de filtros ópticos para separarlas después. Finalmente, las redes ópticas pasivas contemplan el problema de la distancia entre usuario y central; de tal manera, que un usuario cercano a la central necesitará una potencia menor de la ráfaga de contenidos para no saturar su fotodiodo, mientras que un usuario lejano necesitará una potencia más grande. Esta condición está contemplada dentro de la nueva óptica.

Existen distintas modalidades de PON:

- **APON** (ATM ((Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network):

Fue la primera red que definió la FSAN, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas.

- **BPON** (Broadband PON - **Red Óptica Pasiva de Banda Ancha**):

Se basan en las redes APON pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha. Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir:

1. **Tráfico asimétrico**: canal descendente -> 622 Mbps // Canal ascendente -> 155 Mbps.
2. **Tráfico simétrico**: canal descendente y ascendente -> 622 Mbps.

No obstante presentaban un costo elevado y limitaciones técnicas.

- **EPON**(Ethernet PON IEEE 802.3ah):

Especificación realizada por el grupo de trabajo **EFM** (*Ethernet in the First Mile* **Ethernet en la última milla**) constituido por la IEEE para aprovechar las características de la tecnología de fibra óptica y aplicarlas a Ethernet.

La arquitectura de una red EPON se basa en el transporte de tráfico Ethernet manteniendo las características de la especificación 802.3. Las ventajas que presenta respecto los anteriores estándares son:

1. Trabaja directamente a velocidades de gigabit (que se tiene que dividir entre el número de usuarios).
2. La interconexión de islas EPON es más simple.
3. La reducción de los costes debido a que no utilizan elementos ATM y SDH.

- **GPON**(Gigabit-capable PON) ITU-T G.984:

Está basada en BPON en cuanto a arquitectura pero, además ofrece:

1. Soporte global multiservicio: voz, *Ethernet 10/100*, ATM
2. Cobertura hasta 20 km
3. Seguridad a nivel de protocolo.

4. Soporte de tasas de transferencia:

- Simétrico: 622 Mbps y 1.25 Gbps.
- Asimétrico: descendente-> 2.5 Gbps // ascendente -> 1.25 Gbps

2.3 Arquitectura de red

La sección óptica de un sistema de red de acceso local puede ser activa o pasiva y su arquitectura puede ser punto a punto o punto a multipunto. La figura 2.4 muestra las arquitecturas disponibles, que van de la fibra hasta la vivienda (FTTH, *fibre to the home*), pasando por la fibra hasta el edificio/a la acometida (FTTB/C, *fibre to the building/curb*), hasta la fibra hasta el armario (FTTCab, *fibre to the cabinet*). La OAN (red de acceso óptico) es común a todas las arquitecturas presentadas en la figura 1; por consiguiente, la uniformidad de este sistema ofrece la posibilidad de generar grandes volúmenes a escala mundial.

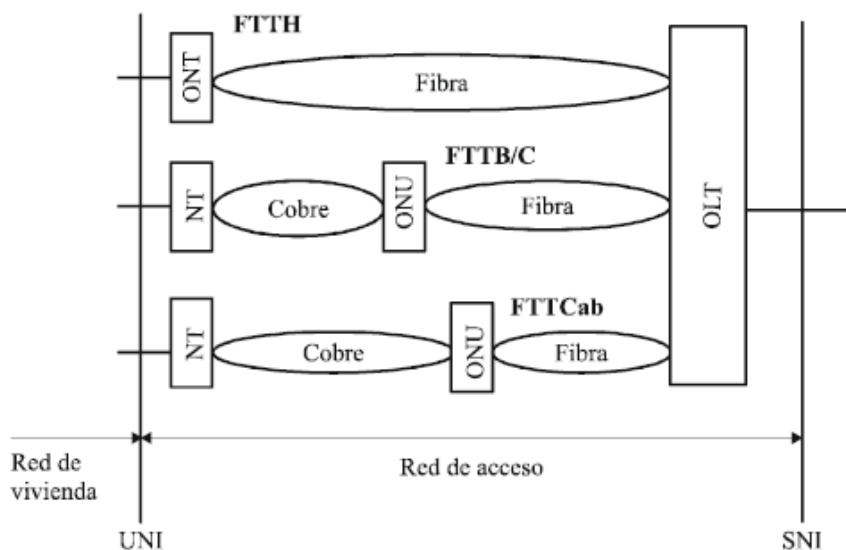


Figura 2.4 Arquitectura de red

ONU Unidad de red óptica (*optical network unit*)

ONT Terminación de red óptica (*optical network termination*)

OLT Terminación de línea óptica (*optical line termination*)

NT Terminación de red (*network termination*)

Las diferencias entre las opciones de red fibra al edificio (FTTB, *fibre to the building*), fibra a la acometida (FTTC, *fibre to the curb*), fibra al armario (FTTCab, *fibre to the cabinet*) y FTTH estriban principalmente en los distintos servicios que

ofrecen, y por lo tanto pueden tratarse como equivalentes en esta Recomendación.

2.3.1 Escenario FTTB

Este escenario se divide a su vez en dos escenarios, uno para las unidades multivivienda (MDU, *multi-dwelling unit*), y el otro para las empresas. Cada escenario tiene las siguientes categorías de servicio:

FTTB para MDU:

- Servicios de banda ancha asimétricos (por ejemplo, servicios de difusión digital, vídeo por demanda (VOD, *video on demand*), descarga de ficheros, etc.).
- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de ficheros, cursos a distancia, telemedicina, juegos en línea, etc.).
- Servicio telefónico ordinario (POTS, *plain old telephone service*) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.

FTTB para empresas

- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, programas informáticos de grupo,
- difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de ficheros, etc.).
- Servicio telefónico ordinario (POTS) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.
- Línea privada. La red de acceso ha de proporcionar, de una manera flexible, servicios de línea privada con distintas velocidades.

2.3.2 Escenarios FTTC y FTTCab

En estos escenarios se incluyen las siguientes categorías de servicio:

- Servicios de banda ancha asimétricos (por ejemplo, servicios de difusión digital, vídeo por demanda, descarga de ficheros, juegos en línea, etc.).

-
- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, difusión de contenido, correo electrónico, intercambio de ficheros, cursos a distancia, telemedicina, etc.).
 - Servicio telefónico ordinario (POTS) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.
 - Red de retroceso xDSL.

2.3.3 Escenario FTTH

En este escenario se incluyen las siguientes categorías de servicio:

- Servicios de banda asimétricos (por ejemplo, servicios de difusión digital, vídeo por demanda, telecarga de ficheros, etc.).
- Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de ficheros, cursos a distancia, telemedicina, juegos en línea, etc.).
- Servicio telefónico ordinario (POTS) y red digital de servicios integrados (RDSI). La red de acceso ha de ofrecer, de una manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización adecuada para el acceso.

2.4 Definiciones Importantes

En este trabajo se utilizan continuamente los términos definidos en las Recomendaciones UIT-T G.983.1 y G.983.3

función de adaptación (AF, *adaptation function*): Equipo adicional que convierte la interfaz de abonado ONT/ONU en una interfaz UNI necesaria para el operador o para convertir una interfaz UNI en una interfaz de abonado ONT/ONU. Las funciones de la AF dependerán de la interfaz de abonado ONT/ONU y de la interfaz UNI. Además, la AF es útil también para convertir una interfaz de red OLT en una interfaz SNI necesaria para el operador o para convertir una interfaz SNI en una interfaz de red OLT.

alcance lógico: Se define como la distancia máxima que puede alcanzar un sistema de transmisión particular, independientemente de la potencia óptica.

distancia de fibra diferencial: Una OLT se conecta a varias ONU/ONT. La distancia de fibra diferencial es la diferencia de distancia entre la ONU/ONT más próxima y la más distante a partir de la OLT.

retardo medio de transferencia de la señal: Los valores medios en transmisión hacia el origen y hacia el destino entre puntos de referencia "V" y "T"; un valor dado se determina midiendo el retardo de ida y retorno y dividiendo por dos el valor obtenido.

red de acceso óptico (OAN, *optical access network*): El conjunto de enlaces de acceso que comparten las mismas interfaces del lado red y están soportados por sistemas de transmisión de acceso óptico. La OAN puede incluir varias ODN conectadas a la misma OLT.

red de distribución óptica (ODN, *optical distribution network*): Una ODN proporciona el medio de transmisión óptica desde la OLT hasta los usuarios, y viceversa. Utiliza componentes ópticos pasivos.

terminación de línea óptica (OLT, *optical line termination*): Una OLT proporciona la interfaz en el lado de la red de la OAN, y está conectada a una o varias ODN.

terminación de red óptica (ONT, *optical network termination*): Una ONU utilizada para FTTH y que incluye la función de puerto de usuario.

unidad de red óptica (ONU, *optical network unit*): Una ONU proporciona (directamente o a distancia) la interfaz lado usuario de la OAN, y está conectada a la ODN.

alcance físico: Se define como la distancia física máxima que puede alcanzar un sistema de transmisión particular.

servicio: Se define como un servicio de red que es necesario para los operadores. El servicio se describe mediante un nombre fácilmente reconocible por cualquier persona, independientemente de que se trate de un nombre de estructura de trama o de un nombre genérico.

interfaz de nodo de servicio (SNI, *service node interface*).

interfaz usuario-red (UNI, *user network interface*).

2.5 ARQUITECTURAS PON

2.5.1 WDM-PON MULTIPLEXACION POR DIVISION DE LONGITUD DE ONDA

La figura 2. 5 muestra una WDM-PON básica, cada suscriptor es asignado dos longitudes de onda en la banda de 1.3 μm , una para la transmisión descendente y otra para la transmisión ascendente, proporcionando una conectividad virtual punto a punto. El nodo remoto consiste en un dispositivo pasivo que enruta la longitud de onda apropiada al suscriptor. Existen tres ventajas de esta tecnología. Primero el ancho de banda completo de cada canal de longitud de onda está disponible para un solo usuario. Segundo: contrario a TDM-PON que requiere sincronización, cada canal de longitud de onda es completamente independiente del otro. Finalmente un suscriptor una que sus longitudes de onda han sido asignadas, no pueden acceder señales destinadas para otros suscriptores, incrementando la seguridad de información.

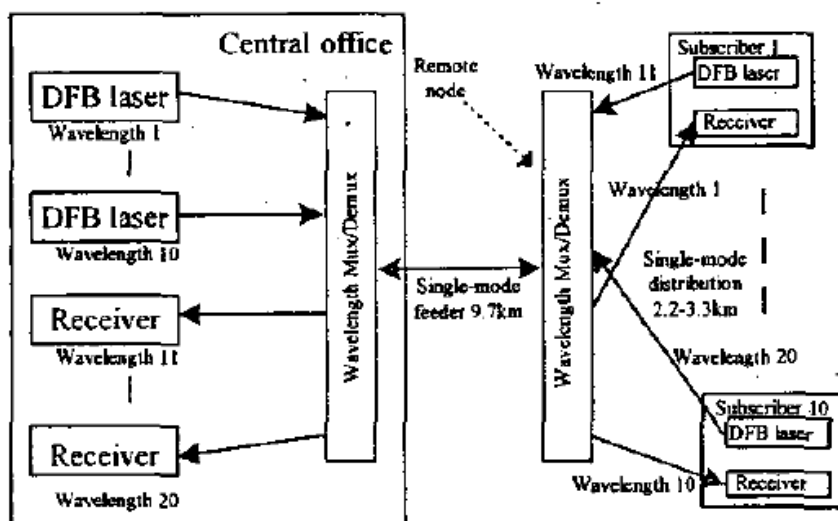


FIGURA 2.5 Configuración básica de WDM PON

Sin embargo, todas estas ventajas son perdidas en la oficina central. Principalmente el alto costo de fuentes DWDM tales como lasers DFB y routers de longitud de onda hacen que esta clase de PON no competirá fácilmente con redes basadas en cobre. Soluciones sofisticadas tratan de incrementar el número de componentes que se comparten entre varios suscriptores. Los mayores dificultades de esta técnica son el manejo de la longitud de onda.

WDM – PON es de propósito general y una tecnología extremadamente eficiente del futuro óptico para uso redes de transporte de acceso y redes Metro. Esta permite altamente el uso eficiente de una planta de fibra externa para

proveer una conexión óptica punto a punto a múltiples localidades remotas a través de un único feeder de fibra.

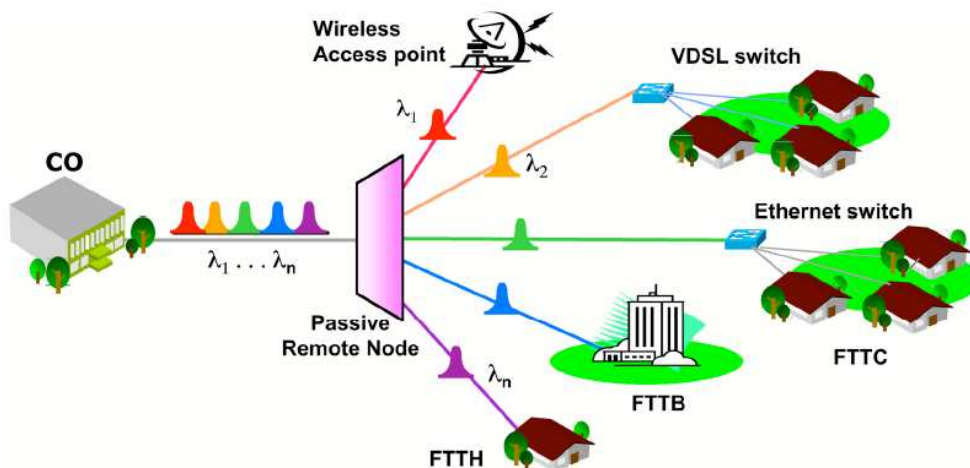


Figura 2.6 WDM-PON soporta múltiples servicios

La figura 2.6 ilustra la arquitectura para una WDM PON, como se puede ver esta arquitectura de propósito general puede servir para múltiples aplicaciones tanto como para negocios y usuarios residenciales.

2.5.1.1 Conectividad punto a punto

La funcionalidad básica de WDM se ilustra en la Figura 2.7 Una conectividad óptica punto a punto dedicada a “n” sitios remotos requiere “n” transceivers tanto como para oficina central y para la ONU remota. En una arquitectura punto a punto convencional, esta funcionalidad es con frecuencia aprovechada usando “2n” feeders de fibra como se muestra en la figura 2.7. cuando la localidad remota esta localizada lejos de la oficina central, la fibra extra xara y el manejo de fibra llega a ser prohibido. En la arquitectura WDM PON esos “2n” transmisores son conectados por un solo feeder óptico por medio del uso de multiplexacion y demultiplexacion de DWDM.

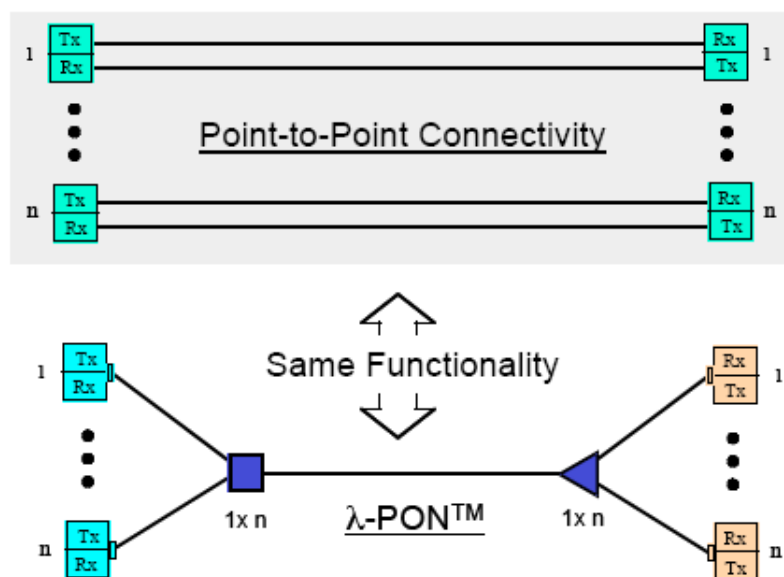


Figura 2.7 Una λ -PON es equivalente a “n” enlaces punto a punto bidireccionales

2.5.1.2 Comparación con transmisión WDM tradicional

La figura 2.8 ilustra la funcionalidad de una PON con la tradicional WDM. WDM convencional típicamente lleva tráfico unidireccional sobre cada enlace de transmisión de fibra. Esto permite el uso de amplificadores ópticos unidimensionales que son ampliamente requerido en aplicaciones de largo alcance. De este modo tráfico bidireccional requiere dos enlaces de datos separados, uno para enlace ascendente y otro para tráfico descendente. En contraste λ -PON provee la misma funcionalidad usando un solo canal de enlace esto es posible usando MUX y DEMUX (AWG cíclico) de longitud de onda modificado, que puede soportar múltiples longitudes de onda en cada uno de sus n salidas de fibra. Esta implicación de red hace a λ -PON una solución más conveniente para redes de acceso, ya que na sola fibra es requerida para conetar localidades MUX/DEMUX y una sola fibra para conectar cada ONU remota.

Otra importante diferencia es la eliminación del requerimiento de “n” diferentes fuentes laser (multiple lasers DFB) en los “n” transceivers. Por el uso de FP-LDs() cada trasceiver remoto en una λ -PON es idéntico e intercambiable con todos los otros transceivers. Esto es un importante requerimiento en una red de acceso dado que los transceivers son tipicamnete esparcidos sobre diferentes localidades remotas.

Algo de importancia es el reciente desarrollo de AWGs que permite al nodo remoto ser completamente pasivo. Previamente AWG requiere calefactores para mantener sus canales WDM dentro de la rejilla de la ITU. Este método se detalla más adelante.

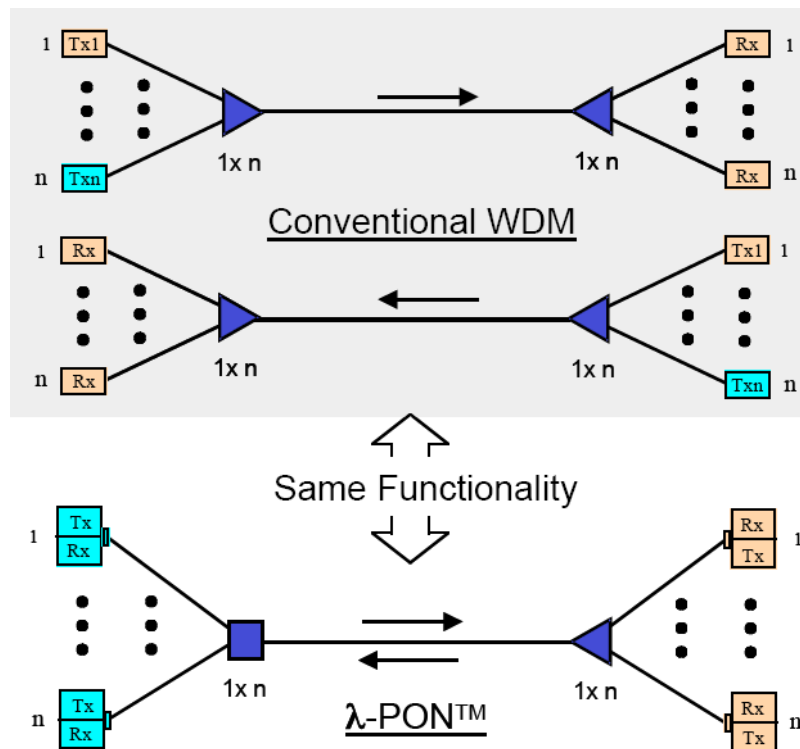


Figura 2.8 Comparación de funcionamiento con un sistema WDM tradicional

En resumen un λ -PON difiere del convencional WDM en (i) Habilitación de transmisión bidireccional sobre cada de sus fibras ópticas. (ii) proveen una arquitectura punto multipunto a través de un Mux/Demux remoto en la interfaz y (iii) usan *automatically wavelength-locked* FP-LDs idénticos e intercambiables.

2.5.1.3 Descripción de un AWG cíclico

En la figura 2.9 se muestra la funcionalidad de un router AWG (Arrayed Wave Guide) cíclico usado en λ -PON, esta funcionalidad es diferente del típico AWG usado en WDM convencional. Un AWG cíclico es diseñado para multiplexar/demultiplexar múltiples longitudes de onda sobre cada fibra de salida como se ilustra en la fig 4. Esto permite tanto longitud de onda upstream y downstream estar eficientemente acoplado a cada sitio remoto sobre una sola fibra de distribución.

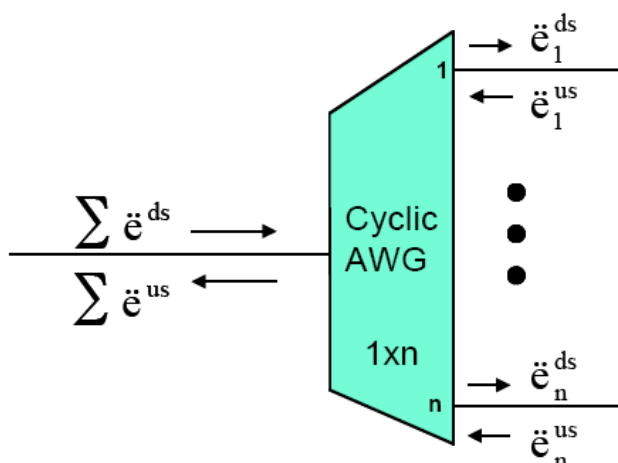


Figura 2.9 Operación básica de AWG cíclico

La disposición de los canales de WDM, constituye una norma muy importante dado el impacto actual de los sistemas WDM. Básicamente, la norma ITU-T G.694.1 cita que los canales deben estar espaciados por valores fijos en el rango desde 12.5 GHz hasta 100 GHz (0.8 nm), siendo la frecuencia central 193.1 THz (1552.52 nm).

Un AWG es un dispositivo óptico pasivo e integrado, que se fabrica mediante tecnología planar, de forma similar a los circuitos electrónicos integrados. Sobre un substrato, se crecen una serie de guías de onda ópticas, siguiendo una configuración geométrica particular, que se muestra en la Figura 2.10. Los materiales del substrato y guías de onda, dependen de la aplicación y propiedades deseables finales del AWG en cuestión. Las guías de onda formadas en el substrato, se conectan con fibras para permitir la interconexión del AWG a otros dispositivos y equipos ópticos. Un detalle del empaquetado y conexionado final del AWG, se muestra en la Figura 2.11

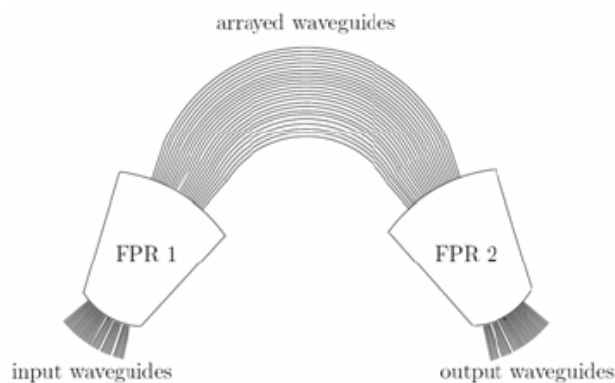


Figura 2.10



Figura 2.11

El AWG separa las longitudes de onda de una señal óptica WDM presente a la entrada, y las distribuye en los distintos puertos de salida, como se muestra en la Figura 2.12, a la izquierda. En definitiva, es como tener un banco de filtros paso banda, como se ilustra en la misma figura, a la derecha. Así, el AWG puede utilizarse como demultiplexor. Además, dado que el AWG es un dispositivo óptico pasivo y recíproco, puede emplearse en sentido contrario, permitiendo combinar, o multiplexar, varias longitudes de onda, como se muestra también en la Figura 2.12.

Se puede apreciar en la fotografía de la derecha de la Figura 2.11, un circuito conectado al AWG. Este circuito controla la temperatura del dispositivo, de la cual depende la respuesta en este diseño en particular, es decir, la posición de las bandas de paso depende de la temperatura de operación del AWG.

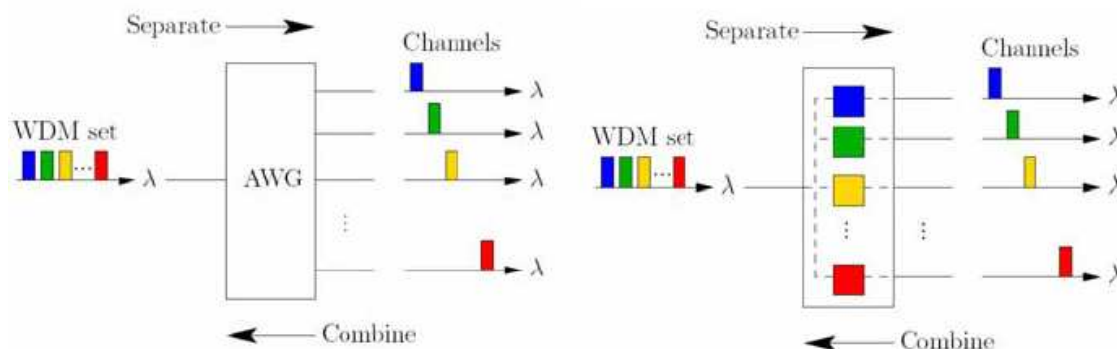


Figura 2.12 AWG

2.5.1.4 Locking de longitud de onda automatico en WDM PON

En la figura 2.13 se ilustra la operación de un sistema automático de encerramiento de longitud de onda. Un BLS (Broadband Light Source) no modulada localizada en la OLT en la oficina central es usada para generar señales creadas para encerrar “locking” las longitudes de onda de los FP-LDs (Fabry-Perot Laser Diodes) que deben ser idénticos y localizados remotamente. Las señales creadas BLS son transmitidas hacia los usuarios a través de un solo canal de fibra hasta el nodo pasivo remoto que contiene el AWG cíclico. En este dispositivo el espectro BLS de longitud de onda es dividido en “n” canales de banda angosta DWDM (WDM denso) mediante la demultiplexación del AWG. Cada rebanada del espectro es transmitida a través de un sola fibra de distribución e inyectado en los FP-LD remotos. Cuando el FP-LD es modulado con la señal de datos eléctrica, la señal seed inyectada fuerza al laser a operar en un rango angosto de longitud de onda definido por el pasa banda óptico de una transmisión DWDM.

Este proceso de locking de longitud de onda puede ser fácilmente entendido como que los FP-LD actúan como un amplificador óptico que modula, amplifica y refleja la señal BLS creadas. El FP-LD no es capaz de liberar rayos laser debido a la saturación obtenida causada por las señales creadas amplificadas. Esto resulta en una señal de datos de salida con un ancho de banda angosto y estable, libre de cualquier ruido asociado con los FP-LDs.

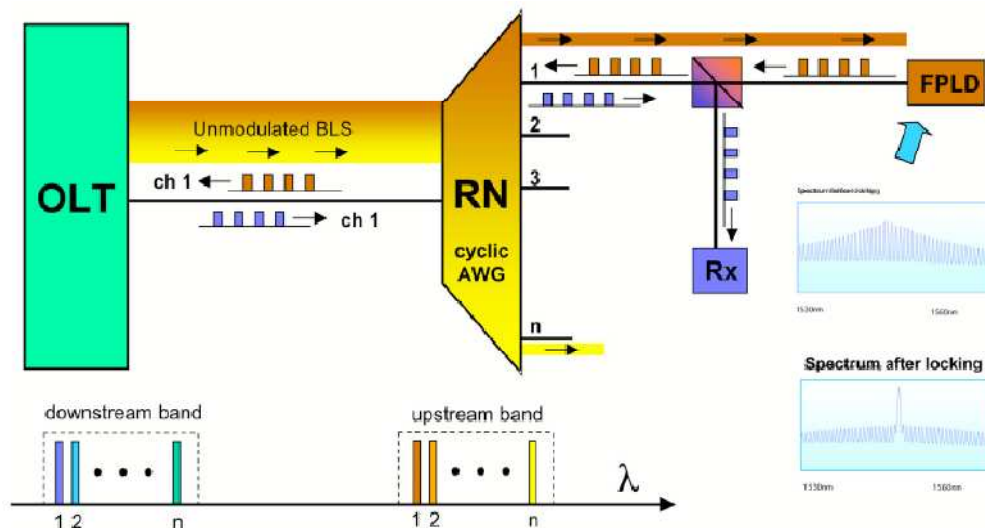
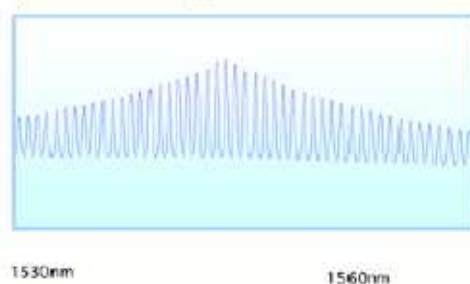


Figura 2.13 Descripción básica del locking automático

Antes del locking



Después del locking

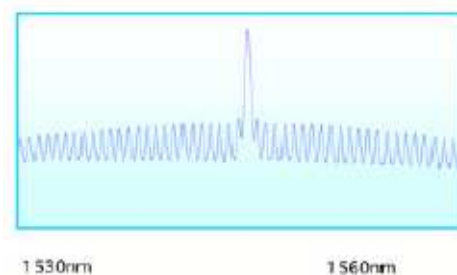


Figura 2.14 Antes y después del locking

En la figura 2.14 se ilustra el espectro FP-LD de longitud de onda antes y después de aplicar la señal BLS creadas. Antes de aplicar la señal BLS el FP-LD genera múltiples modos de longitud de onda indeseables para transmisión DWDM después de la inyección de las señales el espectro es transformado en una señal de modo cuasi singular, similar al laser DFB. Esta señal modulada es automáticamente alineada en al cana DWDM definida en la capa de transporte. El proceso de encapsular longitud de onda resulta en una funcionalidad “plug and play” donde todos los FP-LDs son idénticos e intercambiables pero pueden operar a diferentes longitudes de onda sin la necesidad circuitos de control complejos.

En la figura 2.13 además se muestra la funcionalidad bidireccional de una WDM PON. Simultáneamente a lo largo con la señal BLS hacia los usuarios (downstream), “n” independientes longitudes de onda con datos son transmitidos en una banda diferente de longitud de onda. Debido a la naturaleza cíclica del AWG, ambos tanto como un trozo espectral de los BLS y las longitud de onda

(datos) hacia los usuarios son demultiplexados y enviados a cada ONU remota. Cada transceiver en la ONU usan un idénticos filtros (band-splitting filte) los cuales separan las dos bandas, los BLS creadas los envía hacia los FP.LD y las longitudes de onda de los datos hacia un receptor óptico estándar. Los señales de datos modulados hacia el origen (upstream) retornan a los largo del mismo camino óptico que de las señales BLS creadas.

2.5.1.5 DESCRIPCION DEL SISTEMA λ -PON

La fig 2.15 muestra la configuración de un sistema λ -PON. Los Wavelength locked FP-LDs longitudes de onda son usados en ambos: en la oficina central y en las ONUs remotas. Toldas las transceivers ONU son idénticos e intercambiables. La oficina central OLT alberga los BLS, un Mux/Demux y las “n” fuentes laser wavelength-locked.

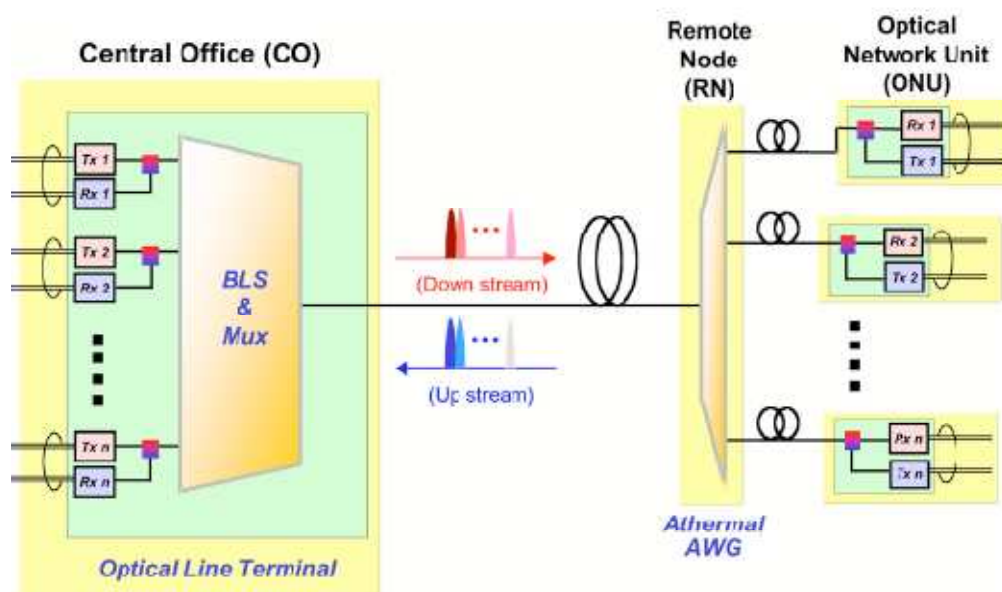


Fig 2.15 Configuración del sistema λ -PON

Un solo feeder de fibra es usado para conectar la OLT con el nodo remoto. Desde el nodo remoto, “n” fibras de distribución son usados para conectar a las “n” ONUs remotos. En resumen sobre un solo canal de fibra una arquitectura λ -PON provee una conexión óptica dedicada bidireccional punto a punto entre “n”

transceivers en la oficina central y las “n” ONUs remotas. No existe ningún requerimiento especial para el direccionamiento o manejo de las múltiples ONUs.

2.5.2 TDM PON Multiplexación por división en el tiempo

TDM-PON ha desarrollado a través de la historia grandes desarrollos como APON, BPON, EPON Y GPON. El principal concepto detrás del aprovechamiento de PON es el uso de un solo transceiver de alto desempeño en la oficina central (mirar figura 2.16) para comunicarse con los “n” transceivers de las ONU remotas.

Esta ventaja requiere el uso de un splitter de potencia 1xn para dividir la potencia óptica en partes iguales entre las múltiples ONUs.

Como cada ONU remota usa la misma longitud de onda en upstream, todos ellos deben turnarse para usar un agujero de tiempo dedicado y variable donde solo una sola ONU es permitida transmitir.

Un procesador relativamente complejo localizado en la OLT controla el manejo y asignación de los intervalos de tiempo individuales de transmisión.

En dirección downstream una sola longitud de onda es usada para transmitir datos a todos los usuarios. Las ONUs identifican su paquete específico de datos por la información de direccionamiento localizada en bit de encabezado del stream.

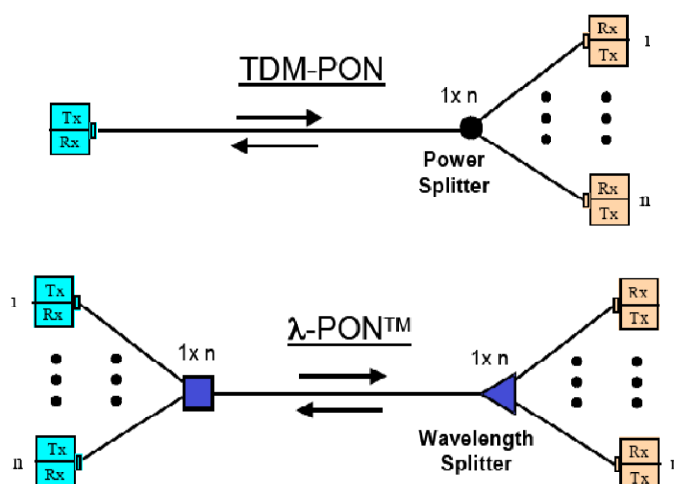


Figura 2.16 TDM vs WDM PON

Este aprovechamiento requiere el uso de un splitter 1xn de potencia para dividir la potencia óptica igual entre las múltiples ONUs. Como cada ONU remota

usa la misma longitud de onda en upstream, todos ellos deben tomar un turno usando un espacio variable y dedicado de tiempo donde una sola ONU es permitida para transmitir.

A pesar que TDM PON minimiza el número de componentes ópticos requeridos, esto hace de este una penalidad en su rendimiento. Primero, allí existe una desventaja de $1/n^2$ en el presupuesto de potencia óptica. Esto ocurre debido a dos efectos, una pérdida $1/n$ a través del splitter óptico combinado con una desventaja adicional de $1/n$ debido al ruido del ancho de banda del receptor que debe ser “n” veces la tasa promedio de datos de cada ONU. Segundo el tema potencial QoS (calidad de servicio) debe surgir desde “n” diferentes usuarios comparten la misma corriente de datos y un relativo algoritmo complejo es requerido para conceder los intervalos de tiempo para cada usuario. Esta interacción o acoplamiento de los “n” usuarios dentro de un solo canal de datos PON puede además aumentar algunos problemas en el manejo por ejemplo: si demasiados usuarios en una PON deciden registrarse para servicios premium relativos a la tasa de datos o QoS. En adición a la complejidad del algoritmo, el hardware optoelectrónico también será complejo. Por ejemplo, el receptor OLT debe rápidamente ajustar tanto su sensibilidad de ganancia como la sincronización para cada transmisión ONU, ya que cada transmisión tendrá un diferente tiempo de retraso y pérdida de enlace.

Los problemas arriba citados no se presentan en una WDM PON. Desde un splitter con longitud de onda es usado en lugar de un splitter de potencia, las pérdidas de división son pequeñas. En adición una WDM provee una conexión óptica punto a punto, el ruido receptor anterior no existe. Además debido a la conexión directa punto a punto entre puntos, no existe el tema QoS ya que cada usuario es independiente de los otros quienes comparten la PON

2.6 TOPOLOGIAS PON

2.6.1 Topología ATM PON (BPON)

La APON está constituida fundamentalmente por la OLT, ONT, la fibra que soporta los componentes ópticos y un sistema de gestión de red.

La OLT reside típicamente en la central, mientras que la ONT se ubica en las instalaciones del usuario. La planta externa (fibra y componentes ópticos) es totalmente pasiva. Una única fibra conecta un puerto OLT con múltiples ONTs,

utilizando filtros ópticos. Una única APON puede equiparse hasta con 64 ONTs, aunque típicamente el rango está entre 32 y 48. La OLT puede estar hasta 20 Km de distancia de las ONTs, permitiendo a una APON cubrir una extensa área geográfica.

Una OLT puede soportar múltiples APONs, lo que, combinando con la capacidad de filtrado de las APONs, significa que una OLT puede soportar un gran número de usuarios.

Las técnicas WDM que utilizan tres longitudes de onda distintas, permiten transmitir datos bidireccionales y distribución de video en fibra. En la dirección de bajada, los datos se distribuyen a 1490 nm, utilizando el protocolo TDM; en la dirección de subida, se utilizan 1310 nm en conjunción con el protocolo TDMA a fin de soportar el medio de conexión compartido multipunto a punto. La tercera longitud de onda a 1550 nm transporta la distribución de video desde la OLT a las ONTs, constituyéndose un método eficiente en costo para entregar un gran número de canales de video analógicos y/o digitales a los usuarios.

Para el transporte de comandos, control e información de estado se utilizan celdas ATM especiales en ambas direcciones. De acuerdo con el estándar G.983, la APON puede operar a dos velocidades: 155 Mbps simétrico y 622 Mbps descendentes/155 Mbps ascendentes (asimétrico). El ancho de banda puede asignarse individualmente a las ONTs con granularidad por debajo de 4 Kbps.

Todas las ONTs de una APON reciben la difusión completa de bajada de la OLT. Cada ONT supervisa la corriente de datos solamente las celdas destinadas a ella, basándose en el valor del campo VPI/VCI de la celda ATM, que identifica a cada ONT de manera unívoca.

Antes de la transmisión desde la OLT, los datos se encriptan, utilizando un proceso llamado “variación”, para asegurar la seguridad en la APON. Durante la “variación” cada ONT transmite una clave de encriptación a la OLT para que la utilice en el proceso de variación y cuya finalidad es asegurar que los datos destinados a esa ONT no estén disponibles para las demás. En la dirección de subida, cada ONT sólo transmite datos a la OLT tras recibir un mensaje de cesión por parte de ésta, cediéndole un número de ciclos de tiempo (timeslots) en la APON.

Puesto que cada ONT puede estar a una distancia significativa de las demás, y de la OLT, se utiliza un procedimiento llamado “ranging” para determinar la distancia entre cada ONT y la OLT, a fin de ajustar la asignación de los ciclos y maximizar así la eficiencia de la APON.

Una APON proporciona funcionalidades FTTH completas, incluso datos a alta velocidad, voz en paquetes y una capa de video para servicio de video equivalente al sistema de cable, todo en una única fibra (Figura 2.17).

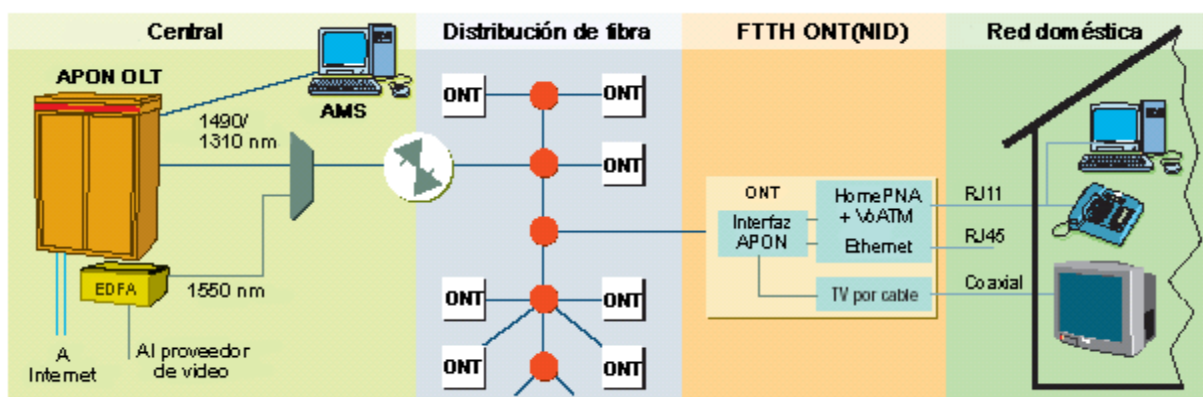


Figura 2.17. APON para FTTH

2.6.1.1 Terminación de línea óptica

La OLT actúa como un multiplexor para todo el tráfico de la APON y, al mismo tiempo, proporciona interfaces de la parte de red al usuario. Una única OLT puede soportar hasta 72 puertos APON.

Cada interfaz de la OLT soporta una división de 1:64, proporcionando una alta densidad de abonados. La OLT soporta las interfaces OC-3 y OC-12 con el núcleo de red, mientras que las interfaces de la APON hacia el usuario operan a 622 ó a 155 Mbps, y a 155 Mbps desde el usuario.

2.6.1.2 Terminación de red óptica

La ONT puede ubicarse en un bastidor resistente a las condiciones atmosféricas. Se instala como un Dispositivo Interfaz de Red (NID) a la intemperie, en la casa del abonado, aunque también puede instalarse en el interior o en conjunción con una pasarela, si lo requiere la implementación de la red. La ONT está equipada con una interfaz para la fibra APON, una interfaz para

par trenzado para datos y voz derivada, y una interfaz coaxial de 75 ohm para proporcionar servicio de video de cable equivalente (Figura 2.18.). La Figura 2.19 muestra otra forma de cómo funciona la APON.

El acceso al ancho de banda pudiera obtenerse a través de distintos métodos, TDMA, WDMA, CDMA. TDMA en sentido ascendente y TDM en sentido descendente fueron los escogidos por el grupo FSAN y adoptados por la ITU como estándar, teniendo en cuenta su simplicidad y efectividad en el costo.

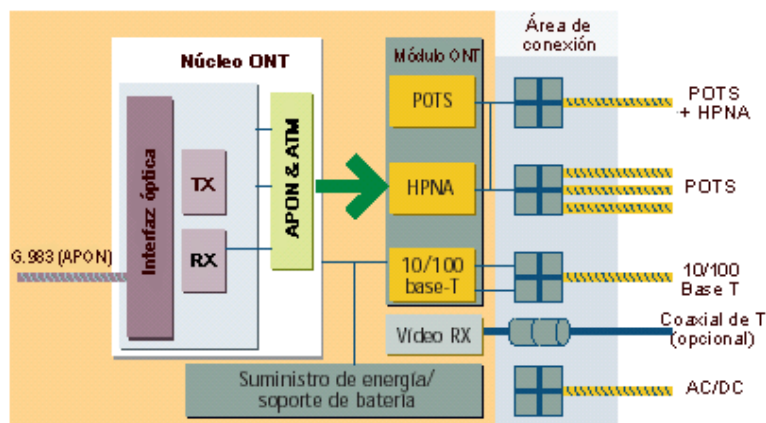


Figura 2.18. Terminación de red óptica para FTTH.

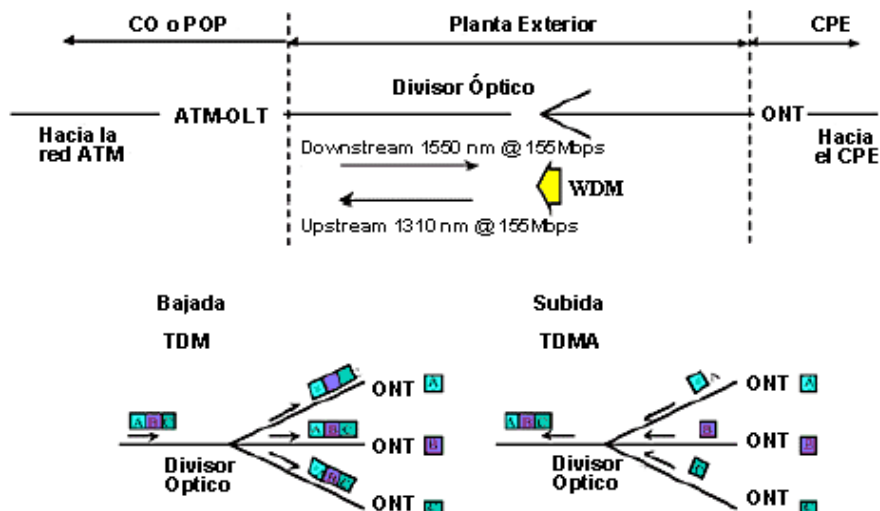


Figura 2.19. Funcionamiento de la APON.

La división pasiva de la información requiere acciones especiales para lograr la privacidad y la seguridad. A su vez, el protocolo TDMA es necesario en la

dirección ascendente. El uso de divisores ópticos en la arquitectura de una PON permite a los usuarios compartir el ancho de banda, y de esta forma dividir los costos, permitiendo a su vez reducir el número de dispositivos opto-electrónicos necesitados en la OLT.

Los sistemas APON usan una arquitectura de doble estrella. La primera es en la OLT, donde la interfaz WAN se divide lógicamente y se conmuta hacia la interfaz APON. La segunda ocurre en el divisor donde la información es pasivamente dividida y enviada a cada ONT. La OLT es la interfaz entre el sistema de acceso y los puntos de servicios en la red del proveedor. La OLT se comporta como un conmutador ATM de extremo con interfaces APON en el lado del cliente, e interfaces ATM-SONET en el lado de la red.

La ONT filtrará las celdas entrantes y solo recuperará aquellas que estén direccionadas a ella. Haciendo uso del campo de dirección de 28 bits VPI/VCI que presenta cada celda. Primeramente la OLT enviará un mensaje a la ONT para indicarle que acepte celdas con cierto valor de VPI/VCI.

Debido al uso de TDMA en la dirección de subida, cada ONT está sincronizada en tiempo con todas las otras ONT. Esto se logra por medio de un proceso de determinación de distancia, donde cada OLT debe determinar la distancia a la que se encuentra cada ONT, de tal forma que le sea asignada los slots de tiempo óptimos en los cuales pueda transmitir sin interferir con otras ONTs. La OLT entonces enviará mensajes de concesión a través de las celdas de capa física de operación, administración y mantenimiento (PLOAM) para proporcionar los slots TDMA que son asignados a la ONT. La ONT, adapta la interfaz de servicio a ATM, y la envía hacia la PON usando el protocolo TDMA.

Ethernet y T1s son dos ejemplos de lo que puede ser transportado sobre la APON. Como la APON es independiente del servicio, todos los servicios heredados y futuros pueden ser fácilmente transportados.

Como ejemplo del formato de trama básico entre la OLT y la ONT, se muestra en la Figura 2.20 el del caso simétrico con velocidades de 155 Mbps. La versión asimétrica es similar.

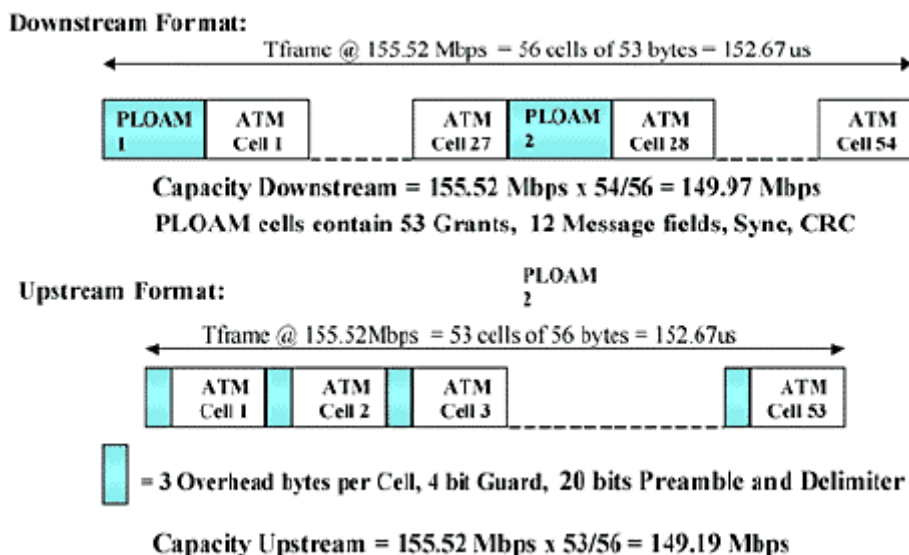


Figure 2.20. Formatos de trama APON.

Como se observa en la figura anterior la capacidad de carga útil en sentido descendente es reducida a 149.97 Mbps debido a las celdas PLOAM. Estas celdas son responsables de la asignación de ancho de banda a través de las celdas de concesión, sincronización, control de errores, seguridad, determinación de distancia, y mantenimiento.

En sentido ascendente la capacidad es reducida a 149.19 Mbps debido a que hay 3 bytes de overhead por celda ATM.

Las celdas ATM son directamente convertidas a formato óptico y enviadas a la PON. Debido a la naturaleza de difusión de la PON, se emplean técnicas de encriptación por cuestiones de seguridad. En dirección ascendente, la ONT, que usa el protocolo TDMA convierte también las celdas a formato óptico para su transporte sobre la PON.

La APON proporciona numerosas ventajas a los operadores y usuarios finales desde los puntos de vista operacional y de servicio..

Debido a que el sistema está basado en ATM, un solo sistema de gestión puede completamente brindar el ancho de banda extremo a extremo, ahorrando

en operaciones y mantenimiento. Además, si la interfaz de servicios es una LAN de alta velocidad como 10/100Base-T, donde el circuito ATM constituye el factor limitante al ancho de banda, este ancho de banda se podrá incrementar en el tiempo hasta las limitaciones de la interfaz física ATM. Por ejemplo, si un negocio pequeño necesita solo 1 Mbps de capacidad y en futuro requerirá 2 Mbps, entonces el proveedor sólo proporcionará una tasa mayor al ATM PVC, en vez de establecer más líneas T1 sobre cobre (como se hace aún en la actualidad).

También el hecho de que ATM sea la base de la PON, se puede adaptar virtualmente cualquier servicio deseado. Los operadores pueden enviar todos sus servicios heredados, tales como líneas T1 y T3, así como servicios LAN transparentes (TLS) sobre la red óptica (Figura 2.21).

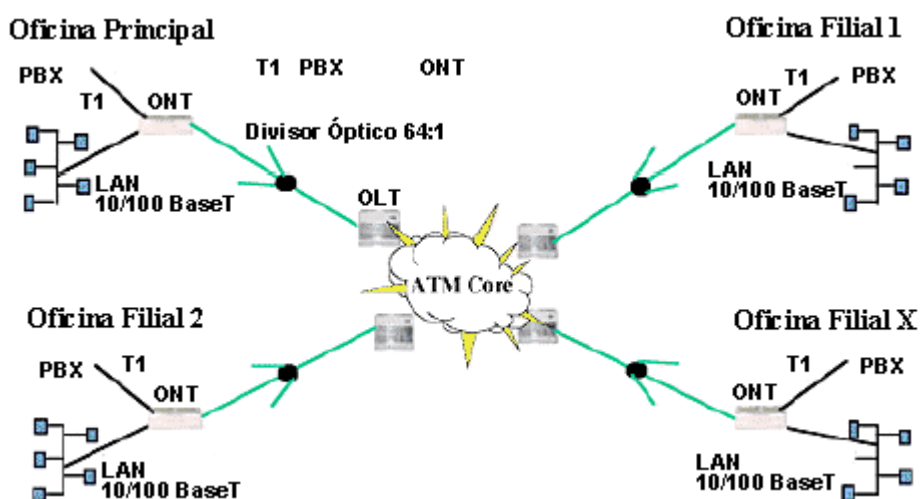


Figure 2.21 LAN Transparente sobre la APON.

Actualmente, los proveedores de servicio sirven a los pequeños negocios a través de nodos en anillo SONET, los cuales son muy costosos comparados con las ONTs de la APON, por lo que constituye una posibilidad real la sustitución de los mismos.

2.6.1.3 “Ranging” de ONUs

Como se declaró anteriormente en la dirección upstream PON es una red multipunto-a-punto. Porque la distancia de OLT a cada ONU es diferente, debido a las diferencias en los retardos de la propagación desde las ONUs, las tramas de

datos pueden chocar en el punto donde fibras de la diferentes ONUs se unen. A continuación se ilustra este problema emn la figura 2.22

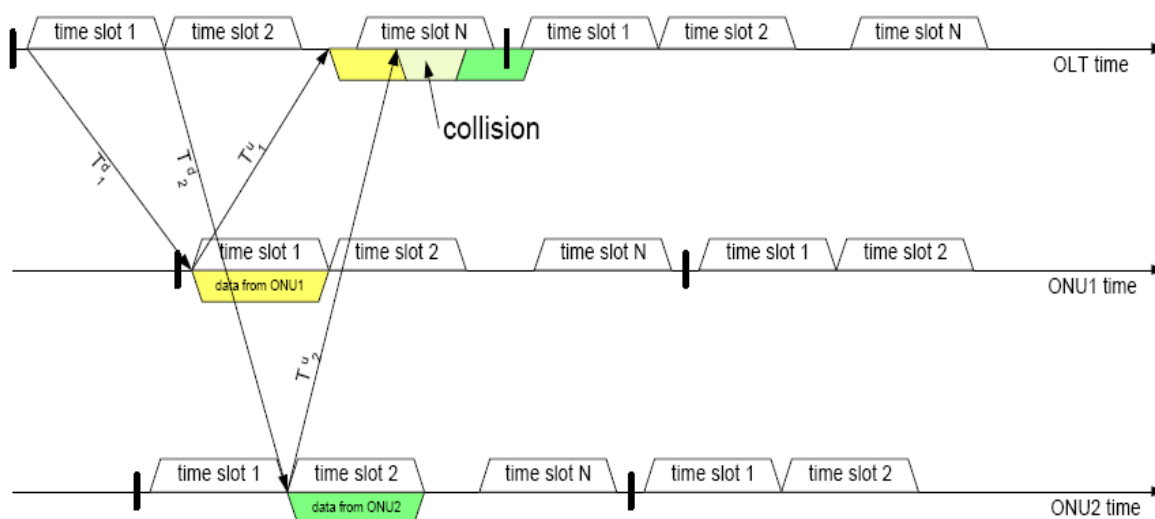


Figure 2. Data collides due to difference in propagation delays.

T_1^d – downstream delay to ONU1,

T_2^d – downstream delay to ONU2,

T_1^u – upstream delay from ONU1,

T_2^u – upstream delay from ONU2.

Figura 2.22 SIN RANGING

“Ranging” es un proceso de medir o calcular un retraso específico para cada ONU. Hay dos tipos de Ranging: rustico y ranging fino.

El ranging rustico deben realizarse antes que la ONU permita transmitir los datos hacia el origen.

Se presenta la descripción del procedimiento ranging que usa el mismo juego en transmisores y receptores

Paso 1: Después de que la ONU se enciende, OLT debe comenzar el procedimiento ranging. Empieza transmitiendo el mensaje de control MUTE. En la recepción cuando mensaje MUTE llegue todas las ONUs deben suspender su tráfico hacia el origen.

Paso 2: OLT empieza el contador interior con frecuencia que corresponde a la tasa de bit de conexión. Por ejemplo, en OC-3 PON la frecuencia del contador es 155.52 MHz.

Paso 3: OLT envía el mensaje de control de RANGO a la ONU estando sincronizada. Permitiendo T_0^{Tx} ser el tiempo de la transmisión del mensaje del RANGE.

Paso 4: El mensaje del RANGO llegará a ONUi EN EL TIEMPO $T_i^d + T_0^{Tx}$, donde T_i^d es el retardo de propagación de la OLT a la ONUi.

Paso 5: En cuanto el mensaje del RANGO recibido, ONUi enviará el mensaje de la CONTESTACIÓN al OLT. Porque toda las otras ONUs han suspendido sus transmisiones, este mensaje no chocará con cualquier otra transmisión.

Permitiendo T_i^{Tx} ser el tiempo de la transmisión del mensaje del RANGO. Figura 2.23

Paso 6: El mensaje REPLY llegará a OLT a momento $T^{rt} = T_0^{Tx} + T_i^d + T_i^{Tx} + T_i^u$ donde T_i^u es el retardo de propagación de ONUi a OLT. Este tiempo es nombrado leyendo el valor del contador inicializado en el paso 2.

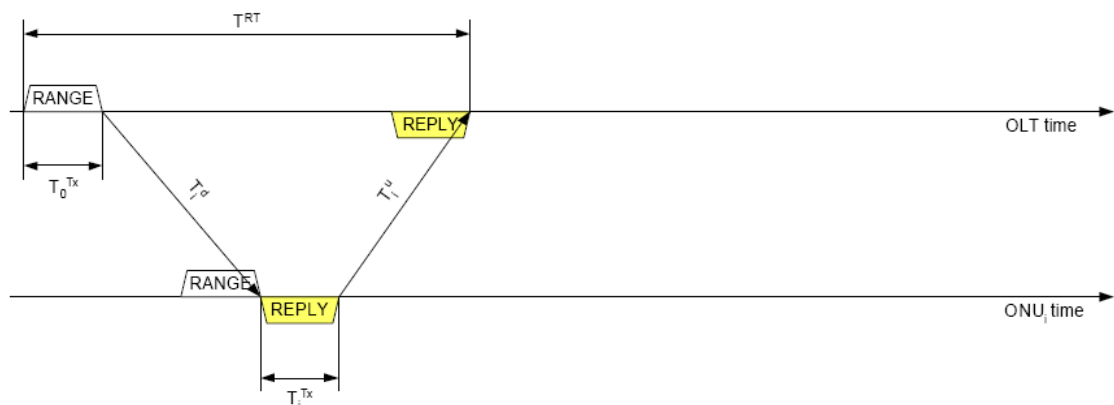


Figura 2.23 Retraso medido por la OLT $T_{rt} = T_0^{Tx} + T_i^d + T_i^{Tx} + T_i^u$

Paso 7: Cuando todos los retrasos son medidos en términos de bits, T_0^{Tx} y T_i^{Tx} puede expresarse la longitud de mensaje del RANGE y longitud de mensaje de REPLY respectivamente:

$$T_0^{Tx} = \text{length of RANGE message (bits)}$$

$$T_i^{Tx} = \text{length of REPLY message (bits)}$$

Entonces, retardo de propagación (sin frecuencia de transmisión) es

$$T^p = T_i^d + T_i^u = T^{rt} - T_0^{Tx} - T_i^{Tx} = T^{rt} - \text{length of RANGE message} - \text{length of REPLY message}$$

Asumimos que los formatos y longitudes de los mensajes son conocidos, así que podemos calcular el retardo de propagación. La OLT calculará el retardo específico para cada ONU_i, de acuerdo a la tasa de transmisión.

$$T_i^{\Delta} = \text{Bit Rate} \times \text{Frame time} \times n - T^P$$

Por ejemplo para tasas OC-3 y si la OLT envía cada 125 us tramas dentro de N intervalos de tiempo quedaría:

$$T_i^{\Delta} = 155.52 \text{ Mbps} \times 125 \text{ us} \times n - T^P$$

Paso 8: OLT envía el valor de retraso a ONU_i (mensaje de SETDELAY) Este mensaje está siendo difundido, para que todas las ONUs continúen su transmisión upstream cuando ellos reciban este mensaje. ONU_i guardará el valor de T_i^{Δ} y lo aplicará a todas las transmisiones upstream como se muestra en figura 2.24.

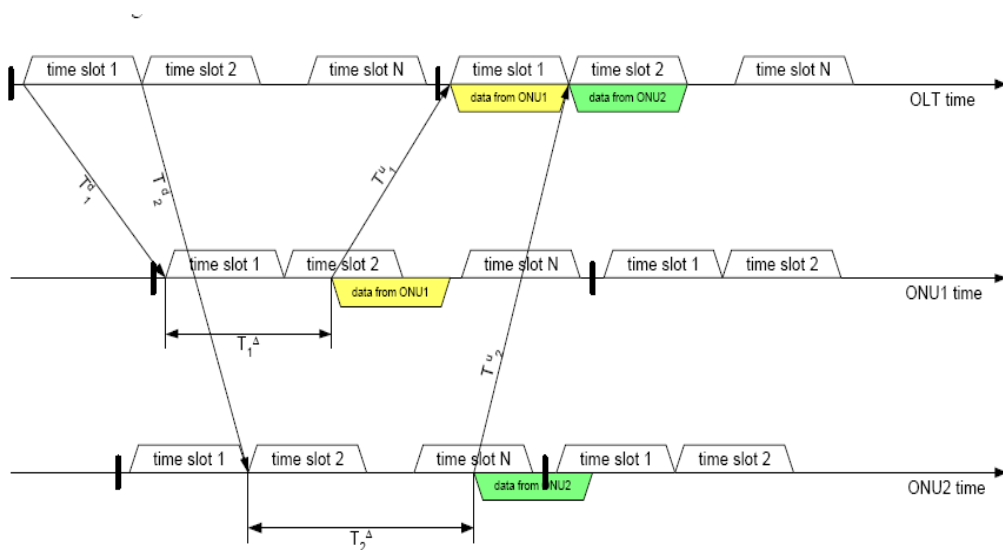


Figura 2.24 Cada ONU aplica un retardo específico antes de la transmisión de datos hacia el origen

Ranging fino: Debido a algunos procesos aleatorios en el equipo electrónico y debido a la naturaleza distribuida de PON, paquetes que arriban al OLT siempre tendrán una fluctuación relativa. Por consiguiente, para evitar las colisiones los paquetes deben tener un espacio unos de otros. Este espacio se llama banda guardia (*guard band*) y es típicamente desde 16 a 64 bits de longitud. También al principio de cada paquete debe estar una estructura especial llamada preámbulo. El preámbulo le permite al receptor ajustar la potencia de la señal

entrante, y además permite enfatizar al receptor con la señal entrante, así se puede leer los datos correctos a pesar de la fluctuación de la señal.

Se seleccionan las bandas de guardia tal que una fluctuación causada por los procesos aleatorios debe estar completamente dentro de bandas de guardia. Sin embargo, cambios sistemáticos pueden causarse, por ejemplo, por el cambio de temperatura del ambiente (día-noche, o verano-invierno), o algunos otros, procesos rápidos, como el cambio de voltaje de poder. En este caso la OLT debe ajustar la dinámicamente los retrasos de la ONU.

2.6.2 Topología EPON standard (IEEE 802.3ah)

El uso del protocolo Ethernet en el enlace de datos, ya sea la red de distribución y/o la red de acceso, permite una mayor integración de toda la red evitando innecesarias conversiones de protocolo en cada estado de la red.

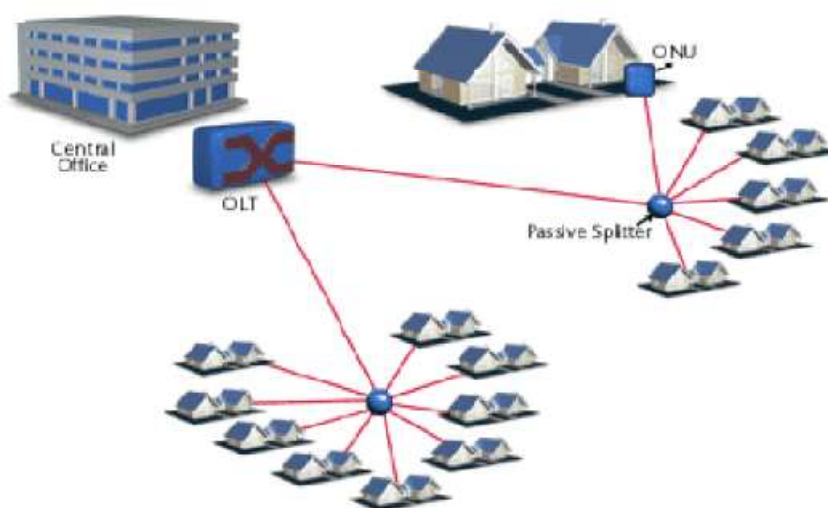


Figura 2.25 Red EPON básica

Es por ello que la gestión del ancho de banda y la QoS son claves para medir la eficiencia de una red PON en cualquier escenario de trabajo.

2.6.2.1 Canales de bajada y subida de la red EPON

Tanto el canal de bajada como el de subida transportan tramas Ethernet en ráfagas de 1 o varias tramas en concordancia con el estándar IEEE 802.3, es decir, con un tiempo entre tramas (IFG, interframe Gap) y 1 preámbulo inicial de la trama.

El canal de bajada es en modo broadcast o difusión, y se puede ver en la figura 2.26 un ejemplo de su funcionamiento. El canal de subida (figura 2.27) es compartido entre los usuarios. Cada usuario dispone de un tiempo asignado por la OLT en el que puede transmitir una o varias tramas. Hay un tiempo de guarda (Guard Time) entre la transmisión de una ONU y la siguiente que debe tenerse en cuenta. La clave principal del rendimiento de esta red es el protocolo para el acceso al canal compartido, este protocolo en líneas generales debe garantizar el acceso imparcial de todos los terminales al medio (*fairness*) y proveer QoS a cada clase de tráfico. El protocolo MAC debe determinar que ranuras de tiempo (*slots*) se asignan a cada uno de los terminales tal que éstos transmitan sin riesgo de colisionar con el resto de transmisiones de los terminales.

Destacamos que una trama no puede segmentarse, o sea, sino cabe en el tiempo que resta hasta el final de la transmisión de un ONU, diferiremos su transmisión al siguiente ciclo.

Los valores típicos son:

- **Guard Time:** Es el tiempo de guarda entre transmisiones de distintas ONU's y depende de los dispositivos ópticos utilizados en la red.
- **IFG (interframe gap):** 96 bits (conforme estándar Ethernet IEEE 802.3).
- **Preamble:** 64 bits (adicional a la trama básica IEEE802.3).

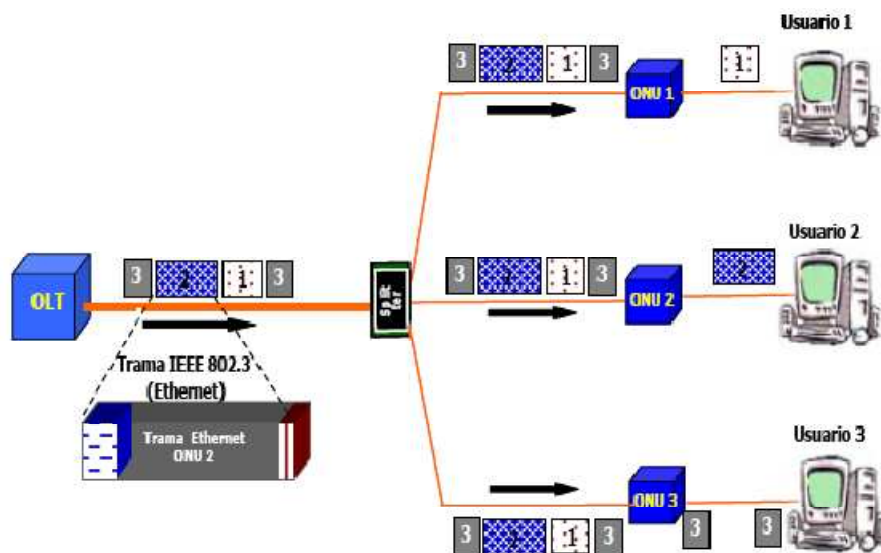


Figura 2.26 Canal de bajada (downstream)

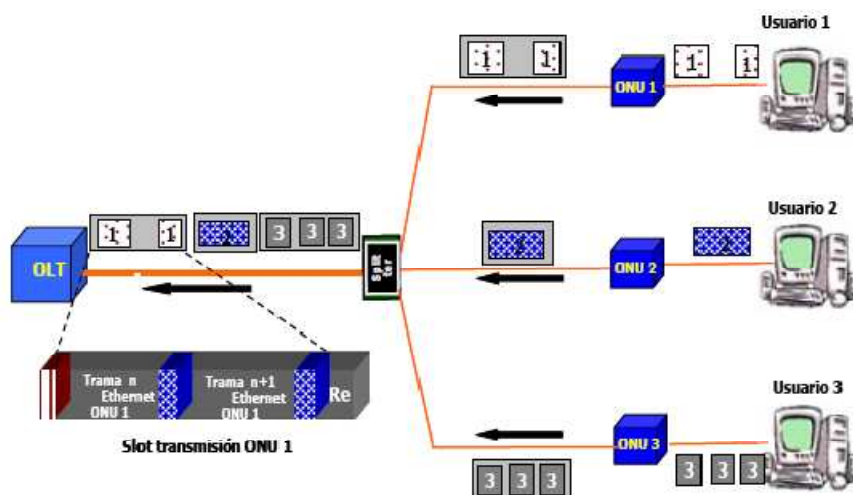


Figura 2.27 Canal de subida (upstream)

2.6.2.2. El protocolo MPCP

El protocolo MPCP (Multi-Point Control Protocol) es un protocolo P2MP (Point-to-Multi-Point) pensado para garantizar en una red del tipo árbol un funcionamiento adecuado. La transmisión de las ONU's de la red son controladas por un mecanismo de Request-Permit de modo que es la OLT quien asigna el ancho de banda necesario a cada ONU según las peticiones de éstas.

En el caso de IEEE 802.3ah se han definido dos nuevos mensajes de Ethernet: GATE que envía la OLT a cada ONU, indicándole la ranura de tiempo en la que se puede transmitir y el REPORT que envía cada ONU a la OLT indicándole su estado y solicitando ranuras libres para transmitir los datos pendientes. Tanto el mensaje de Gate, como el de Report están contenidos en tramas Ethernet de 64 bytes de tamaño.

Los mensajes de Report los envía la ONU conjuntamente con los datos. El mensaje de REPORT contiene el ancho de banda que la ONU solicita a la OLT en el próximo ciclo basándose en la cola del buffer.

Asimismo se conoce como ciclo (T_{ciclo} , tiempo de ciclo) el periodo que comprende la transmisión desde la primera ONU hasta la última de la red. En una red PON el tiempo de ciclo puede ser fijo o variable en función del protocolo MAC.

Además del MPCP, en el caso de EPON se requiere también el concurso de algún protocolo adicional al objeto de soportar la comunicación entre ONUs a nivel_2 (nivel de Enlace), sin necesidad del nivel_3 (nivel de Red).

Al efecto, se introduce una sub-capa adicional bien tipo **PtPE** (*Point to Point Emulation*) o bien tipo **SME** (*Shared Medium Emulation*)-- que reside bajo la capa-MAC, preservándose así invariante la funcionalidad de ésta. Ambos tipos (PtPE y SME) descansan en el etiquetado de la trama Ethernet, asignando a cada ONU una etiqueta de 16 bits denominada **link-ID**, según se representa en la Figura 2.28.

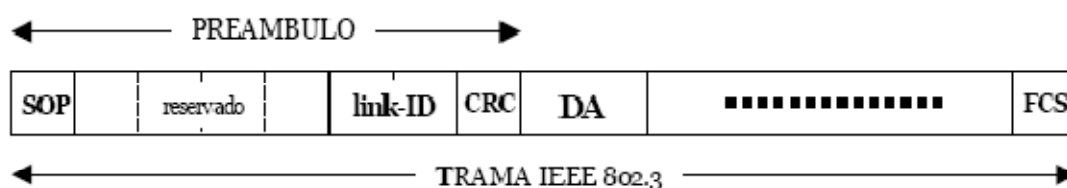


Figura 2.28 Ubicación del link-ID para subcapa PtPEo SME

En el sentido *downstream*, la sub-capa **PtPE** inserta el link-ID correspondiente a la ONU interesada; en el resto de las ONUs, la subcapa PtPE elimina la trama en cuestión, que, de esta forma, no pasa a la capa-MAC. En el *upstream* el proceso es similar, según se ilustra en la Figura 2.29. Según se desprende de dicha Figura, la sub-capa PtPE requiere en la OLT tantos interfaces-MAC como ONUs dependientes.

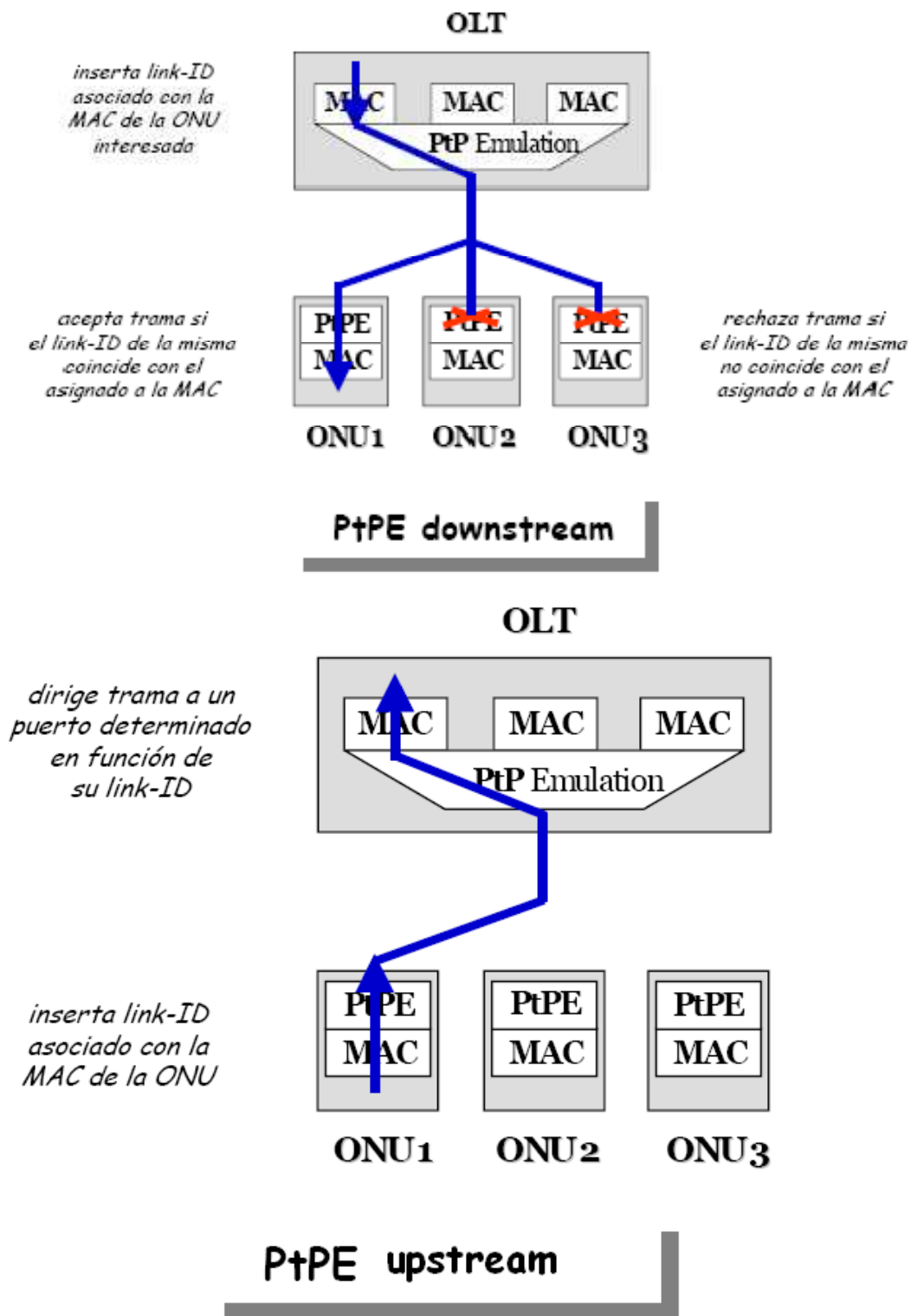


Figura 2.29 sub-capa PtPE

Como complemento, en la Figura 2.30 adjunta se refleja la comunicación entre ONUs, merced al bridge equipado en la OLT.

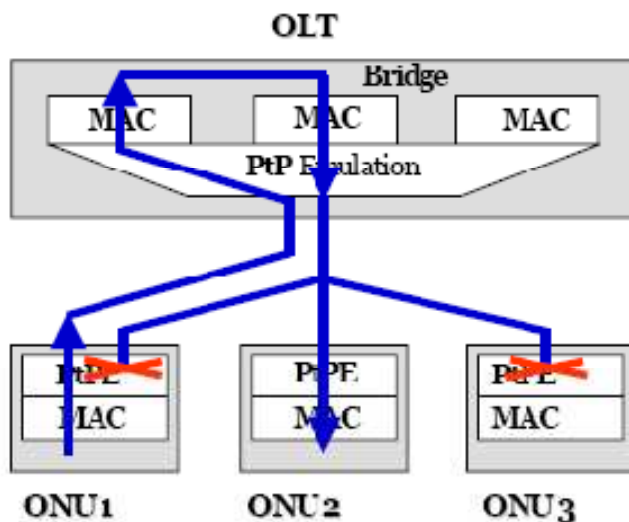


Figura 2.30 Bridging entre ONUs mediante PtPE

En el sentido *downstream* de la sub-capa **SME**, la OLT inserta un link-ID tipo broadcast, que será aceptado por todas las ONUs. Y en el *upstream*, la sub-capa SME de la OLT retransmite las tramas hacia todas las ONUs; en dicho contexto, y al objeto de evitar la duplicación de tramas, las mismas serán aceptadas por una ONU siempre que el *link-ID* de la trama sea diferente al asignado a la ONU.

Como se aprecia en la Figura 2.31, la sub-capa SME requiere solamente una interfaz MAC en la OLT, eliminando así la necesidad del bridge.

En base a cuanto antecede, se aprecia que ambas sub-capas facilitan la compatibilidad con el estándar IEEE 802.3 D *bridging*, siendo la PtPe más idónea para los servicios *unicast* y la SME más adecuada para los servicios *multicast* y la interfaz adicional para la conexión con (también) dichas ONUs vía SME. Por su parte, cada ONU dispondría de dos interfaces_MAC, una para la sub-capa PtPE y la otra para la SME.

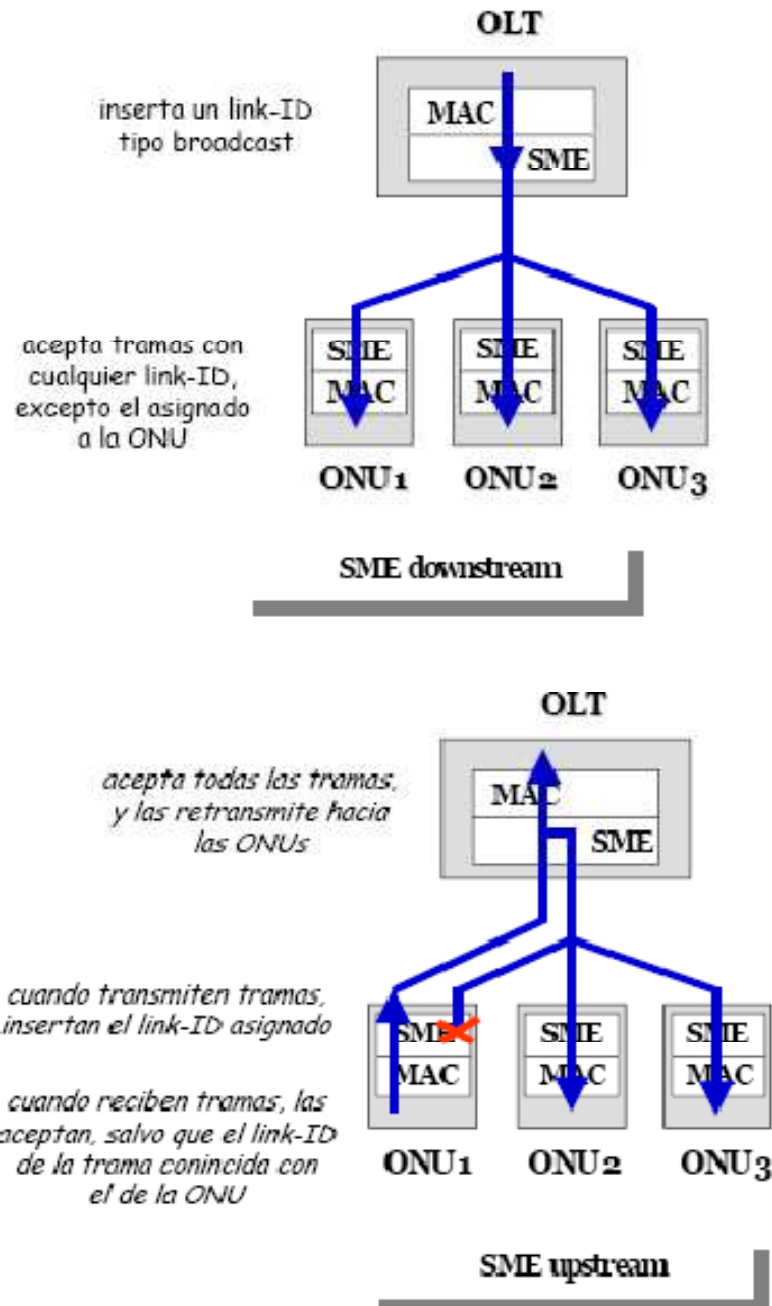


Figura 2.31 Share-Medium Emulation (SME)

2.6.2.3 Calidad de servicio (QoS)

La calidad de servicio (QoS, Quality of Service) la definimos como la capacidad que tiene un sistema de asegurar, con un grado de fiabilidad preestablecido, que se cumplan los requisitos de tráfico, en términos de perfil y ancho de banda, para un flujo de información dado.

Los parámetros que la calidad de servicio de una red son: caudal o ancho de banda, pérdida de paquetes, retardo total y variabilidad del retardo (*jitter*). El operador de telecomunicaciones debe cumplir lo que acuerde el contrato con el usuario (SLA, Service Level Agreement) respecto a la calidad de servicio en los servicios ofrecidos, y para ello debe asegurarse que la red de comunicaciones y en especial la red de acceso garantizan el nivel contratado.

Es interesante destacar que el número de colas de la ONU es configurable y puede ser de hasta 8 [0..7] tal como especifica el estándar 802.3 Q. Por eso, además de la calidad de servicio, cabría considerar otros aspectos tales como: justicia y planificación inter- e intra-ONU.

2.6.2.4 Gestión del ancho de banda: fijo y dinámico

Existen dos formas básicas de asignar el ancho de banda a cada usuario:

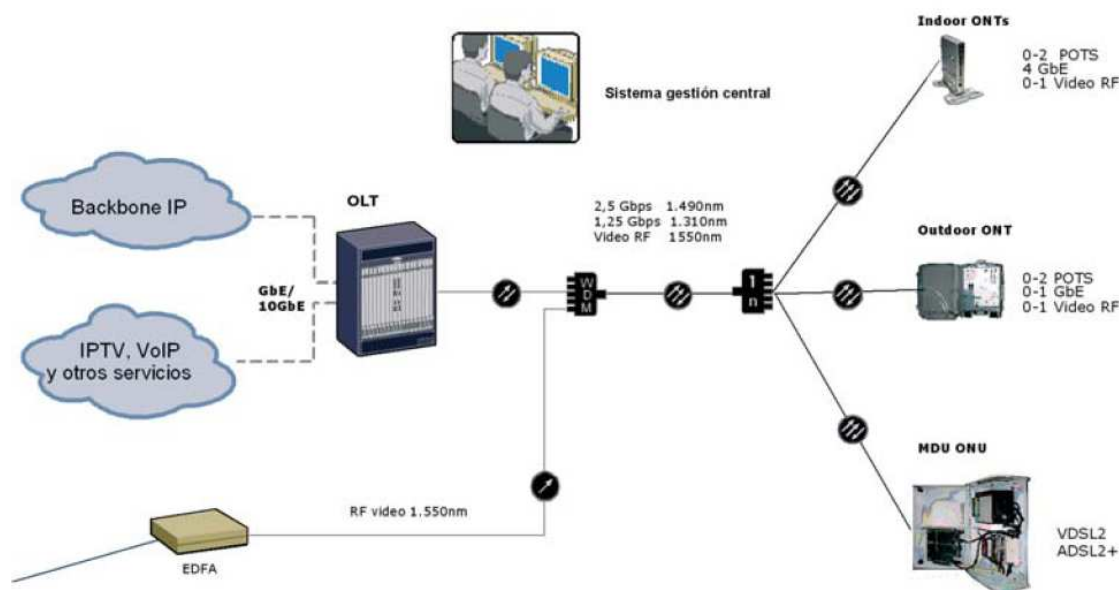
Fijo. Cada usuario dispone de un tiempo fijo del canal ranurado (*slots*).

Dinámico. La asignación del ancho de banda es dinámica cuando a cada terminal se le asigna éste de forma variable en cada ciclo. Los algoritmos propuestos que permiten este tipo de gestión en general se conocen como DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) y son los más interesantes ya que como es obvio cuando la asignación del ancho de banda es dinámica mejorará eficiencia de la red respecto a la asignación fija, ya que cada terminal obtendrá el ancho de banda que necesite y no habrá pérdidas de tiempo de los terminales que no estén activos.

Además esta asignación debe tener en cuenta otros factores como: SLA del usuario, QoS del tráfico requerido por cada terminal, imparcialidad (*fairness*), etc.

2.6.3 TOPOLOGIA GPON

El ITU-T empezó a trabajar sobre GPON en el año 2002. La principal motivación era ofrecer mayor ancho de banda, mayor eficiencia de transporte para servicios IP y una especificación completa adecuada para ofrecer todo tipo de servicios.



Arquitectura GPON

2.6.3.1 Características generales de GPON según Rec. UIT-T G.984.1

En esta Recomendación se describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de ancho de banda de los servicios para empresas y particulares y abarca sistemas con velocidades de línea nominales de 1,2 Gbit/s y 2,4 Gbit/s en sentido descendente (hacia el destino) y de 155 Mbit/s, 622 Mbit/s; 1,2 Gbit/s y 2,4 Gbit/s en sentido ascendente (hacia el origen). Se describen sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits (GPON, *gigabitcapable passive optical network*) simétricos y asimétricos (ascendentes/descendentes). Además, se proponen las características generales de los sistemas GPON basándose en las necesidades de servicio de los operadores.

Esta Recomendación tiene por objeto mejorar el sistema descrito en la Rec. UIT-T G.983.1 (APON) para lo cual se examina de nuevo el servicio de soporte, las políticas de seguridad, las velocidades de bit nominales, etc. **2.3.3.2 Alcance**

Esta Recomendación trata sobre las características generales de los sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits (GPON), con objeto de orientar y motivar las especificaciones de la capa física y de la capa de convergencia de transmisión. Las características generales incluyen ejemplos de servicios, de interfaces usuario-red (UNI, *user network interface*) e interfaces de

nodo de servicio (SNI, *service node interface*) que son necesarios para los operadores de red. Además, en esta Recomendación se ilustran las principales configuraciones de instalación.

En la medida de lo posible, en esta Recomendación se mantienen las características de la Rec. UIT-T G.982 y de las Recomendaciones UIT-T de la serie G.983.x. La finalidad es asegurar la compatibilidad con las redes de distribución óptica existentes (ODN, *optical distribution network*) que son conformes con esas Recomendaciones.

Los sistemas GPON se caracterizan en general por un sistema de terminación de línea óptica (OLT, *optical line termination*) y una unidad de red óptica (ONU, *optical network unit*) o una terminación de red óptica (ONT, *optical network termination*) con una red de distribución óptica (ODN, *optical distribution network*) pasiva que los interconecta. Por lo general, existe una relación de tipo uno a muchos entre la OLT y las ONU/ONT respectivamente.

2.6.3.2 Configuración de referencia

La configuración de referencia se ilustra en la figura 2.32

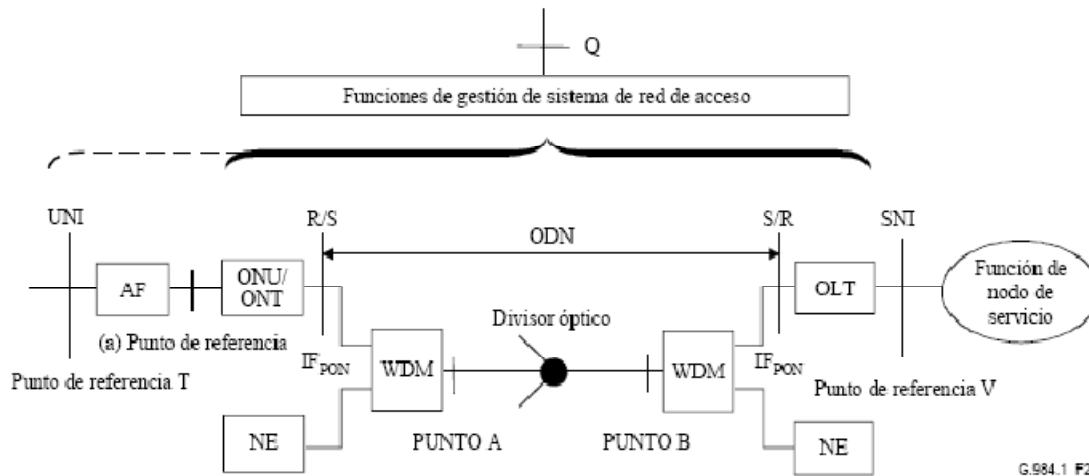


Figura 2.32 Configuración de referencia para GPON

ONU	Unidad de red óptica
ONT	Terminación de red óptica
ODN	Red de distribución óptica
OLT	Terminación de línea óptica
WDM	Módulo de multiplexación por división de longitud de onda (esta función no es necesaria si no se emplea WDM)

NE	Elemento de red que utiliza las distintas longitudes de onda de la OLT y de la ONU
AF	Función de adaptación (algunas veces incluida en la ONU)
SNI	Interfaz de nodo de servicio
UNI	Interfaz usuario-red
S	Punto en la fibra óptica justo después del punto de conexión óptico OLT (sentido descendente)/ONU (sentido ascendente) (es decir, conector óptico o empalme óptico)
R	Punto en la fibra óptica justo antes del punto de conexión óptico ONU (sentido descendente)/OLT (sentido ascendente) (es decir, conector óptico o empalme óptico)
(a)Punto de referencia	Si la ONU incluye la AF, este punto no es necesario
PUNTO A/B	Si no se utiliza WDM, no son necesarios estos punto

Interfaz de nodo de servicio:El interfaz de nodo de servicio (SNI) es el interfaz entre la AN y el SN. Si el lado AN-SNI y el lado SN-SNI no están en el mismo lugar deberá utilizarse la conexión distante de una AN y un SN mediante un trayecto de transporte transparente.

Interfaz en los puntos de referencia S/R y R/S: Esta interfaz en los puntos de referencia S/R y R/S se define como IFPON. Se trata de una interfaz específica de la PON que soporta todos los elementos de protocolo necesarios para permitir la transmisión entre la OLT y las ONU.

2.6.3.3 Servicios

Es necesario que la GPON, dada su capacidad de banda ancha, soporte todos los servicios existentes y además los nuevos servicios en desarrollo para los abonados particulares y empresas.

Algunos operadores tienen más claro que otros el tipo de servicios específicos que deben ofrecer, aunque esto dependerá en gran medida de las condiciones reglamentarias particulares de los mercados de cada operador, y de las posibilidades que ofrece su propio mercado. La forma de ofrecer estos servicios de manera rentable depende de las condiciones jurídicas y además de otros factores, en particular la infraestructura de telecomunicaciones existente, la distribución de las viviendas y la proporción de clientes particulares y empresas.

Mas adelante se presentan algunos ejemplos de los servicios.

Interfaz usuario-red (UNI) e interfaz de nodo de servicio (SNI): Como se ilustra en la figura 2.32 la ONU/ONT tiene una UNI, así como la OLT tiene una SNI. La interfaz UNI/SNI depende de los servicios ofrecidos por el operador de servicio.

En la cláusula I.2 se describen ejemplos de UNI. Además, en la cláusula I.3 se presentan ejemplos de SNI.

2.6.3.4 Velocidad binaria

Básicamente, la GPON está prevista para velocidades de transmisión mayores o iguales a 1,2 Gbit/s. Sin embargo, en el caso de FTTH o FTTC con línea de abonado digital (xDSL, *digital subscriber line*) asimétrica, es posible que no sea necesaria alta velocidad en sentido ascendente.

Por consiguiente la GPON identifica las 7 combinaciones de velocidades de transmisión siguientes:

- 155 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente
- 155 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente
- 2,4 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente

Alcance lógico: Se define como la distancia máxima entre ONU/ONT y OLT salvo el límite de la capa física. En GPON, el alcance lógico máximo es de 60 km

Alcance físico: Se define como la distancia física máxima entre la ONU/ONT y la OLT. En GPON, se definen dos opciones para el alcance físico: 10 km y 20 km. Se supone que la ONU puede utilizar el diodo láser Fabry-Perot (FP-LD, *Fabry-Perot laser diode*) en una distancia máxima de 10 km para altas velocidades tales como 1,25 Gbit/s o superiores.

Distancia de fibra diferencial: En GPON, la distancia máxima diferencia de fibra es de 20 km. Esto afecta el tamaño de la ventana de determinación de distancia y es conforme con la Rec. UIT-T G.983.1.

Retardo medio máximo de transferencia de la señal: La GPON debe dar cabida a servicios que requieren un valor medio máximo de retardo de transferencia de la señal de 1,5 ms.

Específicamente, el sistema GPON debe tener un valor medio máximo de retardo de transferencia de la señal menor de 1,5 ms entre T-V (o (a)-V, según la preferencia del operador).

2.6.3.5 Relación de división

En principio, cuanto más grande sea la relación de división de la GPON, más atrayente resultará para los operadores. Sin embargo, una relación de división más grande implica un divisor óptico más grande, lo cual significa un aumento de la potencia total para soportar el alcance físico.

Con la tecnología actual, una relación de división hasta de 1:64 para la capa física es realista. No obstante, dada la continua evolución de los módulos ópticos, en la capa TC se debería prever la utilizar de relaciones de división hasta de 1:128.

Superposición de servicios: Se puede utilizar una superposición de longitudes de onda para ofrecer servicios mejorados al abonado. Por consiguiente, la GPON debe dejar libre la banda de mejora definida en la Rec. UIT-T G.983.3.

2.6.3.6 Protección en la sección PON

Desde el punto de vista de la gestión de la red de acceso, se considera que la arquitectura de protección de la GPON mejora la fiabilidad de las redes de acceso. Sin embargo, la protección se debe considerar como un mecanismo facultativo ya que su implementación está en función de la realización de los sistemas económicos.

En esta cláusula se presentan algunas posibles configuraciones dúplex y los requisitos correspondientes como ejemplos de sistemas GPON protegidos. Además, se trata el mensaje de operaciones, administración y mantenimiento (OAM) destinado a la protección.

2.6.3.7 Posibles tipos de conmutación

Hay dos tipos de conmutación de protección análogos a los de los sistemas de la jerarquía digital síncrona (SDH, *synchronous digital hierarchy*):

- i) conmutación automática; y
- ii) conmutación forzada.

El primer tipo se activa cuando se detecta una avería tal como pérdida de señal, pérdida de trama, degradación de señal (cuando la proporción de bits erróneos (BER, *bit error rate*) es mayor que el umbral predeterminado), etc. El segundo tipo se activa mediante eventos administrativos, tales

como el reencaminamiento de fibra, sustitución de fibra, etc. El sistema GPON debería soportar ambos tipos, si fuese necesario, aunque se trate de funciones facultativas. Por lo general, la función OAM se encarga del mecanismo de conmutación, por lo tanto se debería reservar en la trama OAM el campo de información OAM necesario.

En la figura 2.33 se ilustra el modelo del sistema dúplex de la red de acceso. La parte sobresaliente de la protección en el sistema GPON debería ser una parte de la protección entre la interfaz ODN en la OLT y la interfaz ODN en la ONU a través de la ODN, excluida la redundancia de SNI en la OLT.

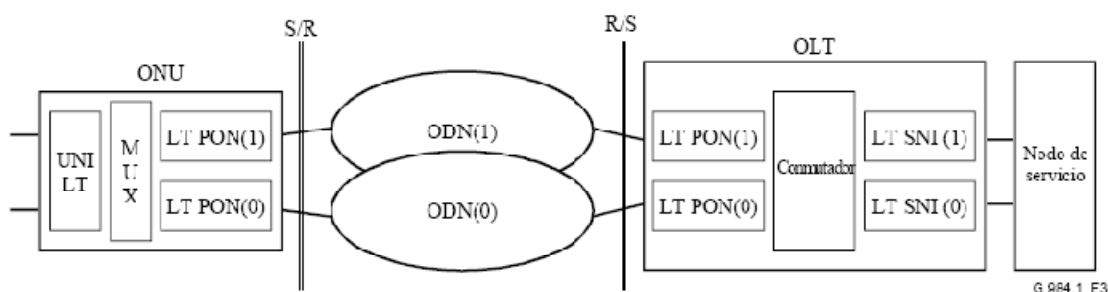


Figura 2.33 – Modelo del sistema dúplex

2.6.3.8 Posibles configuraciones y características de la GPON dúplex

Puede haber varios tipos de sistemas GPON dúplex, como se ilustra en las figuras 2.34a 2.34d. Los protocolos de control de cada configuración se deben especificar de manera independiente.

Por ejemplo, en la figura 2.34a no se requiere protocolo de conmutación para la OLT/ONU, ya que la conmutación se aplica solo a las fibras ópticas.

Además, en la figura 2.34b tampoco se requiere protocolo de conmutación puesto que la conmutación se lleva a cabo únicamente en la OLT.

Ejemplos de configuración

Tipo A: En la primera configuración se duplican únicamente las fibras ópticas, como se muestra en la figura 2.34a. En este caso, las ONU y la OLT no se duplican.

Tipo B: En la segunda configuración (figura 2.34b) se duplican las OLT y las fibras ópticas entre las OLT y el divisor óptico, y este último tiene dos puertos de entrada/salida en el lado de la OLT.

Esta configuración permite reducir el costo de la duplicación de las ONU, aunque, en caso de fallo, sólo se puede recuperar el lado OLT.

Tipo C: En la tercera configuración (figura 2.34c) se duplican no solamente los equipos del lado OLT sino también los del lado ONU. En esta configuración, en caso de fallo la recuperación es posible en cualquier punto al conmutar a los equipos de reserva. Por consiguiente, el costo de la configuración dúplex total garantiza una alta fiabilidad.

Tipo D: Si las ONU se instalan en los edificios de los abonados, las conexiones internas no tienen por qué estar duplicadas. Además, si cada ONU pertenece a un usuario distinto, el requisito de fiabilidad dependerá de cada usuario y sólo un número limitado de ONU podrán tener la configuración dúplex. Según lo anterior, la última configuración (figura 2.34d) permite una duplicación parcial en el lado de la ONU. En el ejemplo de esta figura se muestra que hay ONU duplicadas (ONU#1) y otras únicas (ONU#N). Los principios más importantes son:

- 1) se utiliza una configuración con divisores ópticos N:2 dobles para conectar la LT PON(0) en la ONU#1 al divisor N(0) y la LT PON(1) en la ONU#1 al divisor N(1);
- 2) se conecta la LT PON en la ONU#N a cualquier divisor óptico (ya que es único);
- 3) se utiliza una configuración de divisores ópticos 2:1 dobles para conectar la LT PON(0) en la OLT al divisor (0) y la LT PON (1) en la OLT al divisor (1);
- 4) se conectan los divisores ópticos N:2 dobles a los divisores ópticos 2:1 dobles, de tal manera que un puerto del divisor (1) se conecta al divisor N(0), y un puerto del divisor (0) al divisor N(1);

5) en la OLT y en las ONU se utiliza el método de recurso de reserva en frío (operación retardada) para evitar colisión de las señales ópticas de la LT PON(0) y la LT PON(1) en la OLT, o de la LT PON(0) y la LT PON(1) en la ONU #1.

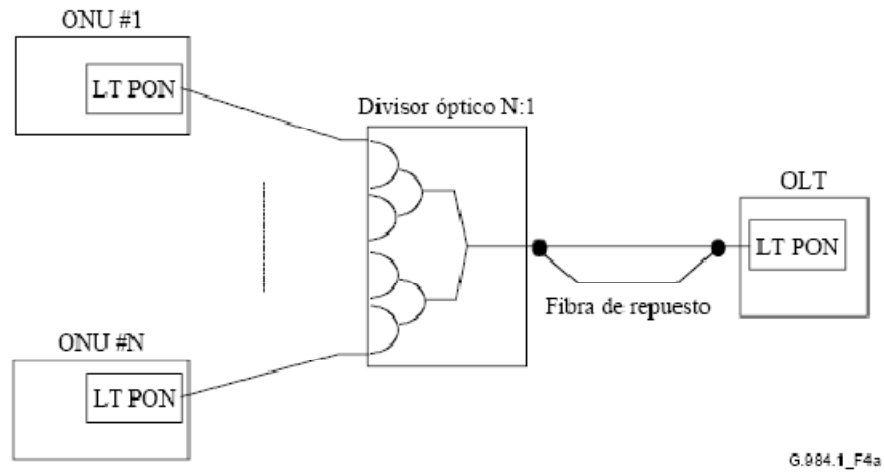


Figura 2.34a – Sistema GPON dúplex: sistema de fibras dúplex

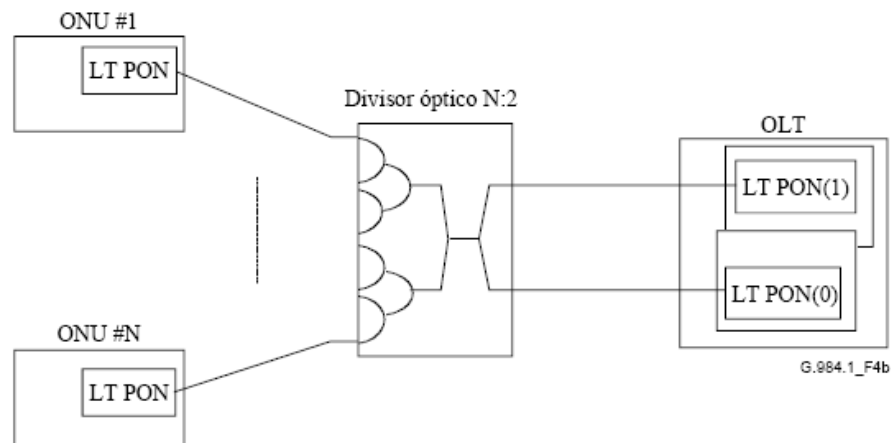


Figura 2.34b Sistema GPON dúplex: sistema dúplex únicamente en la OLT

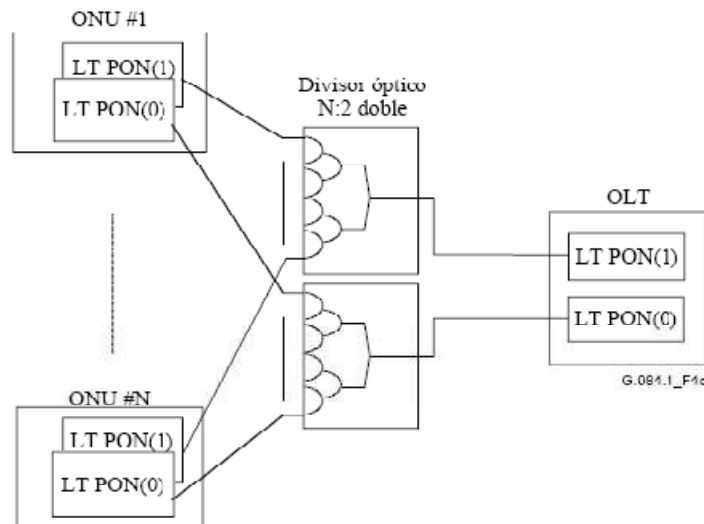


Figura 2.34c Sistema GPON duplex: sistema dúplex completo

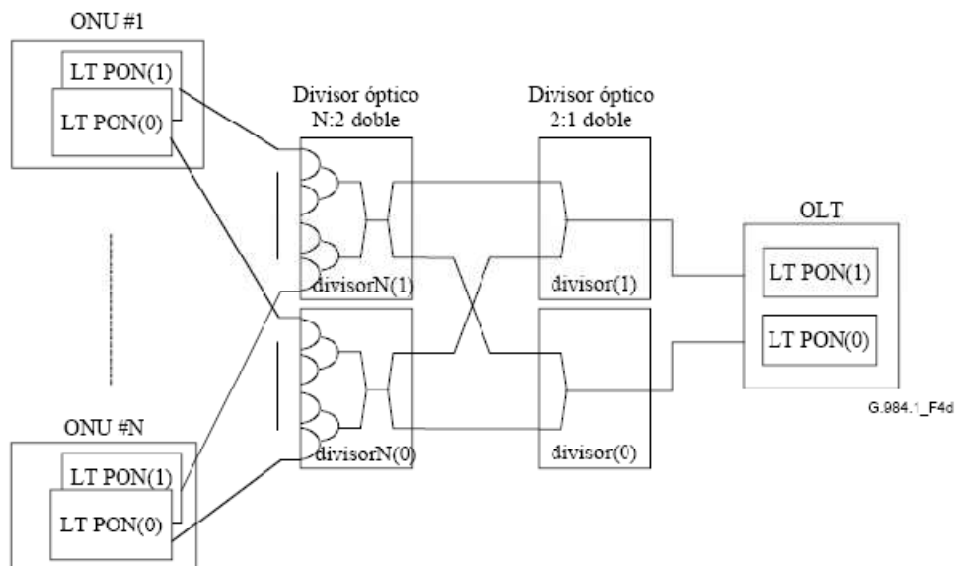


Figura 2.34d Sistema GPON duplex: configuración dúplex parcial

Características

Tipo A: En este caso, durante el tiempo de conmutación es inevitable la pérdida de señal o incluso de tramas. No obstante, después de la conmutación de la fibra se deben mantener todas las conexiones establecidas entre el nodo de servicio y el equipo terminal.

Tipo B: Para esta configuración es necesario el método de conmutación en frío (operación retardada) del circuito de repuesto en el lado de la OLT. Por lo general, en este caso, durante el tiempo de conmutación es inevitable la pérdida de señal

o incluso de tramas. Sin embargo, después de la conmutación se deben mantener todas las conexiones establecidas entre el nodo de servicio y el equipo terminal.

Tipo C: En este caso, existe la posibilidad de la conmutación en caliente (operación inmediata) de los circuitos del receptor de repuesto en los lados de la ONU y de la OLT. Además, con esta configuración también es posible la conmutación sin perturbaciones (sin pérdida de tramas).

Tipo D: Las características de este tipo son las mismas que las del tipo B.

2.6.3.9 Requisitos de conmutación

- i) La función de conmutación de protección deberá ser facultativa.
- ii) En el sistema GPON, debe ser posible la conmutación de protección tanto automática como forzada, siempre que sean necesarias, aunque se trate de funciones facultativas.
- iii) Debe ser posible realizarse todas las configuraciones.
- iv) Por lo general el mecanismo de conmutación es responsabilidad de la función OAM, por consiguiente, en la trama OAM se debe reservar el campo de información OAM necesario.
- v) Después de la conmutación se deben conservar todas las conexiones soportadas entre el nodo de servicio y el equipo terminal.

Con relación al último requisito, en el caso de una implementación de nodo de servicio POTS (central) es necesario que el periodo de pérdida de tramas sea menor de 120 ms. Si este periodo es más largo, el nodo de servicio desconecta la llamada, y será necesario restablecer la llamada después de la conmutación de protección. Este valor es muy importante, ya que la GPON soporta la emulación de servicios convencionales, tales como POTS y RDSI. Los campos de información necesarios en la trama OAM, en comparación con el sistema SDH, la conmutación de protección debe utilizar menos de diez códigos tanto para el sentido ascendente como para el descendente, que estarán en el campo de la

trama OAM. Será necesario definir la correspondencia de campos de la trama OAM para la protección.

2.6.3.10 Seguridad

Debido a la naturaleza multidifusión de la PON, la GPON necesita un mecanismo de seguridad que se adapte a los siguientes requisitos:

- Evitar que otros usuarios puedan decodificar fácilmente los datos en sentido descendente;
- Evitar que otros usuarios se hagan pasar por otra ONU/ONT u otro usuario;
- Facilitar una implementación rentable.

2.6.3.11 Ejemplos de servicios de UNI y de SNI

En esta parte se ilustran ejemplos de servicios de la UNI y de la SNI que son útiles para los operadores. En el cuadro 2.1 se ilustran ejemplos de servicios que debe soportar la GPON, y se incluyen algunos comentarios pertinentes.

Cuadro 2.1 – Ejemplos de servicios y comentarios pertinentes

Categoría del servicio (Nota 1)	Servicio	Comentarios
Servicio de datos	Ethernet (Nota 2)	Normalizado en IEEE 802.3. Cumple con IEEE 802.1D.
RTPC	POTS	El tiempo de retardo medio de transferencia de la señal entre T-V (o (a) V) debe ser menor de 1,5 ms. Si la red utiliza compensación de eco, ese tiempo de retardo medio entre T-V (o (a)-V) podría ser más largo en el sistema basado en PON siempre que se cumpla los requisitos de retardo de transferencia de extremo a extremo. Se debe sincronizar con el reloj de 8 kHz de la red. La señal debe ser continua en los puntos de referencia T y V.
	RDSI (BRI)	La velocidad de la portadora es de 144 kbit/s. El tiempo de retardo medio de transferencia de la señal entre T-V (o (a) V) debería ser menor de 1,5 ms. Se debe sincronizar con el reloj de 8 kHz de la red.
	RDSI (PRI)	La velocidad de la portadora es de 1,544 Mbit/s y de 2,048 Mbit/s. El tiempo de retardo medio de transferencia de la señal entre T-V (o (a)-V) debería ser menor de 1,5 ms. Se debe sincronizar con el reloj de 8 kHz de la red.

Categoría del servicio (Nota 1)	Servicio	Comentarios
Línea privada	T1	La velocidad de la portadora es de 1,544 Mbit/s. El tiempo de retardo medio de la transferencia de la señal entre T-V (o (a)-V) debería ser menor de 1,5 ms. Se debe sincronizar con el reloj de 8 kHz de la red.
	E1	La velocidad de la portadora es de 2,048 Mbit/s. El tiempo de retardo medio de transferencia de la señal entre T-V (o (a)-V) debería ser menor de 1,5 ms. Se debe sincronizar con el reloj de 8 kHz de la red.
	DS3	La velocidad de la portadora es de 44,736 Mbit/s. Se debe sincronizar con el reloj de 8 kHz de la red.
	E3	La velocidad de la portadora es de 34,368 Mbit/s. Se debe sincronizar con el reloj de 8 kHz de la red.
	ATM	Normalizado en la Rec. UIT-T I.361. Cumple con la Rec. UIT-T I.356.
Vídeo	Vídeo digital	Se ofrece con la misma calidad de la clase 1 especificada en la Rec. UIT-T I 356 o rt-VBR/CBR especificada en el Foro ATM.

NOTA 1 – La categoría del servicio es simplemente un índice que no tiene significado propio, pero que es útil para visualizar los servicios.

NOTA 2 – El servicio Ethernet se utiliza principalmente para transmitir datos como los del Protocolo Internet (IP, *internet protocol*), en particular el protocolo de transmisión de voz por Internet (VoIP, *voice over IP*), trenes de vídeo codificados con el sistema 2 del Grupo de expertos en imágenes en movimiento (MPEG2, *motion picture experts group 2*) o MPEG4, etc.

Ejemplos de la interfaz UNI: En esta sección se describe la interfaz UNI que incluye las siguientes condiciones:

- se describe mediante una norma ampliamente conocida;

- incluye un aspecto de capa física.

En algunos casos la UNI está integrada en la AF y por lo tanto no es obligatorio que la ONU/ONT soporte esas interfaces.

En el cuadro 2.2 se ilustran ejemplos de UNI con sus interfaces físicas y los servicios ofrecidos.

Cuadro 2.2/G.984.1 – Ejemplos de la interfaz UNI y sus servicios

UNI (Nota 1)	Interfaz física (Nota 2)	Servicio (Nota 3)
10BASE-T (IEEE802.3)	–	Ethernet
100BASE-TX (IEEE802.3)	–	Ethernet
1000BASE-T (IEEE802.3)	–	Ethernet

UNI (Nota 1)	Interfaz física (Nota 2)	Servicio (Nota 3)
Rec. UIT-T I.432.5	Interfaz metálica de 25 Mbits/s	ATM
UIT-T G.957	STM-1,4	ATM
ANSI T1.102, ANSI T1.107	PDH	T1, DS3
NOTA 1 – La GPON soporta muchos otros servicios que no tienen UNI especificadas. NOTA 2 – Cada punto de la columna "interfaz física" se ilustra mediante el asiento correspondiente en la columna "UNI". NOTA 3 – La columna "servicio" muestra los servicios soportados por la interfaz física.		

Ejemplos de la interfaz SNI

En este apéndice se describe la interfaz SNI que incluye las siguientes condiciones:

- se describe mediante una norma ampliamente difundida;
- incluye un aspecto de capa física.

En el cuadro 2.3 se ilustran ejemplos de SNI con sus interfaces físicas y los servicios ofrecidos.

Cuadro 2.3 Ejemplos de la interfaz SNI y sus servicios

SNI (Nota 1)	Interfaz física (Nota 2)	Servicio (Nota 3)
1000BASE-X (IEEE802.3)	-	Ethernet
Rec. UIT-T G.965	V5.2	POTS, RDSI(BRI), RDSI(PRI)
Rec. UIT-T G.703	PDH	DS3, ATM, E1, E3
Rec. UIT-T G.957	STM-1,4,16	E1, ATM
ANSI T1.107	PDH	T1, DS3
ANSI T1.105.06, ANSI T1.117	OC3, OC12	T1, DS3, ATM
<p>NOTA 1 – La GPON soporta muchos otros servicios que no tienen SNI especificadas.</p> <p>NOTA 2 – Cada uno de los puntos de la columna "interfaz física" se ilustra mediante el asiento correspondiente en la columna "SNI".</p> <p>NOTA 3 – La columna "servicio" indica los servicios soportados por la interfaz física.</p>		

2.7 VENTAJAS DE LAS REDES PON

Las arquitecturas PON están centrando la atención de la industria de las telecomunicaciones como una manera de atacar a la problemática de la última milla, puesto que presenta evidentes ventajas:

- Las redes PON permite atacar a usuarios localizados a distancias de hasta 20 Km desde la central (o nodo óptico). Esta distancia supera con creces la máxima cobertura de las tecnologías DSL (máximo 5Km desde la central).
- Las redes PON minimizan el despliegue de fibra en el bucle local al poder utilizar topologías árbol-rama mucho más eficientes que las topologías punto-a-punto. Además este tipo de arquitecturas simplifica la densidad del equipamiento de central, reduciendo el consumo.
- Las redes ópticas pasivas ofrecen una mayor densidad de ancho de banda por usuario debido a la mayor capacidad de la fibra para transportar información que las alternativas de cobre (xDSL y CATV)
- Como arquitectura punto-multipunto, las redes ópticas pasivas permiten superponer una señal óptica de Televisión procedente de una cabecera CATV en otra longitud de onda sin realizar modificaciones en los equipos portadores de datos (ver apartado: tecnología VPON)
- Las redes PON elevan la calidad del servicio y simplifican el mantenimiento de la red, al ser inmunes a ruidos electromagnéticos, no propagar las descargas eléctricas procedentes de rayos, etc.

-
- PON permite crecer a mayores tasas de transferencia superponiendo longitudes de onda adicionales.
 - Aunque las redes PON como concepto existen desde la década de los 90, solo en los últimos dos o tres años han alcanzado una madurez tecnológica que permiten que numerosos operadores comiencen a utilizarlas en forma masiva. En estos momentos parecen la opción preferida para edificar la futura red de acceso al abonado, una vez agotadas las posibilidades de crecimiento de las tecnologías xDSL.

2.8 Abreviaturas

En este capítulo se utilizan las siguientes siglas:

AF	Función de adaptación (<i>adaptation function</i>)
BRI	Interfaz de velocidad básica (<i>basic rate interface</i>)
DSL	Línea de abonado digital (<i>digital subscriber line</i>)
FTTB	Fibra al edificio (<i>fibre to the building</i>)
FTTCab/C	Fibra al armario/a la cometida (<i>fibre to the cabinet/curb</i>)
FTTH	Fibra a la vivienda (<i>fibre to the home</i>)
LT	Terminal de línea (<i>line terminal</i>)
MDU	Unidad multivivienda (<i>multi-dwelling unit</i>)
NT	Terminación de red (<i>network termination</i>)
OAM	Operaciones, administración y mantenimiento
OAN	Red de acceso óptico (<i>optical access network</i>)
ODN	Red de distribución óptica (<i>optical distribution network</i>)
OLT	Terminación de línea óptica (<i>optical line termination</i>)
ONT	Terminación de red óptica (<i>optical network termination</i>)
ONU	Unidad de red óptica (<i>optical network unit</i>)
OpS	Sistemas de operaciones (<i>operations system</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PON	Red óptica pasiva (<i>passive optical network</i>)
POTS	Servicio telefónico ordinario (<i>plain old telephone service</i>)
PRI	Interfaz de velocidad primaria (<i>primary rate interface</i>)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RTPC	Red telefónica pública conmutada

SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SN	Número de serie (<i>serial number</i>)
SNI	Interfaz de nodo de servicio (<i>service node interface</i>)
TC	Convergencia de transmisión (<i>transmission convergence</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>user network interface</i>)
VOD	Vídeo por demanda (<i>video-on-demand</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

CAPITULO TRES

TECNOLOGIAS DE TRANSPORTE

3.1 ETHERNET IEEE 802.3

El ethernet es un estándar que define un método de acceso múltiple orientado a sistemas de comunicaciones para transporte de datos digitales a lo largo de redes locales. Todos los nodos conectados comparten un mismo canal de comunicaciones (el ether) que un medio pasivo. En esta red no hay un control centralizado de tráfico.

Cada estación es responsable de reconocer sus propios paquetes y extraer los datos de las tramas. También debe ser capaz de acceder el medio para transmitir cuando así lo requiera.

Ethernet e IEEE 802.3 son ambos estándares que definen un método de acceso para una red LAN como el que se describió en los puntos anteriores. Sin embargo, a pesar de ser similares, no son idénticos. Grupos de nodos utilizando estos dos estándares pueden coexistir en el mismo medio físico, pero una definida como ethernet no podrá comunicarse con otra que tenga IEEE 802.3 (a menos que se le instruya para que reconozca las dos tramas).

La técnica referida en los primeros tres puntos es conocida como CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect, Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones), y desde luego es la utilizada tanto por ethernet como por IEEE 802.3. En un principio, ethernet utilizaba exclusivamente el cable coaxial, en cambio IEEE 802.3 utilizaba una gran variedad de medios. Desde el principio IEEE 802.3 fue diseñado para que pudiera utilizar: radio, cable coaxial, par trenzado, cables ópticos.

Ambos protocolos funcionan en las capas uno y dos del modelo de referencia OSI, lo cual les permite comunicarse con cualquier tipo de protocolo superior.

Ethernet fue desarrollado por Xerox, a principios de 1972 en su Centro de Desarrollo en Palo Alto California, a raíz de que se vieron en la necesidad de intercomunicar, a bajo costo, varias computadoras.

El ethernet experimental fue utilizado exitosamente y patentado en 1976. En 1980, en una asociación de Xerox, Intel y Digital Equipment Corporation, ethernet fue lanzado como un estándar de comunicación. El resultado fue ethernet 1.0 La IEEE definió un estándar de comunicaciones (el 802.3) para redes LAN que utilizaba también el CSMA/CD. En 1982, salió ethernet 2.0, el cual era una versión que se parecía más a IEEE 802.3. El Ethernet es denominado a veces como Ethernet DIX para hacer referencia a las tres empresas que lo hicieron popular: Xerox, Intel y DEC.

El CSMA, sin embargo, tiene un problema, cuando dos nodos transmiten caso al mismo tiempo ocurre una colisión, destruyéndose la información enviada. Para tramas grandes, el tiempo perdido puede ser considerable si se toma como referencia la velocidad de propagación en el ether. Para evitar éstas pérdidas, cada una de los nodos tiene la capacidad de escuchar el eco de su propia transmisión en el ether al mismo tiempo que transmite. Así, puede detectar el momento en que ocurra una colisión.

Las reglas para el CSMA son:

- Si el medio está libre, entonces se puede transmitir.
- Si el medio está ocupado, entonces se continúa sensando hasta que el medio se libere para poder transmitir.
- Si una colisión es detectada durante la transmisión, enseguida se detiene la transmisión, y entonces se envía una señal de JAM, después de la cual se detiene la transmisión completamente por un tiempo seleccionado aleatoriamente.
- Si al volver a tratar de transmitir ocurriera de nuevo una colisión, entonces se recurre al retardo exponencial binario, el cual consiste en duplicar el tiempo de espera inicial. Y si aún así se repitiera la colisión, de nuevo se duplica el tiempo anterior, y así sucesivamente hasta que se pueda transmitir la trama sin problemas. Figura 3.1

Baseband Collision Detection

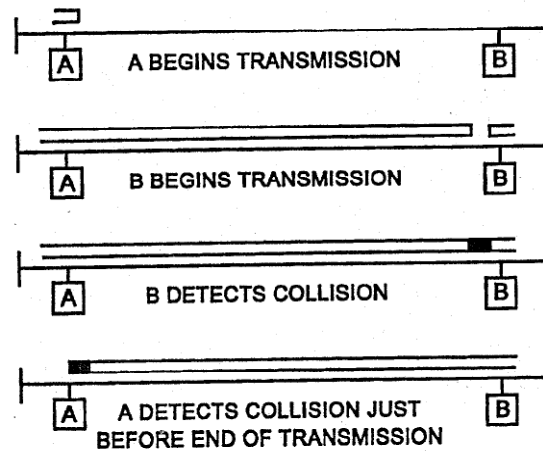


Figura 3.1

Las reglas anteriores dependen de un parámetro de tiempo llamado slot time. El slot time está definido como un tiempo mayor que el tiempo de propagación (por ejemplo: dos veces el tiempo que le toma a la señal atravesar de punta a punta el cable). El slot time es dependiente del medio y de la técnica de transmisión utilizada (baseband o broadband).

En el caso de sistemas en banda base, el peor caso es cuando las dos estaciones involucradas en la colisión están en los extremos.

3.1.1 Formatos de Trama.

Una trama ethernet representa la estructura de un paquete de datos enviado a través de una red ethernet. Describe la posición de las cabeceras, bits de datos y la carga útil de información del paquete. Figura 3.2

PREÁMBULO	STB	DESTINO	ORÍGEN	LONG/TIPO	DATOS	PAD	FCS
7	1	6	6	2	0..1500	0..46	4

Figura 3.2

Preámbulo: Este campo señala el comienzo de la trama. Son 7 octetos con unos

y ceros alternados que permiten sincronizar las estaciones.

SOF (Start Of Frame) Inicio de Trama

Campo de 1 byte (8 bits) con un patrón de 1s y 0s alternados y que termina con dos 1s consecutivos. El patrón del SOF es: 10101011. Indica que el siguiente bit será el bit más significativo del campo de dirección MAC de destino.

Aunque se detecte una colisión durante la emisión del preámbulo o del SOF, el emisor debe continuar enviando todos los bits de ambos hasta el fin del SOF.

Dirección de destino: Campo de 6 bytes (48 bits) que especifica la dirección MAC de tipo EUI-48 hacia la que se envía la trama. Esta dirección de destino puede ser de una estación, de un grupo multicast o la dirección de broadcast de la red. Cada estación examina este campo para determinar si debe aceptar el paquete.

Dirección de origen: Campo de 6 bytes (48 bits) que especifica la dirección MAC de tipo EUI-48 desde la que se envía la trama. La estación que deba aceptar el paquete conoce por este campo la dirección de la estación origen con la cual intercambiará datos.

Tipo: Campo de 2 bytes (16 bits) que identifica el protocolo de red de alto nivel asociado con el paquete o, en su defecto, la longitud del campo de datos. La capa de enlace de datos interpreta este campo.

Datos: Campo de 46 a 1500 Bytes de longitud. Cada Byte contiene una secuencia arbitraria de valores. El campo de datos es la información recibida del nivel de red (la carga útil). Este campo, también incluye los H3 y H4 (cabeceras de los niveles 3 y 4), provenientes de niveles superiores.

A continuación se especifican los anteriores conceptos en las tecnologías más importantes:

Tecnología	Velocidad de transmisión	Tipo de cable	Distancia máxima	Topología
10Base2	10 Mbps	Coaxial	185 m	Bus (Conector T)
10BaseT	10 Mbps	Par Trenzado	100 m	Estrella (Hub o Switch)
10BaseF	10 Mbps	Fibra óptica	2000 m	Estrella (Hub o Switch)
100BaseT4	100Mbps	Par Trenzado (categoría 3UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex(hub) y Full Duplex(switch)
100BaseTX	100Mbps	Par Trenzado (categoría 5UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex(hub) y Full Duplex(switch)
100BaseFX	100Mbps	Fibra óptica	2000 m	No permite el uso de hubs
1000BaseT	1000Mbps	4 pares trenzado (categoría 5UTP)	100 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseSX	1000Mbps	Fibra óptica (multimodo)	550 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseLX	1000Mbps	Fibra óptica (monomodo)	5000 m	Estrella. Full Duplex (switch)

3.2 Frame Relay.

Frame Relay es un protocolo de acceso que define un conjunto de procedimientos y formatos de mensajes para la comunicación de datos a través de una red, sobre la base del establecimiento de conexiones virtuales entre 2 correspondientes.

Es un servicio orientado a conexión, sin mecanismos para la corrección de errores o el control de flujo, que permite una asignación dinámica del ancho de banda basada en los principios de la concentración y multiplexación estadística empleada en la X.25, pero a la vez provee la baja demora y alta velocidad de conmutación que caracteriza a los multiplexores por división de tiempo (TDM). Las conexiones virtuales pueden ser del tipo permanente, (PVC, Permanent Virtual Circuit) o conmutadas (SVC, Switched Virtual Circuit).

Es una interfaz entre la red y el cliente, que permite el acceso de este último al servicio en un entorno público o privado. Hasta el momento actual, solo se utilizan conexiones virtuales permanentes (PVC) para el transporte de extremo a

extremo, ya que solo estas han sido normalizadas. La posibilidad de multiplexar varios canales lógicos empleando una sola conexión física así como la capacidad de manejar el tráfico en ráfagas generados por las redes de área local, convierten a este interfaz en la elección ideal para consolidar el caudal de múltiples líneas arrendadas de forma muy económica.

Frame Relay proporciona conexiones entre usuarios a través de una red pública, del mismo modo que lo haría una red privada con circuitos punto a punto. De hecho, su gran ventaja es la de reemplazar las líneas privadas por un sólo enlace a la red. El uso de conexiones implica que los nodos de la red son conmutadores, y las tramas deben de llegar ordenadas al destinatario, ya que todas siguen el mismo camino a través de la red.

Las redes Frame Relay se construyen partiendo de un equipamiento de usuario que se encarga de empaquetar todas las tramas de los protocolos existentes en una única trama Frame Relay. También incorporan los nodos que conmutan las tramas Frame Relay en función del identificador de conexión, a través de la ruta establecida para la conexión en la red. Estas deben garantizar la transferencia bidireccional de los datos entre 2 abonados sin alterar su orden, mediante el intercambio de tramas de información no numeradas. Ello implica que debe proveerse un servicio orientado a conexión. Estas conexiones pueden ser de 2 tipos:

- Circuito Virtual Permanente (PVC), donde cada conexión virtual entre dos abonados es establecido por el operador de la red en el momento de la suscripción y solo puede ser modificado por este.
- Circuito Virtual Conmutado (SVC), en este caso debe existir un procedimiento de nivel 3 a fin de que los usuarios puedan establecer y liberar las conexiones a voluntad.

Al haber sido desarrollado mucho después que la tecnología X.25, Frame Relay se adapta mejor a las características de las infraestructuras de telecomunicaciones actuales. La norma está descrita sólo sobre las dos primeras capas o niveles del modelo OSI, a diferencia de X.25, que llega hasta el Nivel 3 de red, en el cual se consignan las funciones de control del flujo y la integridad de los datos. Por tanto, al estar liberado de estos cometidos, Frame Relay resulta mucho más rápido que X.25, que como fue concebida inicialmente para operar

con circuitos analógicos, utiliza procedimientos de control de errores, frecuentemente pesados, lentos y complejos.

La evolución tecnológica ha logrado mejorar la calidad de las líneas, permitiendo desplazar el control de los errores a los propios equipos situados en los extremos de la comunicación, que pueden interpretar las señales de control de flujos generadas por la red.

En todos estos aspectos técnicos reside la fuerza de Frame Relay, que, además, permite al usuario pagar sólo por la velocidad media contratada y no sobre el tráfico cursado.

3.2.2 Arquitectura

En cada sistema final y sistema intermedio, tenemos dos arquitecturas distintas y separadas: la correspondiente al plano de usuario y la correspondiente al plano de control.

NOTA: a nivel físico, existirá una separación de los flujos de información de usuario y de control.

3.2.3 Formato de Trama frame Relay

Nos referimos al formato existente en el plano de usuario. En este formato no se establece una longitud máxima de trama, pero debe ser un múltiplo entero de octetos (es decir, la trama está alineada a octeto), lo cual se puede observar en la figura. Conviene destacar que el protocolo define también el orden de transmisión de los bits de la trama por línea. Este orden es, según se ha querido dar a entender con la figura, de derecha a izquierda. La transmisión es en serie por la línea y un bit va detrás de otro. Un sistema final o intermedio que reciba una trama debe saber el significado de cada bit que le llega, y este significado depende del orden de ese bit dentro de su trama.

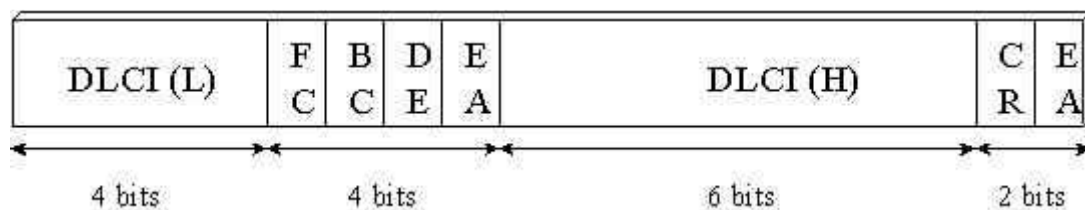


CRC (también llamado FCS): Código de detección de errores. Es un código *cíclico*. Es necesario, ya que cuando se detecta una trama con error, se descarta.

DATOS: En este campo es donde van los datos del Nivel superior, es decir, esta información se mete en la trama y, en recepción, se pasa directamente al nivel superior. Su longitud máxima no está definida en el estándar de facto (no está normalizada), pues no se pudo llegar a un acuerdo. Normalmente los operadores de redes FR la sitúan alrededor de 1600 bytes. El Nivel superior entrega los datos, y estos son encapsulados en una trama

FLAG: Tiene el mismo formato que en LAB-B (01111110), y también se utiliza para separar tramas consecutivas. Cuando no hay tramas que transmitir, se generan guiones continuamente.

CAMPO DE CONTROL: Llamamos campo de control a los bytes que siguen al Flag y que están por delante de los Datos de usuario. Puede tener varios formatos (como en X.25), pero normalmente suele tener 16 bits de longitud (2 octetos):



DLCI: Data Link Circuit Identifier. Estos diez bits son el identificador de conexión de enlace de datos. Permite definir hasta 1024 circuitos virtuales. Ya habíamos avanzado que la función de multiplexión se realiza en el nivel 2, y con el DLCI se identifica al canal lógico al que pertenece cada trama. Los números de canal lógico se asignan por contratación. Equivale al NCL de X.25.

E A: Extended Address. Campo de extensión de dirección. Puesto que se permiten más de dos octetos en el campo de control, este primer bit de cada octeto indica (cuando está marcado con un '0') si detrás siguen más octetos o bien (cuando está marcado con un '1') si se trata del último del campo de control. Emplear más de dos bytes resulta bastante infrecuente y se utiliza en el caso de que la dirección de multiplexión (en el campo DLCI) supere los 10 bits.

C R: Bit de Comando / Respuesta. Es parecido al bit "Q" de X.25, y al igual que ocurría con éste, no es un bit utilizado por la red. Se introduce por compatibilidad

con protocolos anteriores, como los del tipo HDLC. Cuando el protocolo de enlace es fiable, utilizan este bit.

F C, B C y F C: Bits para control de congestión y se verán más adelante.

Los sistemas pueden almacenar las tramas de formas diferentes. No olvidemos que la representación interna de la información dentro de un sistema puede tener diferentes significados, según el convenio que haya adoptado la implementación de esa máquina. Existen los convenios extremista mayor y extremista menor (Big-Endian y Little-Endian en inglés), y éstos, a su vez pueden estar referidos a bits, bytes o palabras. El sistema debe tener esto en cuenta para operar adecuadamente con los bits que tiene almacenados, y al transmitir o recibir bits de tramas, hacerlo en el orden que establece el protocolo. *La velocidad de llegada de tramas al nodo depende de la longitud de las tramas y del caudal. El nodo a de ser capaz de procesar las tramas según llegan. Luego, el que se queden en el nodo y tarden en salir es otra cosa, y depende del tráfico)*

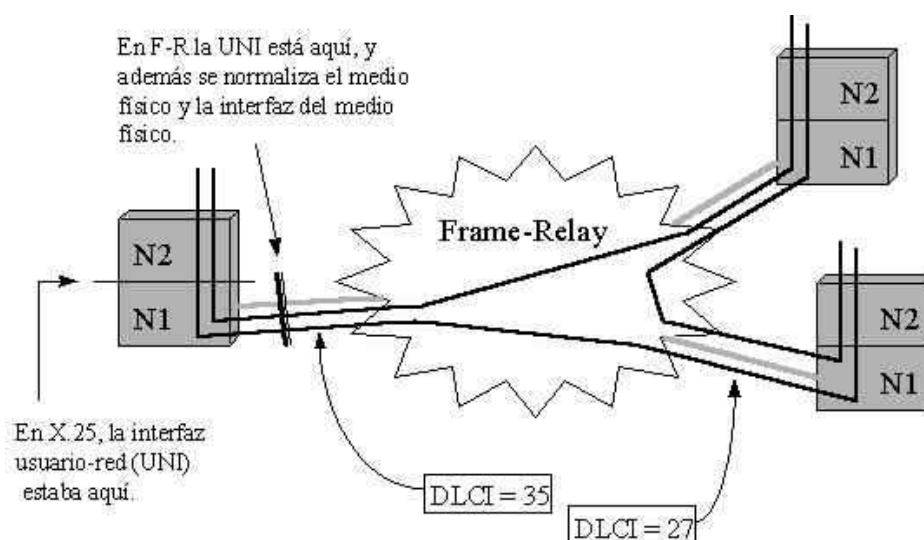


Figura 3.3

Vemos en Frame-Relay tendremos DLCIs diferentes en el UNI para datos entrantes y salientes de la red (Figura 3.3). Además, cada circuito se trata de un PVC, y no de un CVC.

3.3 ATM (Modo de transferencia asíncrono)

Tres letras - ATM - se repiten cada vez más en estos días en los ambientes Informáticos y de Telecomunicaciones. La tecnología llamada *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) Modo de Transferencia Asíncrona es el corazón de los servicios digitales integrados que ofrecerán las nuevas redes digitales de servicios integrados de Banda Ancha (B-ISDN), para muchos ya no hay cuestionamientos; el llamado tráfico del "Cyber espacio", con su voluminoso y tumultuoso crecimiento, impone a los operadores de redes públicas y privadas una voraz demanda de anchos de banda mayores y flexibles con soluciones robustas. La versatilidad de la conmutación de paquetes de longitud fija, denominadas celdas ATM, son las tablas más calificadas para soportar la cresta de esta "Ciberola" donde los surfedores de la banda ancha navegan.

Algunos críticos establecen una analogía de la tecnología ATM con la red digital de servicios integrados o ISDN por sus siglas en inglés. Al respecto se escuchan respuestas de expertos que desautorizan esta comparación aduciendo que la ISDN es una gran tecnología que llegó en una época equivocada, en términos de que el mercado estaba principalmente en manos de actores con posiciones monopolísticas.

Ahora el mercado está cambiando, la ISDN está encontrando una gran cantidad de aplicaciones. De toda forma la tecnología ATM se proyecta para diferentes necesidades, a pesar de su estrecha relación con ISDN, en términos de volúmenes de datos, flexibilidad de conmutación y facilidades para el operador.

Los conmutadores ATM aseguran que el tráfico de grandes volúmenes es flexiblemente conmutado al destino correcto. Los usuarios aprecian ambas cosas, ya que se cansan de esperar los datos y las pantallas de llegada a sus terminales. Estas necesidades cuadran de maravilla para los proveedores de servicios públicos de salud, con requerimientos de videoconferencias médicas, redes financieras interconectadas con los entes de intermediación y validación, o con las exigencias que pronto serán familiares como vídeo en demanda para nuestros hogares con alta definición de imágenes y calidad de sonido de un CD, etc.

Para el operador, con la flexibilidad del ATM, una llamada telefónica con

tráfico de voz será tarifado a una tasa diferente a la que estaría dispuesto a pagar un cirujano asistiendo en tiempo real a una operación al otro lado del mundo. Ese es una de las fortalezas de ATM usted paga solamente por la carga de celdas que es efectivamente transportada y conmutada para usted. Además la demanda por acceso a Internet ha tomado a la industria de telecomunicaciones como una tormenta. Hoy día los accesos conmutados a Internet están creando "Cuellos de Botella" en la infraestructura. Para copar este problema los fabricantes no solo han desarrollado sistemas de acceso sino aplicaciones para soluciones de fin a fin con conmutadores ATM, con solventes sistemas de administración de la red (Network Management).

En varios aspectos, ATM es el resultado de una pregunta similar a la de teoría del campo unificada en física ¿Cómo se puede transportar un universo diferente de servicio de voz, vídeo por un lado y datos por otro de manera eficiente usando una simple tecnología de conmutación y multiplexación?.

ATM contesta esta pregunta combinando la simplicidad de la multiplexación por división en el tiempo (Time Division Multiplex TDM) encontrado en la conmutación de circuitos, con la eficiencia de las redes de conmutación de paquetes con multiplexación estadística. Por eso es que algunos hacen reminiscencias de perspectivas de conmutación de circuitos mientras que otros lo hacen a redes de paquetes orientados a conexión.

3.3.1 MULTIPLEXACION EN ATM:

Un examen más cercano del protocolo ATM y cómo opera ayudará a explicar cómo los circuitos virtuales, las rutas virtuales, los conmutadores y los servicios que ellos acarrearán se afectan entre sí.

La figura 3.6 muestra un formato básico y la jerarquía de ATM. Una conexión ATM, consiste de "celdas" de información contenidos en un circuito virtual (VC). Estas celdas provienen de diferentes fuentes representadas como generadores de bits a tasas de transferencia constantes como la voz y a tasas variables tipo ráfagas (bursty traffic) como los datos. Cada celda compuesta por 53 bytes, de los cuales 48 (opcionalmente 44) son para trasiego de información y los restantes para uso de campos de control (cabecera) con información de "quién soy" y "donde voy"; es identificada por un "virtual circuit

identificar" VCI y un "virtual path identifier" VPI dentro de esos campos de control, que incluyen tanto el enrutamiento de celdas como el tipo de conexión. La organización de la cabecera (header) variará levemente dependiendo de si la información relacionada es para interfaces de red a red o de usuario a red. Las celdas son enrutadas individualmente a través de los conmutadores basados en estos identificadores, los cuales tienen significado local - ya que pueden ser cambiados de interface a interface.

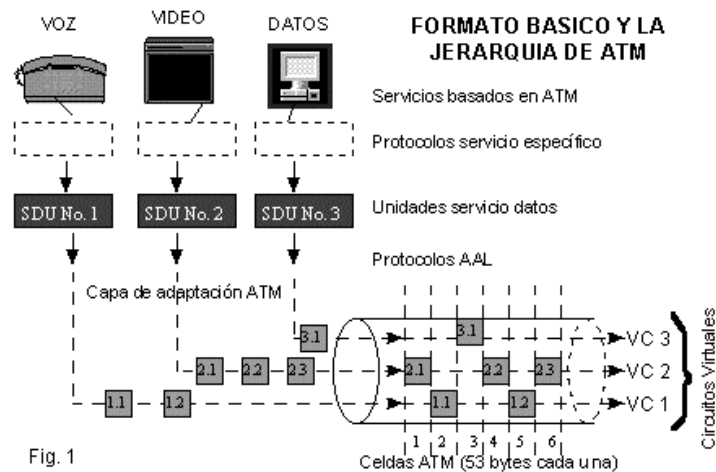


Figura 3.6 Jerarquía de ATM

La técnica ATM multiplexa muchas celdas de circuitos virtuales en una ruta (path) virtual colocándolas en particiones (slots), similar a la técnica TDM. Sin embargo, ATM llena cada slot con celdas de un circuito virtual a la primera oportunidad, similar a la operación de una red conmutada de paquetes. La figura 3.7 describe los procesos de conmutación implícitos los VC switches y los VP switches.

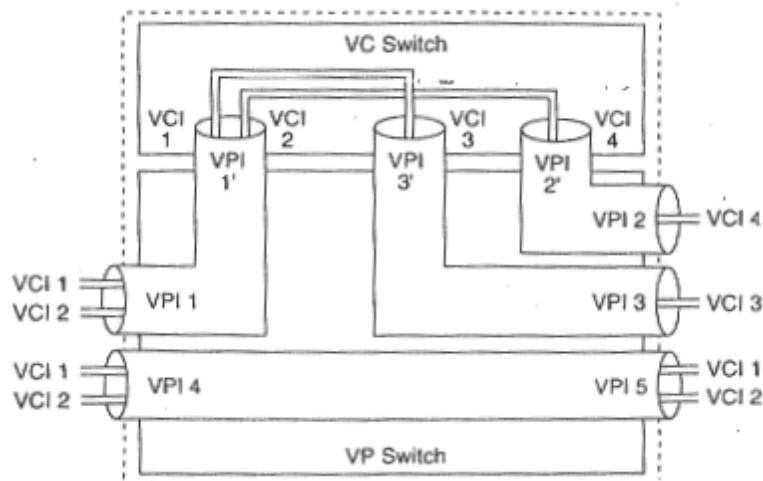


Figura 3.7 circuitos virtuales

Los slots de celda no usados son llenados con celdas "idle", identificadas por un patrón específico en la cabecera de la celda. Este sistema no es igual al llamado "bit stuffing" en la multiplexación Asíncrona, ya que aplica a celdas enteras.

Diferentes categorías de tráfico son convertidas en celdas ATM vía la capa de adaptación de ATM (AAL - ATM Adaptation Layer), de acuerdo con el protocolo usado.

La tecnología ATM ha sido definida tanto por el ANSI como por el CCITT a través de sus respectivos comités ANSI T1, UIT SG XVIII, como la tecnología de transporte para la B-ISDN (Broad Band Integrated Services Digital Network), la RDSI de banda ancha. En este contexto "transporte" se refiere al uso de técnicas de conmutación y multiplexación en la capa de enlace (Capa 2 del modelo OSI) para el trasiego del tráfico del usuario final de la fuente al destino, dentro de una red. El ATM Forum, grupo de fabricantes y usuarios dedicado al análisis y avances de ATM, ha aprobado cuatro velocidades UNI (User Network Interfases) para ATM: DS3 (44.736 Mbit/s), SONET STS3c (155.52 Mbit/s) y 100 Mbit/s para UNI privados y 155 Mbit/s para UNI privadas. UNI privadas se refieren a la interconexión de usuarios ATM con un switch ATM privado que es manejado como parte de la misma red corporativa. Aunque la tasa de datos original para ATM fue de 45 Mbit/s especificado para redes de operadores (carriers) con redes T3 existentes, velocidades UNI adicionales se han venido evaluando y están ofreciéndose. También hay un alto interés en interfases, para velocidades E1 (2Mbps) y T1 (1,544 Mbps) para accesos ATM de baja velocidad.

3.3.2 PROTOCOLO ATM:

El protocolo ATM consiste de tres niveles o capas básicas (Ver figura 3.8).

La primera capa llamada capa física (Physical Layer), define los interfases físicos con los medios de transmisión y el protocolo de trama para la red ATM es responsable de la correcta transmisión y recepción de los bits en el medio físico apropiado. A diferencia de muchas tecnologías LAN como Ethernet, que especifica ciertos medios de transmisión, (10 base T, 10 base 5, etc.) ATM es independiente del transporte físico. Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes SONET (Synchronous Optical Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), T3/E3, TI/EI o aún en modems de 9600 bps. Hay dos subcapas en la capa física que separan el medio físico de transmisión y la extracción de los datos:

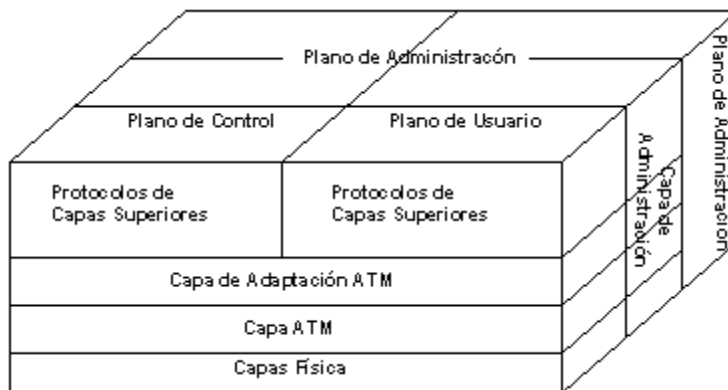


Figura 3.8 Protocolo de Modelo de referencia para ATM Banda ancha

Capa Física: La subcapa PMD (Physical Medium Dependent) tiene que ver con los detalles que se especifican para velocidades de transmisión, tipos de conectores físicos, extracción de reloj, etc., Por ejemplo, la tasa de datos SONET que se usa, es parte del PMD. La subcapa TC (Transmission Convergence) tiene que ver con la extracción de información contenida desde

la misma capa física. Esto incluye la generación y el chequeo del Header Error Corrección (HEC), extrayendo celdas desde el flujo de bits de entrada y el procesamiento de celdas "idles" y el reconocimiento del límite de la celda.

Capa ATM: La segunda capa es la capa ATM. Ello define la estructura de la celda y cómo las celdas fluyen sobre las conexiones lógicas en una red ATM, esta capa es independiente del servicio. El formato de una celda ATM es muy simple. Consiste de 5 bytes de cabecera y 48 bytes para información.

Las celdas son transmitidas serialmente y se propagan en estricta secuencia numérica a través de la red. El tamaño de la celda ha sido escogido como un compromiso entre una larga celda, que es muy eficiente para transmitir largas tramas de datos y longitudes de celdas cortas que minimizan el retardo de procesamiento de extremo a extremo, que son buenas para voz, vídeo y protocolos sensibles al retardo. A pesar de que no se diseñó específicamente para eso, la longitud de la celda ATM acomoda convenientemente dos Fast Packets IPX de 24 bytes cada uno.

Los comités de estándares han definido dos tipos de cabeceras ATM: los User-to-Network Interface (UNI) y la Network to Network Interface (NNI). La UNI es un modo nativo de interfaz ATM que define la interfaz entre el equipo del cliente (Customer Premises Equipment), tal como hubs o routers ATM y la red de área ancha ATM (ATM WAN). La NNI define la interfase entre los nodos de la red (los switches o conmutadores) o entre redes. La NNI puede usarse como una interfase entre una red ATM de un usuario privado y la red ATM de un proveedor público (carrier). Específicamente, la función principal de ambos tipos de cabeceras de UNI y la NNI, es identificar las "Virtual paths identifiers" (VPIS) y los "virtual circuits" o virtual channels"(VCIS) como identificadores para el ruteo y la conmutación de las celdas ATM.

La capa de adaptación de ATM: La tercera capa es la ATM Adaptation Layer (AAL). La AAL juega un rol clave en el manejo de múltiples tipos de tráfico para usar la red ATM, y es dependiente del servicio. Específicamente, su trabajo es adaptar los servicios dados por la capa ATM a aquellos servicios que son requeridos por las capas más altas, tales como emulación de circuitos, (circuit

emulation), vídeo, audio, frame relay, etc. La AAL recibe los datos de varias fuentes o aplicaciones y las convierte en los segmentos de 48 bytes. Cinco tipos de servicio AAL están definidos actualmente:

La capa de Adaptación de ATM yace entre el ATM layer y las capas más altas que usan el servicio ATM. Su propósito principal es resolver cualquier disparidad entre un servicio requerido por el usuario y atender los servicios disponibles del ATM layer. La capa de adaptación introduce la información en paquetes ATM y controla los errores de la transmisión. La información transportada por la capa de adaptación se divide en cuatro clases según las propiedades siguientes:

- 1) Que la información que esta siendo transportada dependa o no del tiempo.
- 2) Tasa de bit constante/variable.
- 3) Modo de conexión.

3.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ATM:

VENTAJAS

- Celdas pequeñas de tamaño constante por lo que es más sencillo hacer conmutadores de alta velocidad
- Permite la multiplexación estadística del tráfico
- Soporte multiservicio con QoS

DESVENTAJAS

- Escasas aplicaciones multimedia hoy en día
- Complejo de gestionar
- Complejo y caro como solución para LAN
- No ha llegado hasta el escritorio (falta de API)

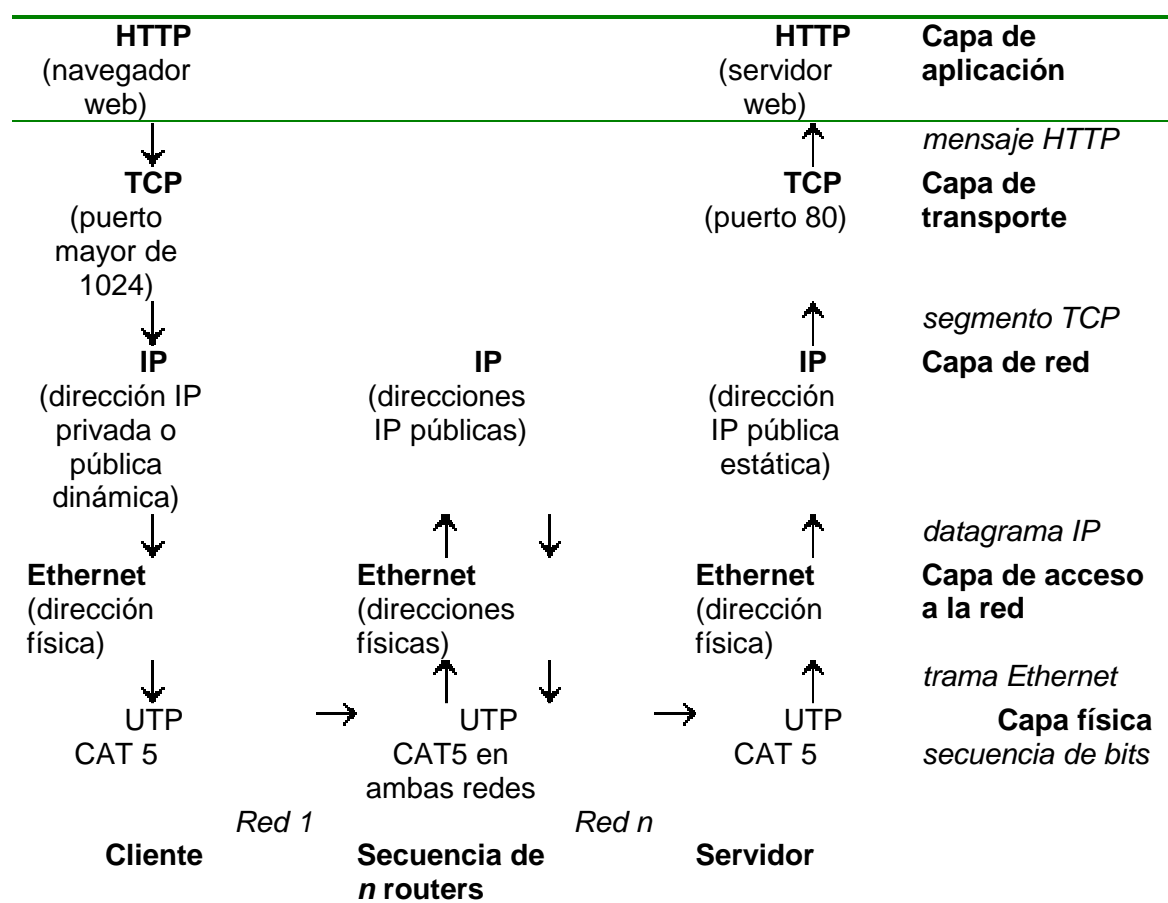
3.4 Protocolos TCP IP

3.4.1 Niveles en la pila TCP/IP

Hay algunas discusiones sobre como encaja el modelo TCP/IP dentro del modelo OSI. Como TCP/IP y modelo OSI no están delimitados con precisión no hay una respuesta que sea la correcta.

El modelo TCP/IP no está lo suficientemente dotado en los niveles inferiores como para detallar la auténtica estratificación en niveles: necesitaría tener una capa extra (el nivel de Red) entre los niveles de transporte e internet. Protocolos específicos de un tipo concreto de red, que se sitúan por encima del marco de hardware básico, pertenecen al nivel de red, pero sin serlo. Ejemplos de estos protocolos son el ARP (Protocolo de resolución de direcciones) y el STP (Spanning Tree Protocol). De todas formas, estos son protocolos locales, y trabajan por debajo de las capas de Internet. Cierto es que situar ambos grupos (sin mencionar los protocolos que forman parte del nivel de Internet pero se sitúan por encima de los protocolos de Internet, como ICMP) todos en la misma capa puede producir confusión, pero el modelo OSI no llega a ese nivel de complejidad para ser más útil como modelo de referencia.

Normalmente, los tres niveles superiores del modelo OSI (Aplicación, Presentación y Sesión) son considerados simplemente como el nivel de aplicación en el conjunto TCP/IP. Como TCP/IP no tiene un nivel de sesión unificado sobre el que los niveles superiores se sostengan, estas funciones son típicamente desempeñadas (o ignoradas) por las aplicaciones de usuario. La diferencia más notable entre los modelos de TCP/IP y OSI es el nivel de Aplicación, en TCP/IP se integran algunos niveles del modelo OSI en su nivel de Aplicación. Una interpretación simplificada de la pila TCP/IP se muestra debajo:



Nivel físico: describe las de características físicas la comunicación, como las convenciones sobre la naturaleza del medio usado para la comunicación (como las comunicaciones por cable, fibra óptica o radio), y todo lo relativo a los detalles como los conectores, código de canales y modulación, potencias de señal, longitudes de onda, sincronización y temporización y distancias máximas..

El nivel de enlace de datos especifica **cómo son transportados los paquetes sobre el nivel físico**, incluyendo los delimitadores (patrones de bits concretos que marcan el comienzo y el fin de cada trama). Ethernet, por ejemplo, incluye campos en la cabecera de la trama que especifican que máquina o máquinas de la red son las destinatarias de la trama. Ejemplos de protocolos de nivel de enlace de datos son Ethernet, Wireless Ethernet, SLIP, Token Ring y ATM. PPP es un poco más complejo y originalmente fue diseñado como un protocolo separado que funcionaba sobre otro nivel de enlace, HDLC/SDLC.

Este nivel es a veces subdividido en Control de enlace lógico (*Logical Link Control*) y Control de acceso al medio (*Media Access Control*).

El nivel de Internet como fue definido originalmente, el nivel de red soluciona el problema de conseguir transportar paquetes a través de una red sencilla. Ejemplos de protocolos son X.25 y *Host/IMP Protocol* de ARPANET.

Con la llegada del concepto de Internet, nuevas funcionalidades fueron añadidas a este nivel, basadas en el intercambio de datos entre una red origen y una red destino. Generalmente esto incluye un enrutamiento de paquetes a través de una red de redes, conocida como Internet.

En la familia de protocolos de Internet, IP realiza las tareas básicas para **conseguir transportar datos desde un origen a un destino**. IP puede pasar los datos a una serie de protocolos superiores; cada uno de esos protocolos es identificado con un único "Número de protocolo IP". ICMP y IGMP son los protocolos 1 y 2, respectivamente.

Algunos de los protocolos por encima de IP como ICMP (usado para transmitir información de diagnóstico sobre transmisiones IP) e IGMP (usado para dirigir tráfico multicast) van en niveles superiores a IP pero realizan funciones del nivel de red e ilustran una incompatibilidad entre los modelos de Internet y OSI. Todos los protocolos de enrutamiento, como BGP, OSPF, y RIP son realmente también parte del nivel de red, aunque ellos parecen pertenecer a niveles más altos en la pila.

El nivel de Transporte: Los protocolos del nivel de transporte pueden solucionar problemas como la **fiabilidad** y la seguridad de que los **datos llegan en el orden correcto**. En el conjunto de protocolos TCP/IP, los protocolos de transporte también determinan a qué aplicación van destinados los datos.

Los protocolos de enrutamiento dinámico que técnicamente encajan en el conjunto de protocolos TCP/IP (ya que funcionan sobre IP) son generalmente considerados parte del nivel de red; un ejemplo es OSPF (protocolo IP número 89).

TCP (protocolo IP número 6) es un mecanismo de transporte fiable y orientado a conexión, que proporciona un flujo fiable de bytes, que asegura que los datos lleguen completos, sin daños y en orden. TCP realiza continuamente medidas sobre el estado de la red para evitar sobrecargarla con demasiado tráfico. Además, TCP trata de enviar todos los datos correctamente en la secuencia especificada. Esta es una de las principales diferencias con UDP, y puede convertirse en una desventaja en flujos en tiempo real (muy sensibles a la variación del retardo) o aplicaciones de enrutamiento con porcentajes altos de pérdida en el nivel de internet.

UDP (protocolo IP número 17) es un protocolo de datagramas sin conexión. Es un protocolo no fiable (*best effort* al igual que IP) - no porque sea particularmente malo, sino porque no verifica que los paquetes lleguen a su destino, y no da garantías de que lleguen en orden. Si una aplicación requiere estas características, debe llevarlas a cabo por sí misma o usar TCP.

TCP y UDP son usados para dar servicio a una serie de aplicaciones de alto nivel. Las aplicaciones con una dirección de red dada son distinguibles entre sí por su número de puerto TCP o UDP. Por convención, los puertos bien conocidos (*well-known ports*) son asociados con aplicaciones específicas.

RTP es un protocolo de datagramas que ha sido diseñado para datos en tiempo real como el streaming de audio y video que se monta sobre UDP.

El nivel de Aplicación: El nivel de aplicación es el nivel que los programas más comunes utilizan para comunicarse a través de una red con otros programas. Los procesos que acontecen en este nivel son aplicaciones específicas que pasan los datos al nivel de aplicación en el formato que internamente use el programa y es codificado de acuerdo con un protocolo estándar.

3.4.2 El protocolo IP

Es el software que implementa el mecanismo de entrega de paquetes sin conexión y no confiable (técnica del mejor esfuerzo).

El protocolo IP cubre tres aspectos importantes:

1. Define la unidad básica para la transferencia de datos en una interred, especificando el formato exacto de un Datagrama IP.
2. Realiza las funciones de enrutamiento.
3. Define las reglas para que los Host y Routers procesen paquetes, los descarten o generen mensajes de error. El esquema de envío de IP es similar al que se emplea en la capa Acceso a red. En esta última se envían Tramas formadas por un Encabezado y los Datos. En el Encabezado se incluye la dirección física del origen y del destino.

En el caso de IP se envían *Datagramas*, estos también incluyen un Encabezado y Datos, pero las direcciones empleadas son *Direcciones IP*.

Encabezado	Datos
------------	-------

Los datagramas IP están formados por *Palabras* de 32 bits. Cada Datagrama tiene un mínimo (y tamaño más frecuente) de cinco palabras y un máximo de quince

Ver	Hlen	TOS	Longitud Total	
Identificación		Flags	Desp. De Fragmento	
TTL	Protocolo		Checksum	
Dirección IP de la Fuente				
Dirección IP del Destino				
Opciones IP (Opcional)			Relleno	
datos				

- Ver: Versión de IP que se emplea para construir el Datagrama. Se requiere para que quien lo reciba lo interprete correctamente. La actual versión IP es la 4.
- Hlen: Tamaño de la cabecera en palabras.
- TOS: Tipo de servicio. La gran mayoría de los Host y Routers ignoran este campo. Su estructura es:

Prioridad					Sin Uso
-----------	--	--	--	--	------------

La prioridad (0 = Normal, 7 = Control de red) permite implementar

algoritmos de control de congestión más eficientes. Los tipos D, T y R solicitan un tipo de transporte dado: D = Procesamiento con retardos cortos, T = Alto Desempeño y R = Alta confiabilidad. Nótese que estos bits son solo “sugerencias”, no es obligatorio para la red cumplirlo.

Longitud Total: Mide en bytes la longitud de todo el Datagrama. Permite calcular el tamaño del campo de datos: $\text{Datos} = \text{Longitud Total} - 4 * \text{Hlen}$.

Identificación: Numero de 16 bits que identifica al Datagrama, que permite implementar números de secuencias y que permite reconocer los diferentes fragmentos de un mismo Datagrama, pues todos ellos comparten este numero.

Banderas: Un campo de tres bits donde el primero está reservado. El segundo, llamado bit de No - Fragmentación significa: 0 = Puede fragmentarse el Datagrama o 1 = No puede fragmentarse el Datagrama.

Desp. De Fragmento: A un trozo de datos se le llama Bloque de Fragmento. Este campo indica el tamaño del desplazamiento en bloques de fragmento con respecto al Datagrama original, empezando por el cero.

TTL: Tiempo de Vida del Datagrama, especifica el numero de segundos que se permite al Datagrama circular por la red antes de ser descartado.

Protocolo: Especifica que protocolo de alto nivel se empleó para construir el mensaje transportado en el campo datos de Datagrama IP. Algunos valores posibles son: 1 = ICMP, 6 = TCP, 17 = UDP, 88 = IGRP (Protocolo de Enrutamiento de Pasarela Interior de CISCO).

Checksum: Es un campo de 16 bits que se calcula haciendo el complemento a uno de cada palabra de 16 bits del encabezado, sumándolas y haciendo su complemento a uno. Esta suma hay que recalcularla en cada nodo intermedio debido a cambios en el TTL o por fragmentación.

Dirección IP: Tanto del emisor como del receptor es muy importante, sirve para el enrutamiento ya en función de la IP trabajan los algoritmos de encaminamiento. La dirección IP varía su significado en función de si estamos en una LAN o en una WAN.

CAPITULO 4

PROPUESTA TECNICA

4.1 Funcionamiento general de GPON

La Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network en inglés) mostrada en la figura 4.1 aprobada en 2003-2004 por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5. Todos los fabricantes de equipos deben cumplirla para garantizar la interoperabilidad. Es una estandarización de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbps.

GPON ofrece una estructura de trama escalable de 622 Mbps hasta 2,5 Gbps, así como soporte de tasas de bits asimétricas. La velocidad mas utilizada por los actuales suministradores de GPON es de 2.488 Gbps downstream y 1.244 Gbps upstream. También da soporte de todos los servicios: voz, Ethernet (10/100 BaseT), ATM El número máximo de usuarios que pueden colgar de una misma fibra es 64 (el sistema está preparado para dar hasta 128).

Además Gpon implementa importantes facilidades de gestión, operación y mantenimiento (OAM), desde la cabecera OLT al equipamiento de usuario ONT, ofreciendo una potente gestión de servicio extremo a extremo. Entre otras funcionalidades incorporadas cabe destacar: monitorización de la tasa de error, eventos, ranging automático y Seguridad a nivel de protocolo (cifrado) debido a la naturaleza multicast del protocolo

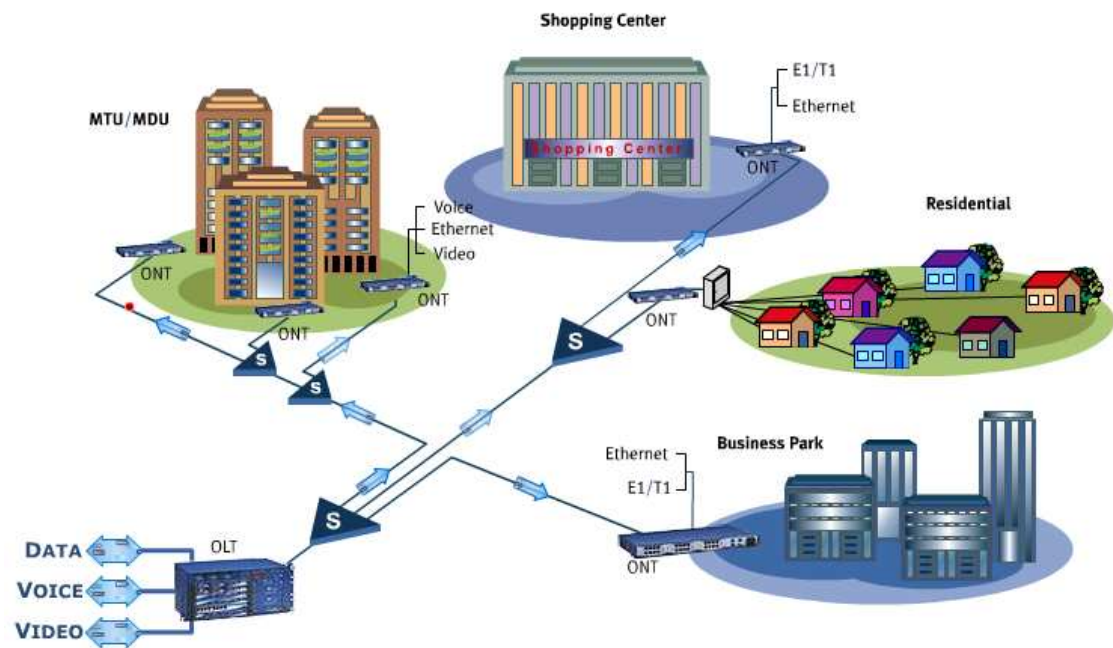


Figura 4.1 Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON)

Tanto el sentido descendente como el ascendente viajan en la misma fibra óptica. Para ello se utiliza una multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing) figura 4.2.

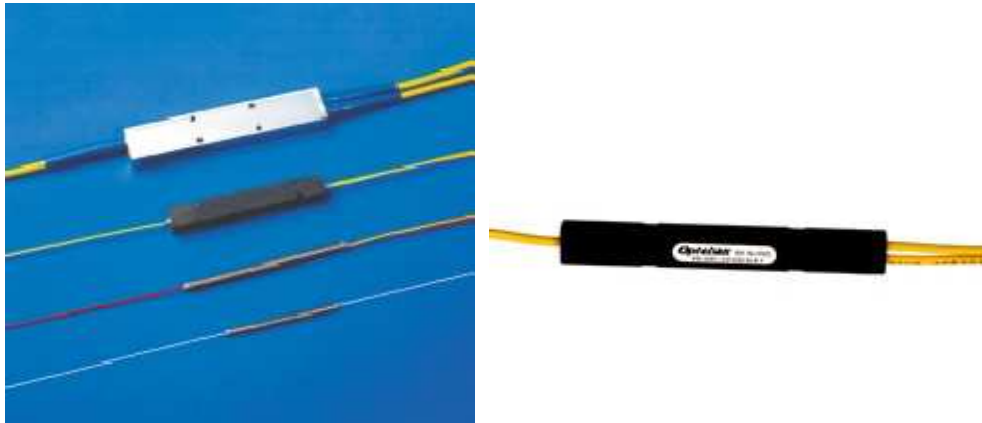


Figura 4.2 LightGAIN WDM 1310nm & 1550nm WDM Cable

El alcance de un equipo viene dado por la atenuación máxima que es capaz de soportar sin perder el servicio. La atenuación máxima soportada por un sistema vendrá dada por la potencia máxima garantizada por la OLT menos la potencia mínima que es capaz de percibir la ONT. El estándar GPON define diferentes tipos de láseres (medidos en dBm):

OLT:

TIPO -----> Pot. Media Mín

A -----> - 4

B+ -----> +1

C -----> +5

ONT:

TIPO -----> Sensibilidad Mínima del Receptor

A -----> -25

B+ -----> -27

C -----> -26

Los fabricantes se han decantado por los láseres B+ por lo que la atenuación máxima que se puede asegurar para que funcione el servicio es 28 dB.

La atenuación de un nivel de splitting más los conectores es de unos 20 dB. Quedarían 8 dB para la atenuación de la fibra. Cada km. son unos 0.4 dB, por lo que el alcance máximo sería de unos 20 km.

Para el tráfico en downstream se utiliza tecnología TDM (Time Division Multiplexing). Todos los datos se transmiten a todas las ONTs (el splitter es un elemento pasivo que simplemente replica los datos, es un elemento que divide la señal de luz que tiene a su entrada en varias salidas, puede haber una serie de divisores ópticos 1 x n donde n=2,4,8,16,32 o 64 en distintos emplazamientos hasta alcanzar a los clientes, esto es una arquitectura punto y multipunto). Cada ONT filtra los datos recibidos (sólo se queda con aquellos que van dirigidos hacia él). Tiene el problema de que el operador/usuario puede querer confidencialidad de los datos. Debido a esta confidencialidad se puede utilizar cifrado de los datos.

Mientras que para el tráfico en upstream se utiliza tecnología TDMA (Time Division Multiple Access). La OLT controla el canal ascendente, asignando ventajas a las ONT. Se requiere un control de acceso al medio para evitar colisiones y para distribuir el ancho de banda entre los usuarios.

Los datos en upstream desde la ONT hasta la OLT que son distribuidos en longitud de onda distinta para evitar colisiones en la transmisión de downstream, son agregados por la misma unidad divisora pasiva, que hace la funciones de combinador en la otra dirección del tráfico, lo que permite que el tráfico sea recolectado desde la OLT sobre la misma fibra óptica que envía el tráfico downstream.

Al ser el splitter un elemento pasivo (figura 4.3), es necesaria la perfecta sincronización de los paquetes ascendentes que le lleguen, para que sea capaz de formar la trama GPON. Es por ello necesario que la OLT conozca la distancia a la que están las ONTs para tener en cuenta el retardo, este método se denomina “ranging”, que fue descrito en el Capítulo 2. El sistema de acceso de una red GPON se muestra en la figura 4.4.

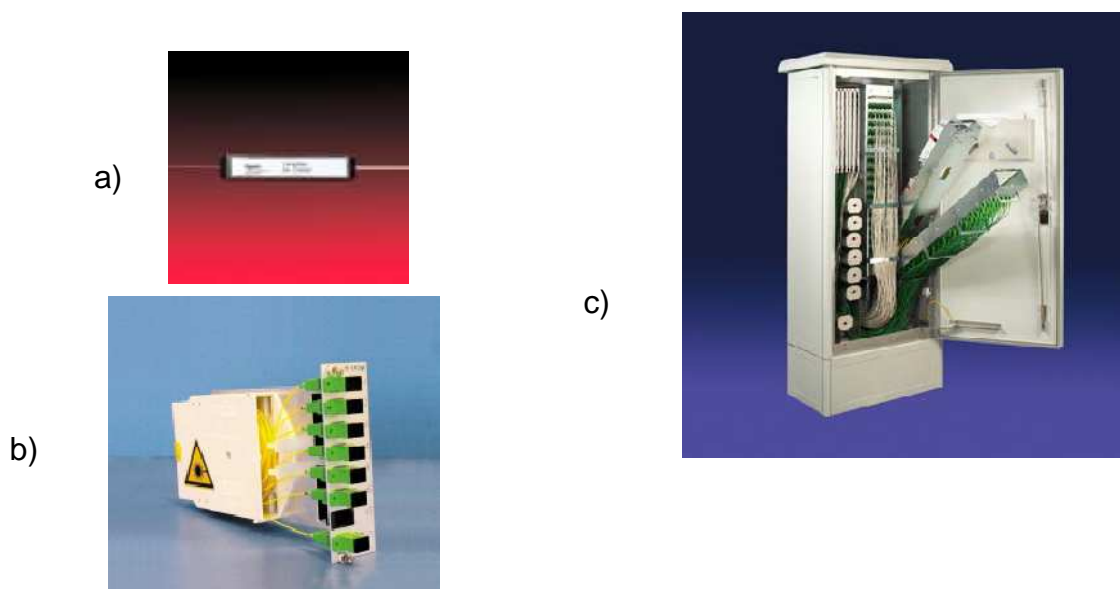


Figura 4.3 a) splitter plano b) splitter modular c) cabina con splitters modulares

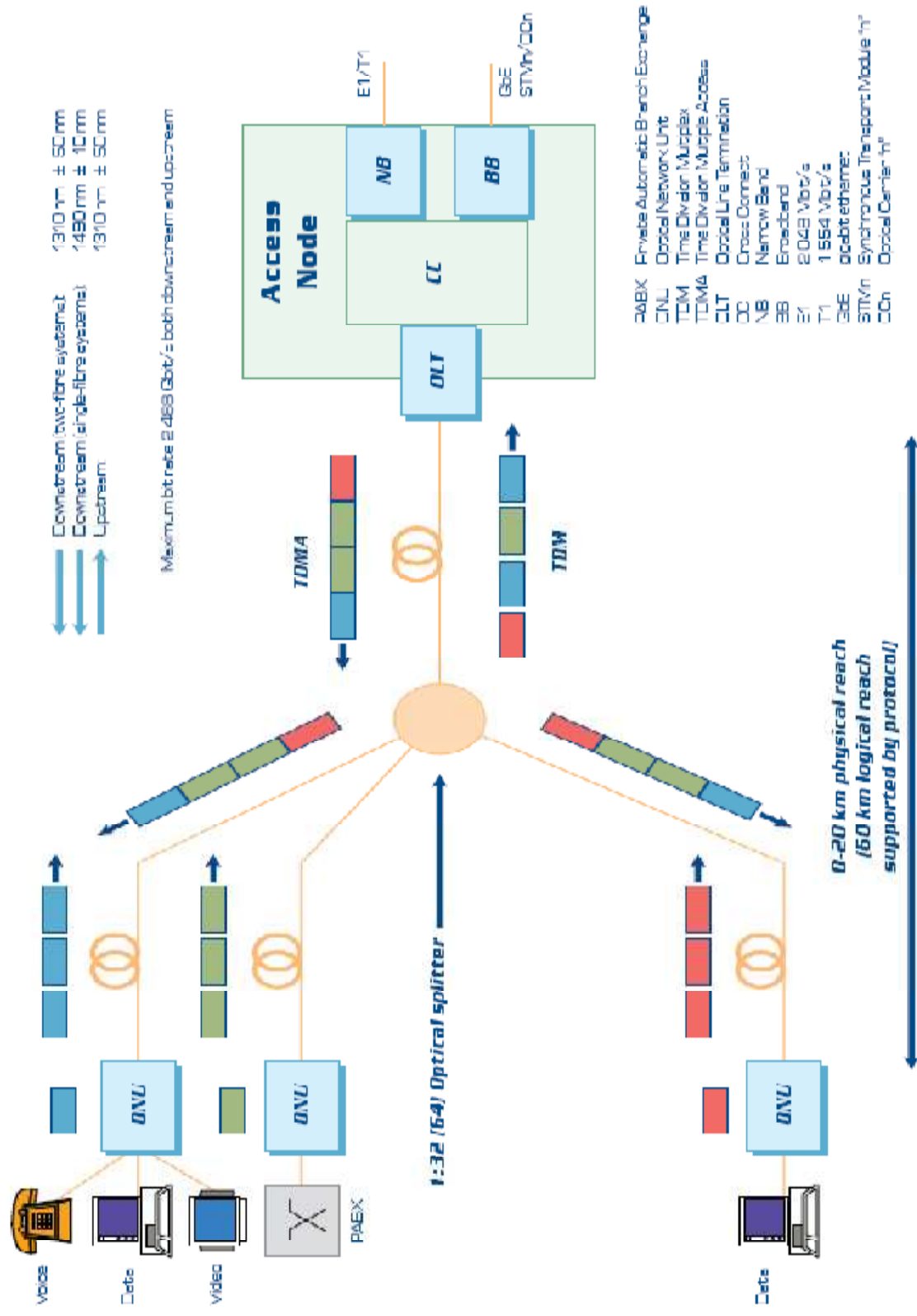


Figura 4.4 Sistema de acceso de GPON

Para la identificación de usuarios todos los elementos situados entre OLT y ONT (fibra óptica, splitters y conectores) son elementos pasivos (no requieren alimentación eléctrica). Esto implica que la OLT necesita un mecanismo que le permita identificar a cada uno de los usuarios que tiene conectados a una misma fibra.

Para ello se ha creado un elemento denominado número de serie de ONT, que debe estar configurado tanto en la OLT como en la ONT. La OLT debe tener un registro de los números de serie de ONT de todos los usuarios y a qué puerto pertenecen.

Uno de los principales problemas que se ha intentado resolver en la tecnología GPON ha sido el conseguir gestión remota del equipamiento de usuario, ya que cada visita a casa del cliente supone un elevado coste económico.

Para ello, dentro de la norma GPON se ha desarrollado un protocolo denominado OMCI (ONT Management and Control Interface). Este protocolo permite la configuración remota de las ONTs. Para cada ONT se establece un canal de gestión entre OLT y ONT. Incluye gestión, rendimiento, monitorización de alarmas, fallos y prestaciones. El protocolo OMCI es uno de los aspectos fundamentales para garantizar la interoperabilidad entre fabricantes. Hay diversos mecanismos de transmisión de la información OMCI. Uno de esos mecanismos es a través de programas de gestión de red (figura 4.5) que posibilita la visualización topológica general de la red supervisada y permite navegabilidad hasta el elemento de red. O sea, es un sistema que posee funcionalidades integradas de gestión de redes y gestión de elementos.

Soporta las funcionalidades de gestión de fallas, configuración, desempeño y seguridad. Puede ser concebido como una plataforma de forma que puedan ser incorporados módulos especializados para atender a distintos tipos de redes y tecnologías.

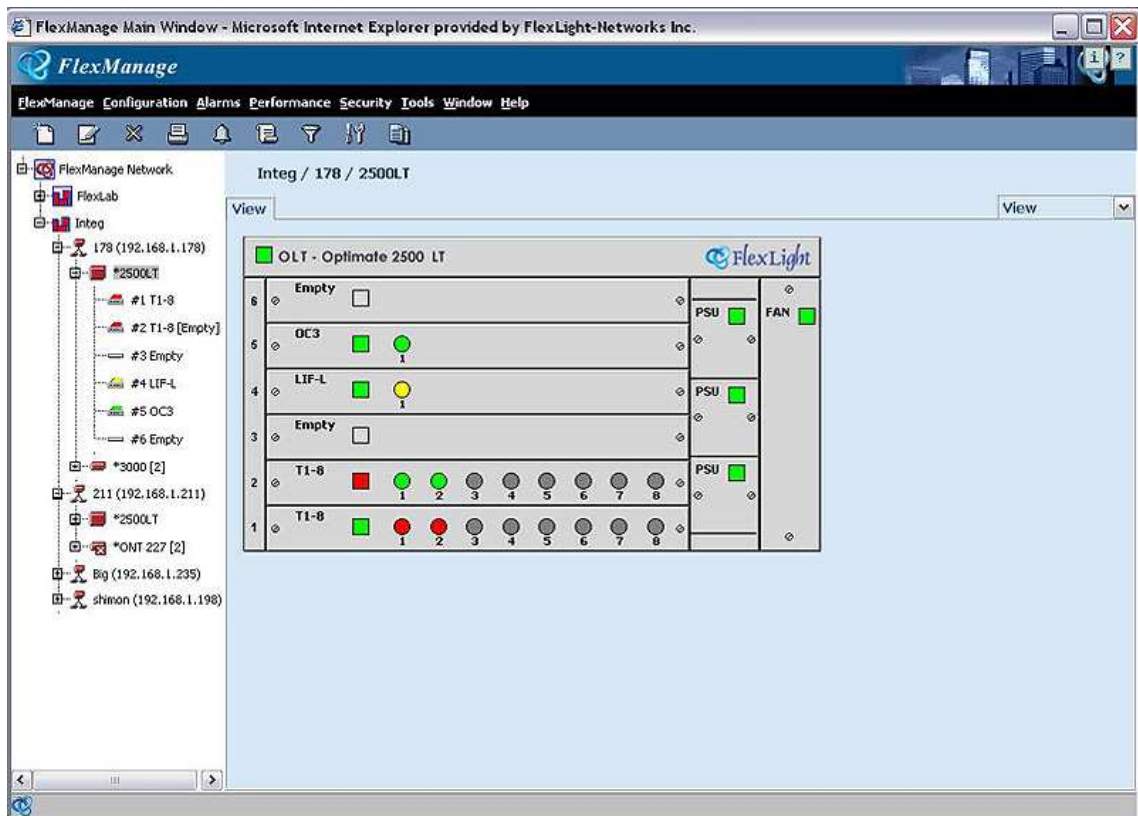


Figura 4.5 Gestionamiento y manejo de la red GPON a través de Flex Manage system

La norma GPON contempla dos posibilidades referentes a los protocolos de transporte que se pueden utilizar:

- ATM: es el utilizado por APON y BPON, por lo que es una solución continuista.
- GEM (GPON Encapsulation Method): es un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 microsegundos. Está basado en el estándar GFP (Generic Framing Procedure) del ITU G.7041, con modificaciones menores para optimizarla para las tecnologías GPON.

A pesar de existir las dos posibilidades, los fabricantes se han decantado por implementar solamente la solución GEM. La pila de protocolos quedaría de la siguiente manera: Ethernet sobre GEM, y éste sobre TDM/TDMA figura 4.6

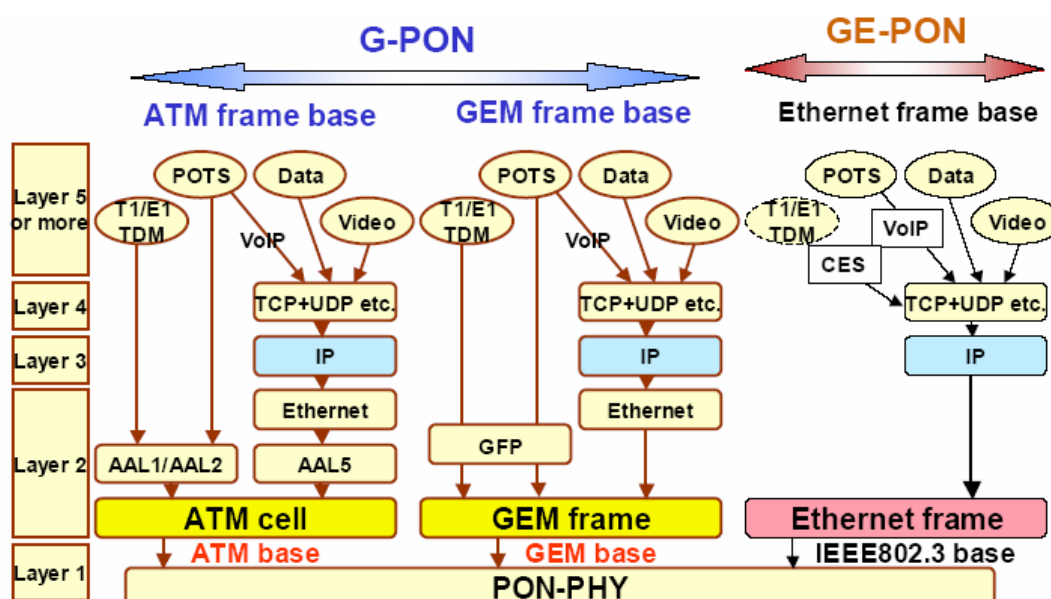


Figura 4.6 Protocolo de transporte GPON

Además GPON utiliza Multicast que es un protocolo para la difusión de televisión.

GPON es una tecnología punto a multipunto, en el que todos los usuarios reciben la misma información, pero sólo que quedan con la que está dirigida a ellos.

El estándar GPON se ha diseñado para que una parte de la trama GPON esté dedicada al tráfico multicast, de tal manera que sea accesible por todos los usuarios. Esta es la manera de conseguir enviar una sola copia de cada canal independientemente de los usuarios que la estén solicitando.

La OLT es el elemento activo situado en la central telefónica (Figura 4.7). De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios (cada OLT suele tener capacidad para dar servicio a varios miles de usuarios).

Agrega el tráfico proveniente de los clientes y lo encamina hacia la red de agregación. Realiza funciones de router para poder ofrecer todos los servicios demandados por los usuarios.



Fig. 4.7 OLT (fabricante *Flexmanage*)

ONT es el elemento situado en casa del usuario que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario (figura 4.8). Actualmente no existe interoperabilidad entre elementos, por lo que debe ser del mismo fabricante que la OLT. Se está trabajando para conseguir la interoperabilidad entre fabricantes, lo que permitiría abrir el mercado y abaratar precios (situación actualmente conseguida por las tecnologías XDSL)

En el caso de las ONTs de exterior, deben estar preparadas para soportar las inclemencias meteorológicas y suelen estar equipadas con baterías. Existe una gran variedad de ONTs, en función de los servicios que se quieran ofrecer y las interfaces que ofrezcan al usuario:

- Interfaces fast ethernet, Se suelen utilizar en usuarios residenciales para ofrecer servicios de televisión o Internet.
- Interfaces gigabit ethernet, Se utilizan para dar servicios a empresas.
- Interfaces RJ11, que se utilizan para conectar teléfonos analógicos y ofrecer servicios de voz.
- Interfaces E1 o STM-1, para dar servicios específicos de empresa.



Figura 4.8 ONT

Además del ONT existen las MDU (Multi Dwelling Unit) figura 4.9 que permite ofrecer servicio a múltiples usuarios, frente a las ONTs que dan servicio a un único cliente. Existen varios modelos de MDU entre los que destacan estos dos:

- MDU XDSL: Termina la fibra óptica que llega de la central telefónica. Utiliza tecnología XDSL para ofrecer servicios a los usuarios. Van integrados dentro de un armario, que se ubica en una zona común del edificio, con fácil acceso a los pares de cobre que llegan a los pisos.

- MDU con interfaces fase Ethernet

La ventaja fundamental que ofrecen respecto a las ONTs es que permiten aprovechar las tiradas de cobre que existen en los edificios. La desventaja es que tienen todas las limitaciones de las tecnologías XDSL.

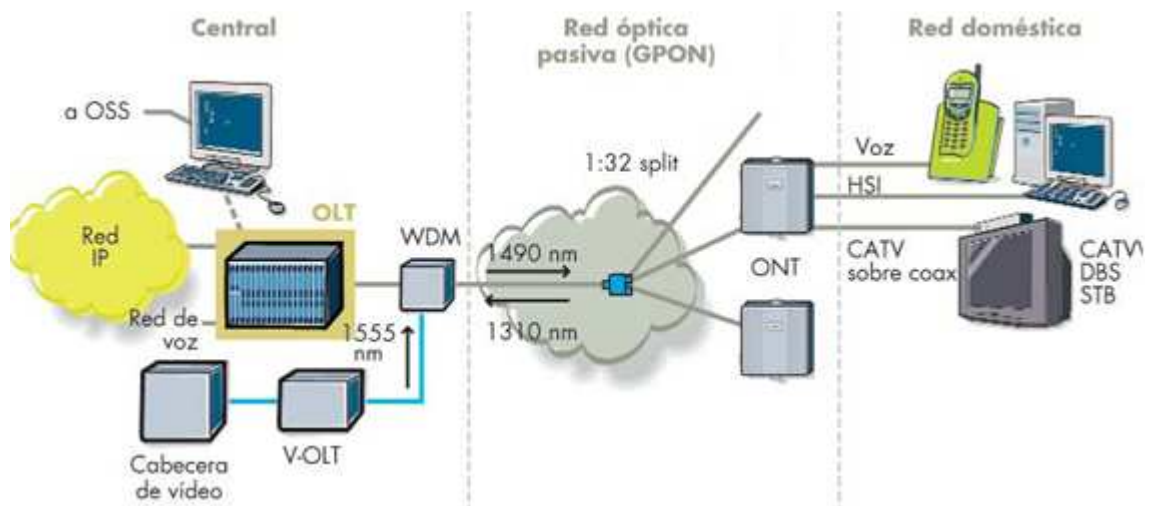


Figura 4.9 MDU

Una de las características clave de GPON es la capacidad de suscripción. Esto permite a los operadores ofrecer a los abonados más tráfico cuando lo necesiten, cuando no haya otros abonados en la misma PON que estén empleando todo el ancho de banda disponible. Esta funcionalidad es denominada ubicación dinámica del ancho de banda DBA (Dynamic Bandwidth Allocation).

En una red GPON se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos y telefónico downstream (1490 nm) y otra para el tráfico upstream (1310 nm). Además a través del uso de WDM se asigna una tercera longitud de onda (1550 nm) que esta dedicada para el broadcast de video RF. De este modo, el video/TV puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF(radio frecuencia) e IPTV dando lugar al termino triple play (datos, voz y vídeo). El triple play se ha convertido en el modelo de negocio universal para operaciones de telecomunicaciones; el componente de los servicios de vídeo es decisivo para las prestaciones del negocio del operador, independientemente del tipo de red de soporte de banda ancha . Mediante video/RF (figura 4.10) las operadoras de cable pueden hacer una migración gradual hacia IPTV. En este caso, las ONT dispondrán de una salida para video FR coaxial que ira conectada al STB tradicional. Con IPTV (figura 4.11) la señal de video, que es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP, sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a internet de banda ancha. El STB conectado mediante Gigabit Ethernet al

ONT, convertirá de nuevo la cadena de datos en una señal de video. Mediante IP TV y GPON cuyos equipos incorporan capacidades de QoS y multicast IP, las operadoras pueden ofrecer varios canales de alta calidad de imagen y sonido, incluidos HDTV, así como proporcionar servicios multimedia interactivos y personalizados, lo cual no es factible con video RF.

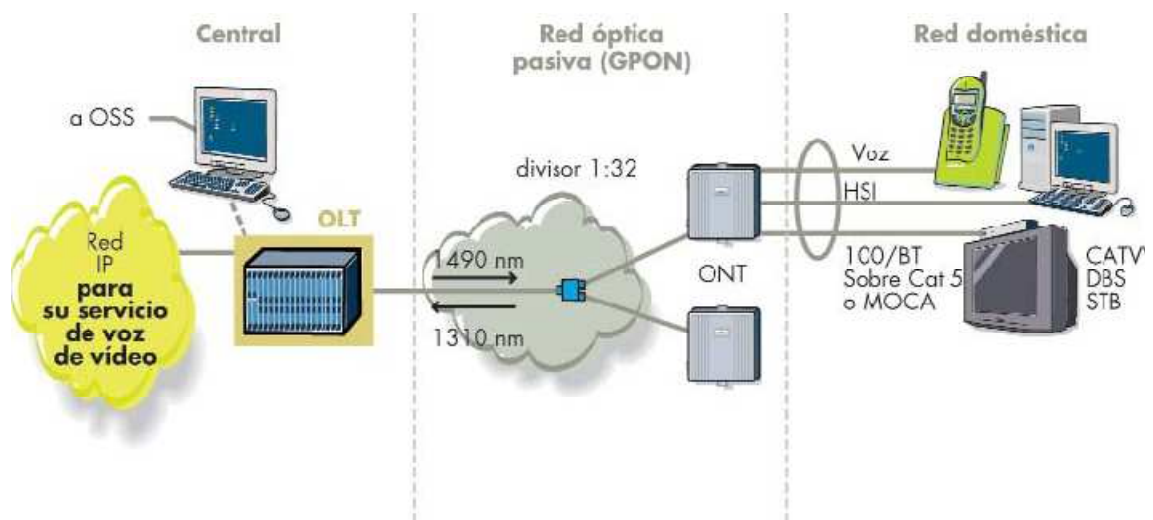


OSS: sistema de soporte de operaciones

STB: Set-Top Box

V-OLT: terminación de línea óptica – video

Figura 4.10 GPON con transporte superpuesto de video RF



HSI: High-Speed Internet

MOCA: Multimedia Over Coax Alliance

Figura 4.11 GPON con transporte de video IP

4.2 PON EN ADOLESCENCIA: DE PON TDMA A PON WDM

Aunque los sistemas comerciales GPON y EPON están todavía en desarrollo, están siendo estudiadas varias actualizaciones para aumentar la velocidad, longitud de los enlaces y radios de división. Esto ayudará a reducir los costes de los operadores al concentrar y reducir la cantidad de equipo de central y de cableado de fibra necesarios en las secciones de alimentación de sus redes. En la capa física, las actuales normas PON incluyen el WDM para separar los canales ascendentes (1310 nm) y descendentes (1490 nm) y para proporcionar un canal de superposición adicional (1555 nm, por ejemplo, para vídeo) Figura 4.12. El WDM podría, sin embargo, ser usado también para mejorar la capacidad de cada usuario proporcionando un canal punto a punto óptico de alta velocidad especializado y/o realizar varias redes GPON sobre una única fibra de alimentación usando diferentes pares de longitudes de onda para diferentes GPONs. Muchas configuraciones se pueden concebir para aumentar la capacidad de red y la diversidad de topologías si se incluye la longitud de onda como un parámetro de diseño.

La mayoría está de acuerdo que las redes PON TDMA no pueden cubrir con los requerimientos de la evolución de redes con respecto al ancho de banda agregado y con presupuesto aceptable. El presupuesto de potencia limita tanto el radio splitting de la PON como también el alcance entre la OLT y las ONUs, además de que el uso de splitters permite tener varias pérdidas (por ejemplo, un splitter 1:32 inserta una pérdida >17 dB) limitando la longitud del enlace.

Estos tipos de problemas pueden ser mitigados con WDM multiplexación por división de longitud de onda, como se menciona en el Capítulo 2 en este caso las ONUs son asignadas una longitud de onda individual., además cada ONU opera en una tasa de bit individual en lugar de la tasa de bit general (WDM). De este modo cada ONU es independiente de las demás dando aspectos de privacidad y seguridad.

WDM PON pueden ser combinados con técnicas TDMA, en particular con las ya usadas por los estándares GPON y EPON. Esto permite mejorar la

escalabilidad permitiendo aumentar el radio splitting arriba de 1:1000. Usando técnicas WDM estándar, puede además soportar distancias en el rango de 100 Km.

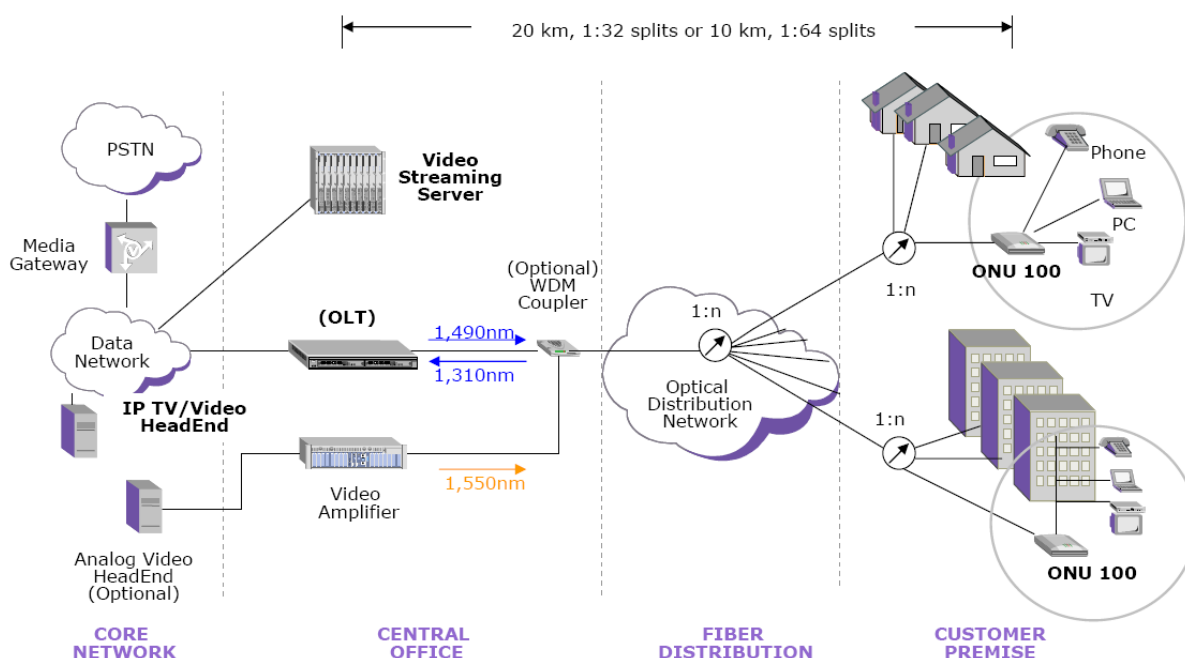


Figura 4.12 SISTEMA GPON CONVENCIONAL

4.2.1 ARQUITECTURAS WDM PON

Varias propuestas han sido realizadas en los últimos años, la mayor parte asumen DWDM (WDM denso). Las arquitecturas básicas se muestran en la Figura 4.13. Estos usan un láser de una serie de longitud de onda o láseres multifrecuencia (MFL). La arquitectura de la Figura 4.13a transmite todas las longitudes de onda en la dirección downstream a través de un splitter. Cada ONU selecciona una de las longitudes de onda usando un filtro individual y utiliza otra longitud de onda individual para upstream. Las longitudes de onda Upstream son combinadas pasivamente en el mismo splitter. Esta arquitectura se ve afectada por la pérdida del splitter pasivo o combinador. Además no se pueden usar ONUs idénticas.

En la figura 4.13b, se usa un AWG (arrayed waveguide grating), ruteador de longitud de onda en lugar del splitter pasivo, este esquema ofrece menores pérdidas de inserción (alrededor de 5 db independiente del número de lambdas).

No es necesario receptores selectivos simplificando así las ONUs. Sin embargo si es necesario diferentes transmisores en las ONUs. Una variante de las PON con ruteador de longitudes de onda es usar filtros AWG en cascada para una escalabilidad mejorada.

El uso de ONUs idénticas puede ser facilitado mediante el empleo de una sola longitud de onda para la dirección de upstream. Mediante el uso de ONUs idénticas se llega a simplificar la arquitectura y operación de la WDM PON. Para esto las señales difundidas en dirección upstream son espectralmente *sliced* (*divididas*). Este espectro dividido conlleva a la unificación de ONUs, pero a la vez sufre de un pobre presupuesto de potencia, además el ancho de banda en upstream es limitado. En la OLT se usan circuladores en lugar de splitters de banda (BS) permitiendo *operación bidireccional sobre una sola fibra* SFW (single fiber working).

Otro método para unificar las ONUs es a través del uso de moduladores ópticos de banda ancha como ejemplo los SOAS (semiconductor optical amplifiers) junto con láseres seeds. Un diagrama de bloque de combinación de SOAS con SFW se muestra en la figura 4.14, aquí las señales (seeds) del láser multifrecuencia MFL llegan al transmisor en las ONUs el cual es totalmente reflectivo, las seed signals son separadas por un simple WDM. Subsecuentemente llegan al RSOA (reflective SOAS); aquí la señal es amplificada y modulada a la salida para ser acoplada a una sola fibra. Alternativas de los RSOAS son los REAM (reflective electro-absorption modulators) o láseres IL-FP (injection locked Fabry Perot).

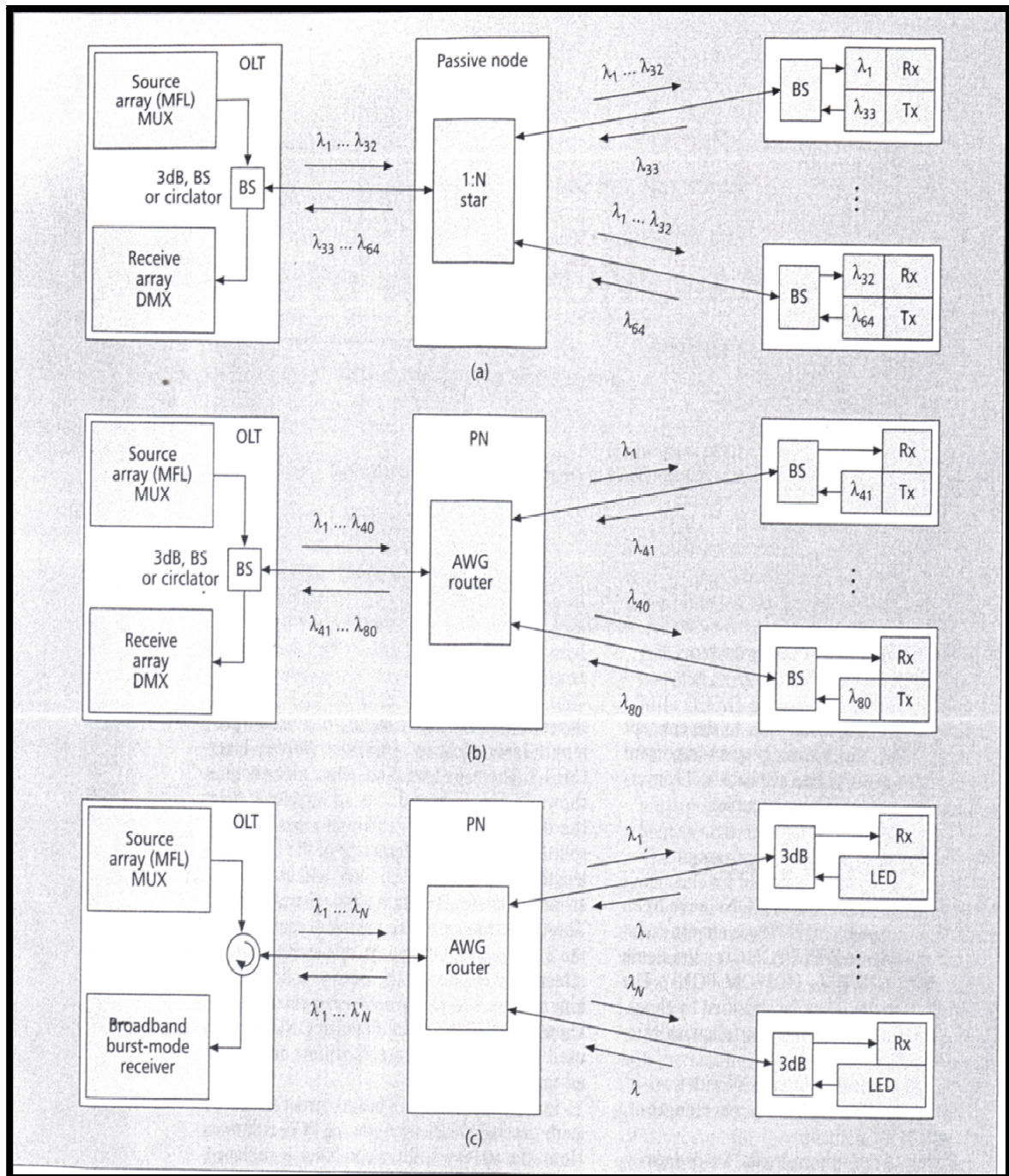


Figura. 4.13 Arquitecturas WDM PON a) WDM PON con difusión y selección con splitter/combinador en el nodo pasivo b) AWG basado en el ruteamiento de lambda PON (MFL: laser multifrecuencia; BS banda splitter); c) ruteamiento de lambda con división del espectro. FUENTE (IEEE Communications Magazine January 2008)