

Tema 4 – Redes PON

Preguntas...

¿Qué es una Red PON? ¿Dónde puede utilizarse? ¿Para qué servicios es útil?

¿En que se basa esta tecnología?

¿Cuáles son los elementos que conforman la red de acceso?

¿Qué arquitecturas de red se pueden lograr? ¿Cómo es su denominación?

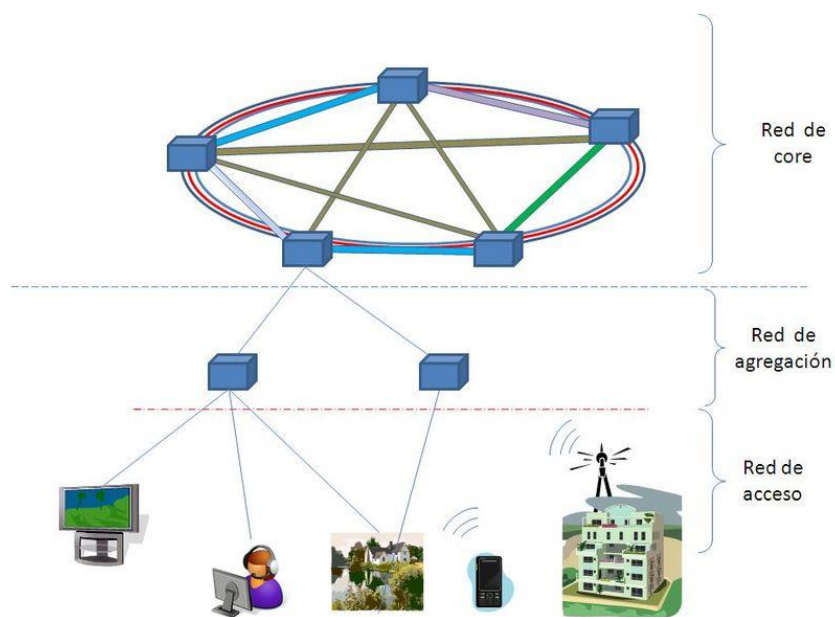
¿Qué estándares son los más comunes? ¿Cuáles son las tasas de transferencia de información que pueden alcanzarse?

¿Cuáles son los mecanismos que permiten transferencia de información tanto en sentido descendente como ascendente? ¿Cuál es más complejo? ¿Por qué?

¿Cuáles son las consideraciones de diseño en este tipo de redes? ¿Cómo se realizan los cálculos?

La estructura general de una red de telecomunicaciones moderna, se puede dividir en tres partes principales: red de núcleo, red de agrupación/metro y red de acceso. Las redes de acceso proveen conectividad al usuario final. Las **Redes Ópticas Pasivas** o Passive Optical Network (PON) pertenecen a los tipos de redes de acceso que llevan fibra óptica hasta el domicilio del usuario, incluyendo en esta categoría edificios, empresas, industrias, etc.

Entonces, queda bastante claro, que algunas de las redes de acceso en las tecnologías y topologías actuales, son de fibra óptica y no poseen elementos activos, por eso se las denomina PON. Pero... ¿Qué son las redes de núcleo y de agregación/metro? Las redes de núcleo son utilizadas para transporte de larga distancia, mientras que las redes de agregación/metro son aquellas que proporcionan una conectividad basada en políticas y controlan el límite entre las capas de acceso y de núcleo. Las estructuras de las redes de núcleo y de agregación/metro son más estables que las redes de acceso.

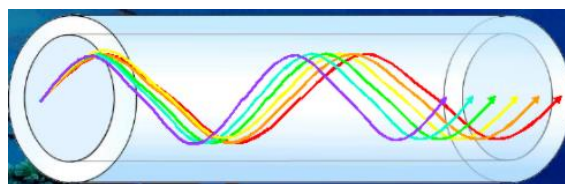


Entre las características más destacadas de las redes PON, podemos mencionar que el costo de los elementos activos presentes en los centros de distribución se comparte entre un conjunto de usuarios. En plantel exterior no existen elementos activos. El ancho de banda es compartido entre un conjunto de usuarios, como resultado de la topología en forma de árbol que presenta este tipo de redes. En el diseño del sistema óptico, se plantean diferentes longitudes de onda que utilizarán los láseres de los transmisores y receptores para transportar información de extremo a extremo. En el caso de **EPON**, pueden utilizarse dos sistemas:

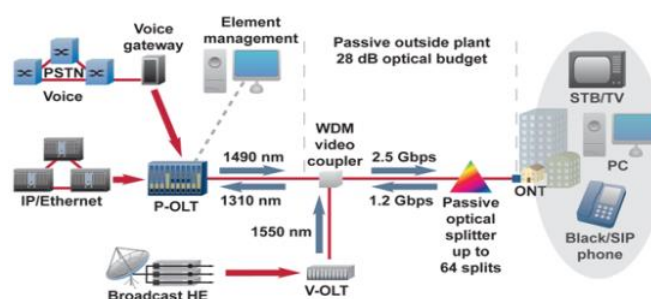
- **Dos longitudes de onda:**
 - 1490 nm en sentido downstream.
 - 1310 nm en sentido upstream.
 - Este sistema admite 1,25 Gbps direccional (ambos sentidos) a una distancia de 20 km y con 32 splits como máximo sin necesidad de amplificación.
- **Tres longitudes de onda:**
 - 1490 nm en sentido downstream.
 - 1310 nm en sentido upstream.
 - 1550 nm señales de video en RF (CATV) en sentido downstream.
 - Este sistema admite 1,25 Gbps direccional (ambos sentidos) a una distancia de 20 km y con 32 splits como máximo sin necesidad de amplificación.

Entonces ¿Qué es una red PON? Las Redes Ópticas Pasivas son redes de acceso con topología en forma de árbol que se encuentran conformadas en base a fibra óptica, donde el único dispositivo presente en plantel exterior además del propio medio de conducción es: splitters (divisores). Estos elementos son utilizados para dividir la fibra troncal (feeder) en diferentes ramas de distribución (drops) que conectan a los usuarios finales con la central de distribución (CO – Central Office). Este tipo de red utiliza una única fibra monomodo, para la transmisión y recepción de información, utilizando **WDM** (Multiplexado por división de longitudes de onda).

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM, del inglés Wavelength Division Multiplexing) es una tecnología que permite transmitir varias señales independientes sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED.



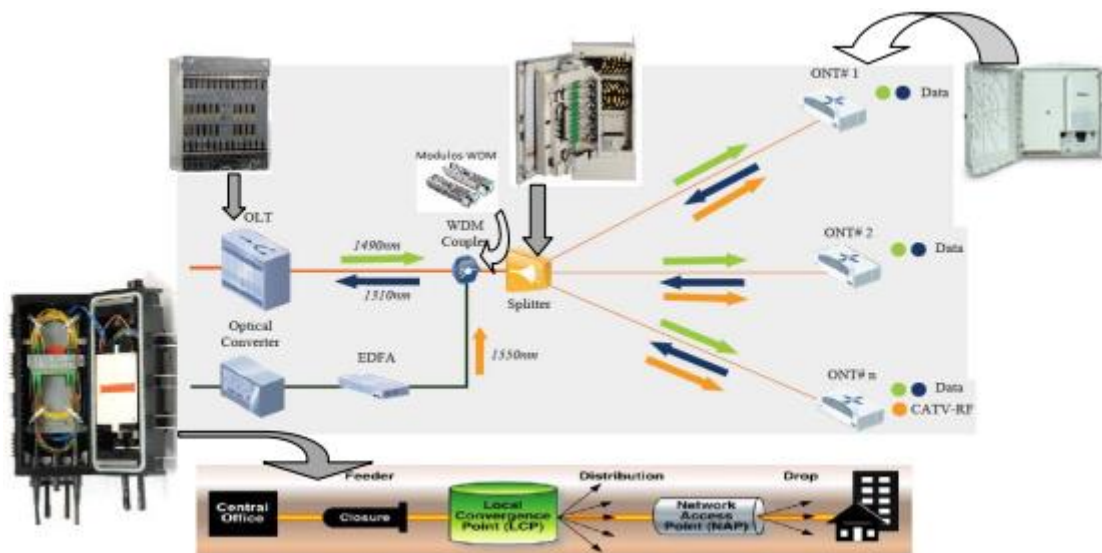
A continuación, se presenta la arquitectura básica de este tipo de redes, considerando solo la red de acceso y parte de la red de agregación/metro. **Es una imagen representativa**, no tomarse a pecho los valores.



Como se observa en la imagen, la central de distribución (CO) está conformada por dispositivos OLT (**O**ptical **L**ine **T**erminal) y módulos WDM. Una terminal de línea óptica (OLT), es un dispositivo que sirve como punto final del proveedor de servicios de una red óptica pasiva. Proporciona dos funciones principales:

- Para realizar la conversión entre las señales eléctricas utilizadas por el equipo del proveedor de servicios y las señales de fibra óptica utilizadas por la red óptica pasiva.
- Para coordinar la multiplexación entre los dispositivos de conversión en el otro extremo de esa red (ONT). Es decir, coordinar la transmisión y recepción de información con las ONT (Optical Network Terminal).

Los módulos WDM permiten multiplexar y combinar en una única fibra óptica de salida, múltiples señales ópticas (diferentes longitudes de onda) que provienen de distintas fibras. Básicamente, combina y multiplexa todas las señales que se hacen presentes en la entrada para generar una única salida.



Las redes PON, por lo general, suelen ser identificadas como redes FTTx. Este concepto, es reconocido por el mercado de las telecomunicaciones para hacer mención al grado de penetración de la fibra óptica en la red de acceso. De esta manera es posible distinguir:

- Fibra hasta el hogar (FTTH – **F**iber **T**o **T**he **H**ome)
- Fibra hasta el edificio (FTTB – **F**iber **T**o **T**he **B**uild)
- Fibra hasta el cordón (FTTC – **F**iber **T**o **T**he **C**urb)
- Fibra hasta el nodo (FTTN – **F**iber **T**o **T**he **N**ode)

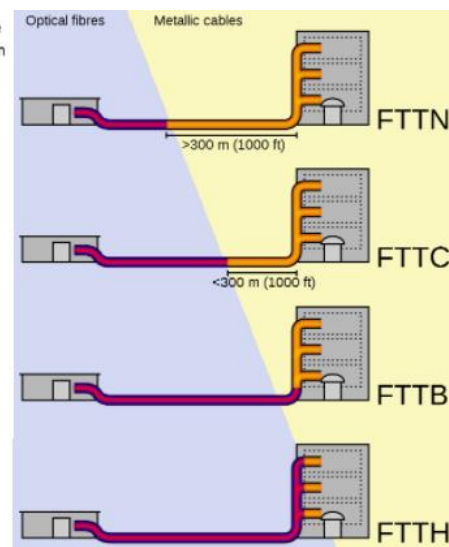
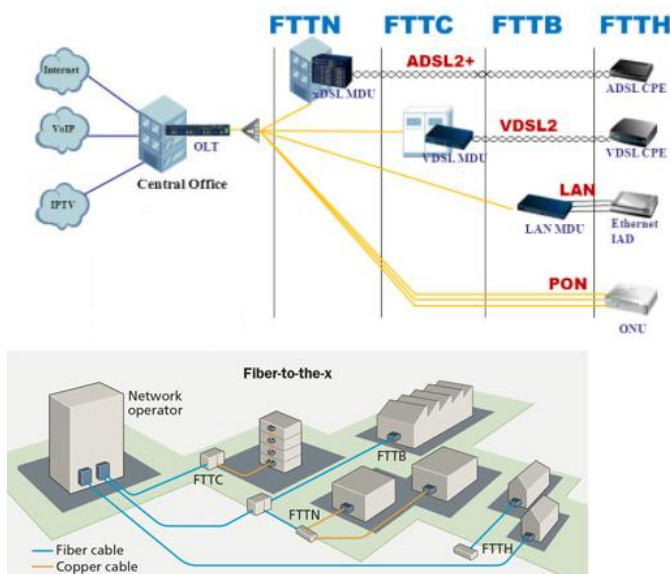
Las redes FTTH están completamente libres de par de cobre en la red de acceso, es decir, utilizan una red totalmente constituida de fibra óptica y permiten proporcionar tasas de transferencia de información que van desde los 30 Mbps hasta los 100 Mbps. Las limitantes en las tasas de transferencia de información están puramente relacionadas a las capacidades de los dispositivos transmisores y receptores, ya que la fibra óptica sería capaz de proporcionar velocidades aún mayores. **Las limitantes son los equipos de transmisión y recepción, no el medio de comunicación.**

Las redes FTTB pueden utilizar una arquitectura PTP (**P**oint **T**o **P**oint) en lugar de una arquitectura en forma de árbol, para entregar una fibra óptica dedicada a cada edificio dentro de la zona de

servicio. La fibra se termina en un dispositivo RT (**R**emote **T**erminal), que es un dispositivo activo que requiere alimentación y seguridad. Por lo general, se encuentra ubicado en el sótano del edificio. Si este último, se cablea con cable UTP a cada departamento, puede configurarse una red LAN Ethernet, con una velocidad de transferencia compartida de 100 Mbps. Pero, si en lugar de eso, se cablea toda la instalación (edificio) con par de cobre, puede aprovecharse dicha infraestructura para que el RT proporcione funcionalidades de DSLAM y que cada departamento tenga acceso a internet. Sin embargo, en la tecnología xDSL se logran tasas de transferencia de información de 50 Mbps (VDSL).

La red FTTC retira la fibra entre 100 y 300 metros del usuario, y desde un RT ubicado en un gabinete de calle o poste atenderá a entre 10 a 15 usuarios. La arquitectura FTTN es similar a la FTTC pero alejando más aún la fibra del usuario (hasta 1000 metros) y sirviendo desde un RT hasta 500 usuarios. Ambas utilizan la planta de cobre existente para conectar al usuario. El ancho de banda está limitado por la tecnología DSL y la longitud del cobre hasta el usuario.

FTTx es la descripción de los distintos accesos con fibra óptica del loop entre la central de telecomunicaciones hasta el usuario o CPE. Describe a través de las siglas la participación de la fibra óptica en el loop. Fiber to the x



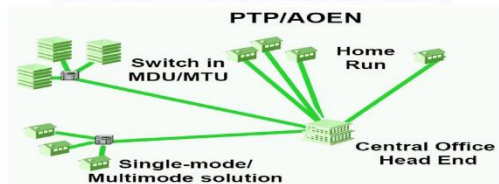
La tendencia actual de la tecnología es lograr “fibra hasta el hogar” (FTTH). Sin embargo, en aquellas zonas de servicio donde existen diferentes topologías de red basadas en tecnologías antiguas (par de cobre y cable coaxial), los cambios necesarios para constituir una red totalmente conformada de fibra óptica, suponen una inversión millonaria. Por lo tanto, las empresas de telecomunicaciones, van actualizando sus tecnologías de manera gradual, generando diferentes versiones de FTTx.

Todas las redes FTTH se diseñan inherentemente para entregar una fibra óptica a cada abonado. Básicamente, las redes FTTH contienen un Terminal de Línea Óptica (OLT), cables ópticos y Terminales de Red Ópticos (ONT). Se utilizarán varios otros componentes especializados para atender a la naturaleza única de la red de acceso.

El OLT se ubica típicamente en la CO (Oficina Central) pero puede también alojarse en un terminal remoto “RT” en el campo. El OLT aloja los transmisores láser dedicados a cada usuario (en una red PTP) o compartidos entre varios usuarios (en una red PON).

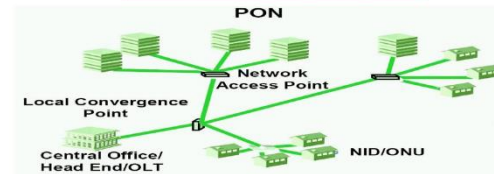
Los dos tipos de red de acceso totalmente óptica que pueden implementarse son redes punto a punto, en que cada usuario recibe en su ONT una fibra óptica proveniente desde la CO que no es compartida por otros usuarios, y las redes PON, en las que la fibra óptica proveniente del OLT es posteriormente dividida en numerosas fibras que llegan a distintos usuarios, los que comparten el uso de la fibra alimentadora.

FTTH – Configuración PTP / AOEN



- Una fibra dedicada para cada usuario en la red de acceso.
- Un transmisor láser en el transmisor dedicado para cada usuario.
- Es la configuración más simple dentro de la topología FTTH.
- Se la conoce también como AOEN (All-Optical Ethernet Network).
- NO se comparte la fibra óptica con otros usuarios y por ende tampoco Ancho de Banda.

FTTH – Configuración PON



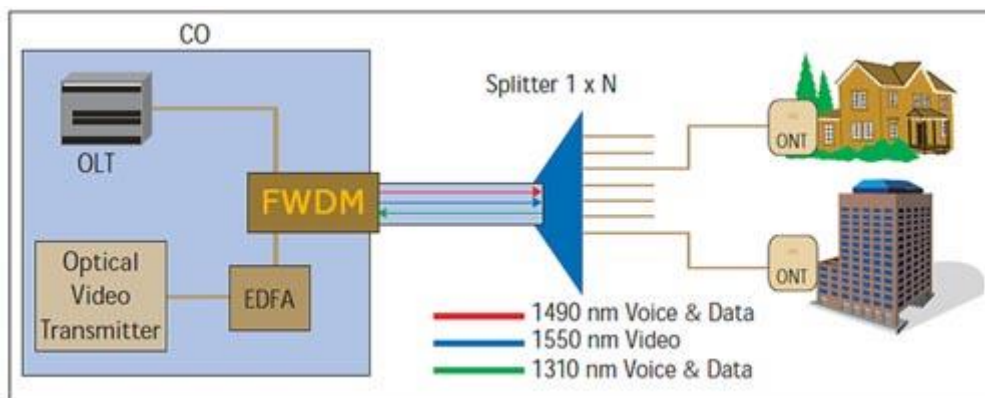
- Se hace "splitting" de la fibra óptica una o más veces en campo.
- La fibra óptica se comparte entre múltiples usuarios.
- Se utilizan splitters ópticos para "dividir" la fibra óptica de 1 a 32 veces.
- Mayores pérdidas ópticas.
- Menor alcance óptico que la configuración PTP.
- Alcance típico: 20Km desde el transmisor original.
- No se utilizan componentes activos en campo.

El OLT, independientemente de la arquitectura de la red de acceso implementada, se considera el punto en el cual, se incorpora la telefonía proveniente de la red pública (PSTN), Internet y otros datos a través de un router y señales de video en alguna de sus múltiples formas (TV analógica, TV Digital).

Para las redes PON, la fibra óptica transporta la señal al usuario y se divide en tres secciones: Cable alimentador "feeder" a partir del CO, cable de distribución, que se abre a través de la red de acceso y se conecta a los cables alimentadores, y cable de bajada "drop" utilizado para conectar físicamente a los usuarios a la red FTTH. Como medio de transmisión, el ancho de banda de la fibra está limitado únicamente por los transmisores del OLT y por lo tanto asegura el futuro de la red de acceso debido a su gran capacidad de ancho de banda.

El ONT recibe la señal del OLT y la convierte en señales electrónicas usables por los dispositivos conectados: teléfono, computadora, televisor, etc. También se encarga de enviar tráfico IP hacia el OLT de manera que se puedan desenvolver comunicaciones bidireccionales de voz y datos.

Además del OLT, cable óptico y ONT, la red PON incluye otros componentes especializados para atender las características de costo, confiabilidad y flexibilidad requeridas. El componente más importante es el divisor óptico "splitter". Dependiendo de la arquitectura elegida, los divisores pueden tener configuraciones 1x32, 1x16, 1x8, 1x4 ó 1x2 (potencia de dos) y pueden ubicarse prácticamente en cualquier lugar de la red de acceso.

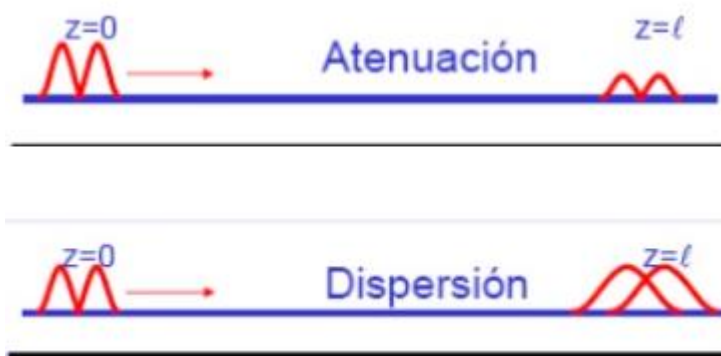


La agrupación de divisores se realiza generalmente en un gabinete llamado Punto de Convergencia Local "LCP". Aquí es donde se termina el cable alimentador y comienza el cable de distribución. (Desde aquí, cada cliente tendrá una fibra dedicada). El cable de distribución luego serpentea a través de las vecindades y edificios de la red de acceso. Cuando se aproxima a los usuarios, se utiliza un Punto de Acceso a la Red "NAP" para acceder a una pequeña cantidad de fibras del cable. Desde aquí, se utilizan cables de bajada "Drop" que contienen de una a cuatro fibras, para conectar la ONT del abonado.

Existen varias tecnologías y estándares para redes PON. A continuación se presenta una tabla que compara algunas características de los estándares: BPON , GPON y EPON.

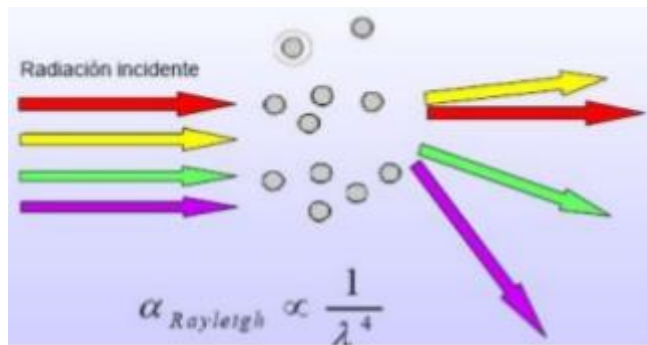
	BPON	GPON	EPON
Organización	ITU-T/FSAN	ITU-T/FSAN	IEEE EFM
Standard	G.983	G.984	IEEE 802.3
Downstream	1,25 Gbps	2,5 Gbps	1 Gbps
Upstream	622 Mbps	2,5 Gbps	1 Gbps
Max Split Ratio	1:32	1:128	1:32
Payload	ATM	ATM, TDM, GE	GE
Interfaz de Red	ATM, TDM, GE	ATM, TDM, GE	GE
Interfaz de Acceso	ATM, TDM, 10/100	ATM, TDM, 10/100	10/100
Distancia	20Kms	20Kms	20Kms

Respecto a la fibra óptica en sí, ¿Existen factores que perjudiquen la propagación de luz por fibra óptica? Si, existen varios. En el apunte se adjunta un cuadro enorme. Lo importante es saber que existen **factores lineales** (Atenuación y distorsión) y **factores no lineales** (como consecuencia de efectos de difusión y aquellos relacionados a la dependencia del índice de refracción con la intensidad de campo).



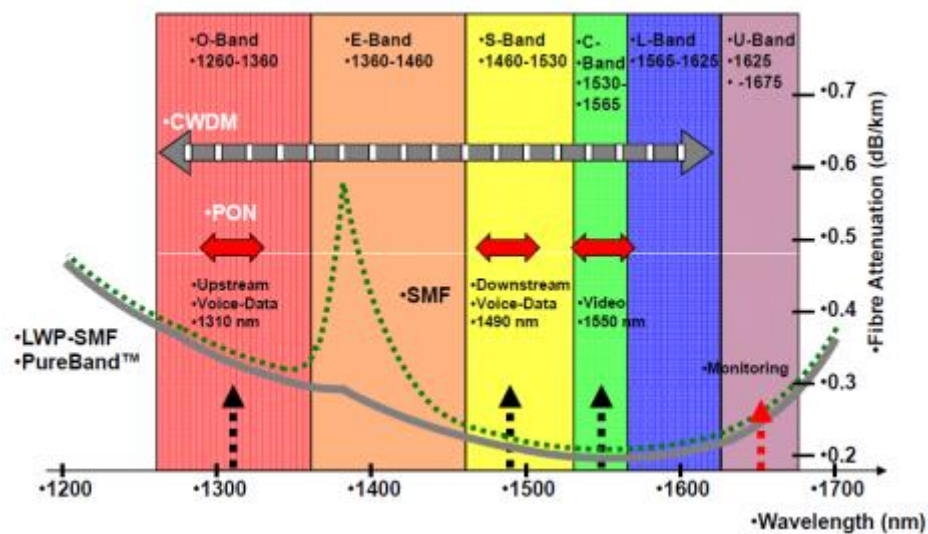
Adjunto un enlace para poder entender un poco más gráficamente que ocurre con dichos fenómenos. <https://www.slideshare.net/crsimoni/introduccion-a-las-fibras-opticas>

Las ondas cortas son difundidas más que las ondas largas. Emisiones con longitudes de onda menores a 800nm son inutilizables para comunicaciones ópticas debido a que la atenuación por difusión de Rayleigh es muy alta.



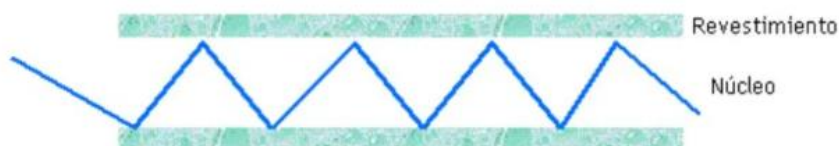
Difusión

Por otro lado, la propagación por encima de 1700nm no es posible debido a las altas pérdidas resultado de la absorción infrarroja por parte de la estructura de silicio policristalino que compone la fibra óptica.

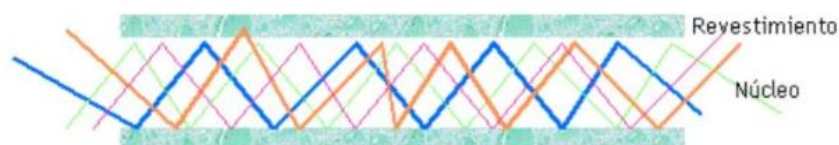


Existen dos tipos de fibra óptica de acuerdo a la propagación de la luz. Monomodo y Multimodo. La dinámica detrás de la fibra óptica es que la fibra actúa como una guía de onda donde la luz pasa a través de una ruta. Si la luz viaja sola en una ruta de fibra, la fibra utilizada es una fibra óptica monomodo. En cambio, si las ondas de luz se dispersan en numerosos caminos, o modos, a medida que viajan a través de la fibra, la fibra utilizada se denomina fibra óptica multimodo.

Fibra monomodo (single mode)

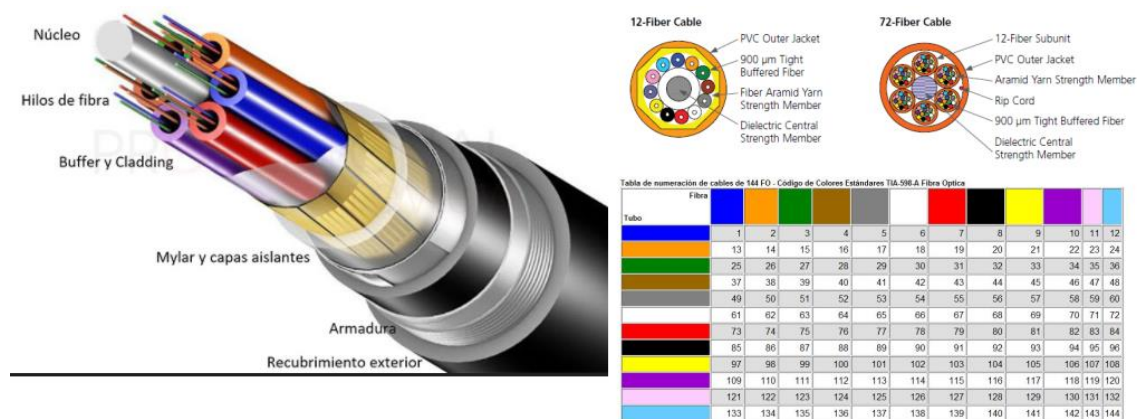


Fibra multimodo (multimode)

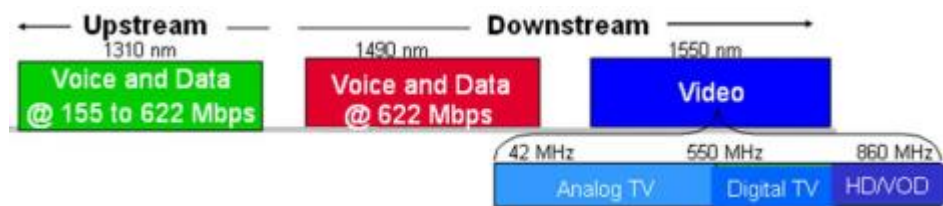


La fibra monomodo lleva mayor ancho de banda que la fibra multimodo, pero requiere una fuente de luz con un ancho espectral estrecho. Además, permite una velocidad de transmisión más alta y hasta 50 veces más distancia que la multimodo. ¿Esto significa que la fibra multimodo no sirve para nada? No. Es más utilizada en comunicaciones por fibra óptica para distancias menores a los 2 km y con longitudes de onda que van desde los 850 nm a los 1310 nm. Las fibras multimodo poseen mucha dispersión para distancias más grande a los 2 km, lo que las constituyen como una tecnología re mala para comunicaciones a larga distancia. Lo que ocurre es que cada uno de los rayos recorre distancias diferentes en la fibra óptica, haciendo que llegue atrasado uno respecto al otro y desfasado.

Esta más que claro que en las redes PON utilizamos fibra óptica monomodo. Existen diferentes tipos de fibra monomodo: STD (la más popular en redes de telecomunicaciones), DS, NZ-DS.



Respecto al ancho de banda y servicios, el método de multiplexado por división de longitudes de onda permite separar los flujos ascendentes y descendentes utilizando diferentes longitudes de onda. Para facilitar el control, se utiliza un esquema amplio con dos longitudes de onda en 1300/1500 nm para separar las señales ascendentes y descendentes. La ventana de cada color es suficientemente grande para no requerir controles de temperatura a fin de estabilizar las frecuencias de los láseres.



Para bajar el costo total del sistema, es importante emplear ópticas de bajo costo. Los láser FP son fáciles de fabricar y tienen buena potencia de salida y confiabilidad. Sin embargo, debido a la repetición de frecuencias por la cavidad resonante, su espectro de emisión es muy ancho. En fibras dispersivas esto aumenta la interferencia intersímbolo, limitando las distancias alcanzables. Como las fibras SMF tienen su punto de "cero dispersión" cerca de 1300 nm, se minimizan éstos efectos. Por lo tanto, debido a su bajo costo se opta por láseres FP a 1300 nm para las transmisiones desde las ONT hasta el OLT, mientras que en la OLT se utilizan láseres DFB a 1500 nm pues su costo queda distribuido entre las múltiples ONT.

Cuando hablamos de múltiples ONT surge un pequeño problema. Debido a las diferentes distancias entre la OLT y las distintas ONT, la atenuación de las señales ópticas ascendentes no será la misma para cada ONT. Los niveles de potencia recibidos en la OLT podrán ser diferentes

en cada intervalo de tiempo. Entonces, para poder recibir señales correctamente, independientemente si son de un nivel alto o bajo, el OLT deberá ajustar sus umbrales al comienzo de cada intervalo de tiempo mediante un control automático de ganancia (AGC).

Se llama a este modo de recepción de intervalos con diferentes niveles de potencia "burst mode reception". Además del CAG, los receptores del OLT deberán enganchar la fase y la frecuencia de la señal recibida en cada intervalo, procedimiento llamado "clock and data recovery (CDR)".

Se requiere que los receptores del OLT tengan un muy buen comportamiento de AGC y CDR a altas velocidades.

El modo burst se requiere únicamente en el OLT. Las ONT reciben un flujo continuo de bits (Datos o relleno) desde el OLT y no requieren ajustar sus niveles de ganancia. Sin embargo, en una red PON TDMA no es suficiente con que la ONT no transmita datos cuando no corresponde a su intervalo de tiempo. El problema es que aún en ausencia de datos, los láseres generan emisión espontánea de ruido. En esta situación, si consideramos el ruido generado por varias ONT cercanas a la OLT, podrán oscurecer la señal proveniente de una ONT lejana (Efecto captura). Para solucionar esto, las ONT deberán apagar completamente sus láseres en los tiempos en que no transmiten, operación conocida como "burst mode transmission".

Como los láseres se enfrían cuando se apagan y deben calentar para transmitir, la potencia de transmisión podrá fluctuar al inicio de cada transmisión, por lo que se requieren láser especiales que se estabilicen rápidamente cuando se encienden en cada ciclo de transmisión.

Una de las partes más importantes de las redes PON constituye el método de acceso utilizado para el enlace upstream. Las redes PON en función de su topología de red (forma de árbol), comparten los diferentes puertos de la OLT entre múltiples ONT. En este escenario es necesario definir alguna metodología para que múltiples usuarios puedan compartir la fibra óptica troncal. Uno de los métodos posibles es TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo), donde cada ONT que forma parte del sistema tiene asignada una fracción de tiempo, definida como Time Slot, en la cual puede transmitir datos hacia la OLT.

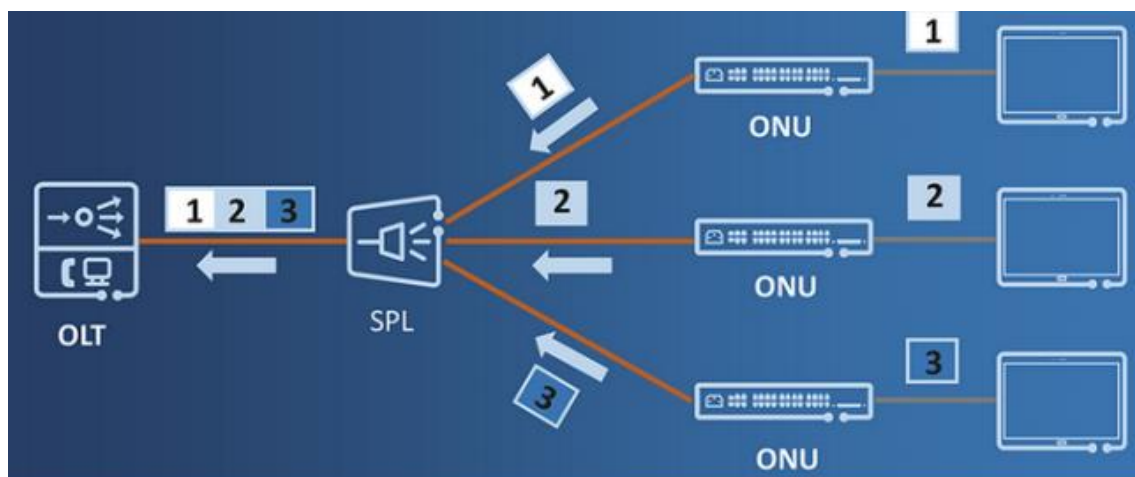


Figura 6: Enlace ascendente de la red GPON

No hay que perder de vista que, este método de acceso, se utiliza en el enlace uplink, ya que en downlink es un medio compartido, cada ONT recibe todo el volumen de tráfico, pero filtra si los datos no son para ella.

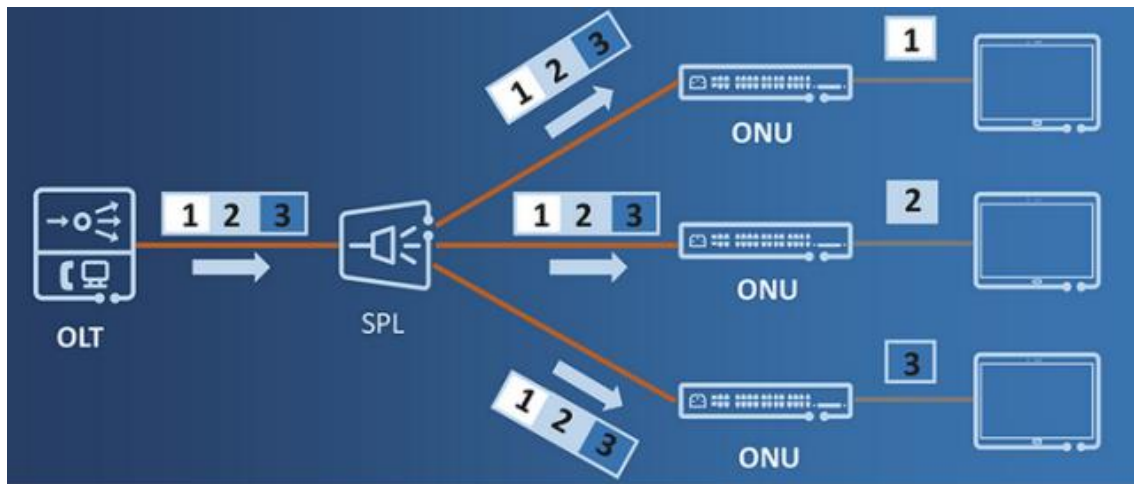
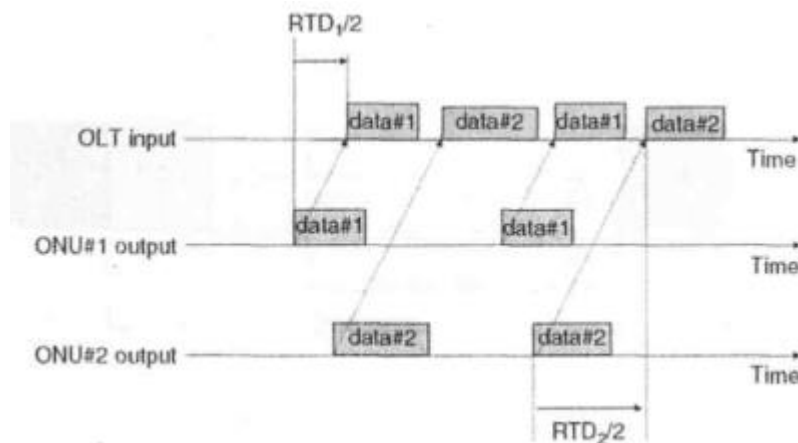


Figura 5: Enlace descendente de la red GPON

Todo muy lindo... pero, no hay que perder de vista que las distancias de las diferentes ONT a la OLT son diferentes. Detalle importante. ¿Por qué? Porque si las distancias son distintas, los retardos de propagación también, entonces asignar un tiempo específico a una ONT para que pueda transmitir resulta una tarea compleja. Más porque dicha fracción de tiempo es en referencia a la OLT, esto significa que las ONT deberán transmitir antes de su fracción de tiempo asignada, para que los datos lleguen en el momento correspondiente.



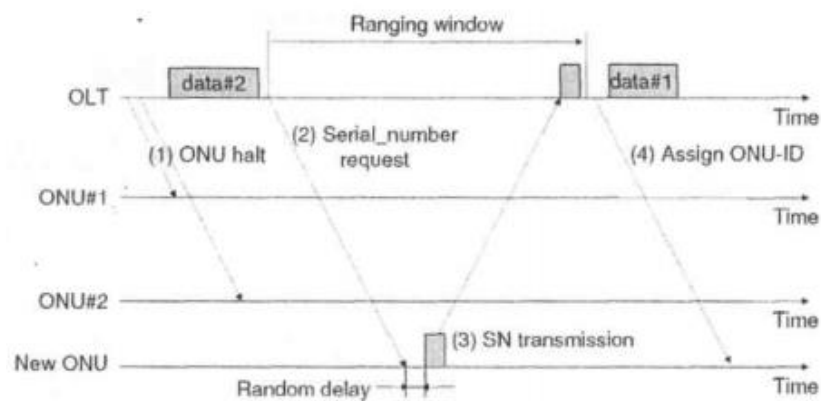
Cada ONT al conocer el retardo de propagación de ida y vuelta, conocido como *Round Trip Delay – RTD*, comienza a realizar la transmisión $RTD/2$ instantes antes. Pero... ¿Cómo se determina dicho valor? ¿Cómo calculamos el RTD? Existe un mecanismo denominado como **Ranging**.

Cuando una nueva ONT se conecta al sistema, en primer lugar, se deberá medir el RTD. Cada tecnología (APON, GPON, EPON) tiene un método específico de lograrlo, pero genéricamente lo que sucede es que el OLT periódicamente habilita una ventana de configuración para la medición de retardos, en la cual no se produce transmisión de datos de usuario.

Mediante un comando específico, interrogará a las ONT que aún no estén registradas, las que identificarán el comando y enviarán una etiqueta de tiempo (TimeStamp) mediante la cual el OLT podrá calcular posteriormente el RTD a esa ONT en particular. Una vez reconocido el RTD de una ONT, el OLT enviará un comando direccionado específicamente a dicha ONT indicando

que completó el proceso y asignando un intervalo de tiempo específico para la transmisión de datos ascendentes. Entonces, lo que ocurre dentro de un ventana de ranging es:

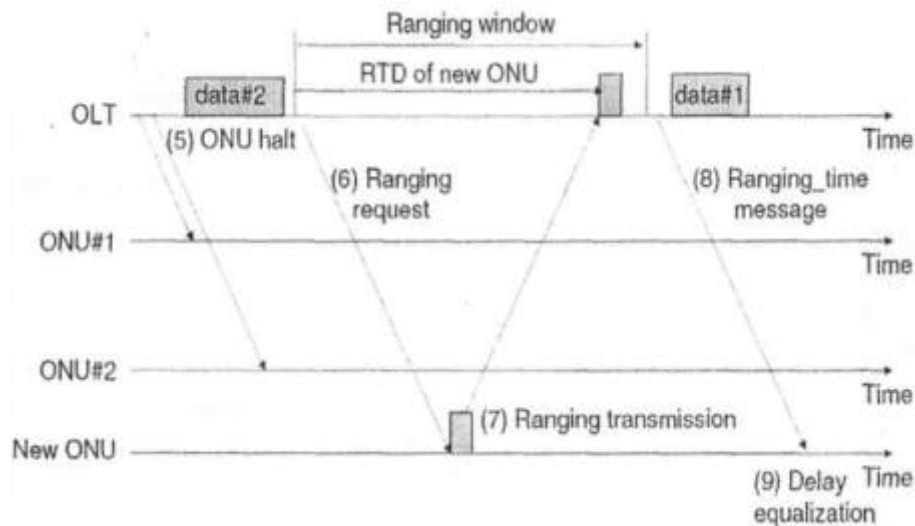
- 1- Se habilita un periodo de tiempo definido como ranging para realizar tareas de control (medición de RTD) y asignación de nuevas ONT.
- 2- La OLT manda un comando específico para que las ONT nuevas, sin identificación, puedan registrarse.
- 3- Las ONT al reconocer el comando, responden con un TimeStamp y espera una próxima respuesta por parte de la OLT.
- 4- La OLT captura la respuesta de la ONT (TimeStamp) y responde con un ONU-ID, le asigna una identificación.



La imagen muestra que la OLT en el ranging Windows envía un comando de **Serial_number request** que las nuevas ONT sin registrar son capaces de interpretar. Posteriormente, ellas responden con su **Serial Number**. Luego, esperan la asignación de un identificador.

Si la ONT no recibe este reconocimiento, puede suceder que varias ONT estén intentando registrarse al mismo tiempo, por lo que, si la OLT habilita la siguiente ventana de ranging sin haber confirmado las ONT de la ventana anterior, cada ONT esperará un tiempo aleatorio para enviar su TimeStamp, de manera de no colisionar con las transmisiones de las otras ONT.

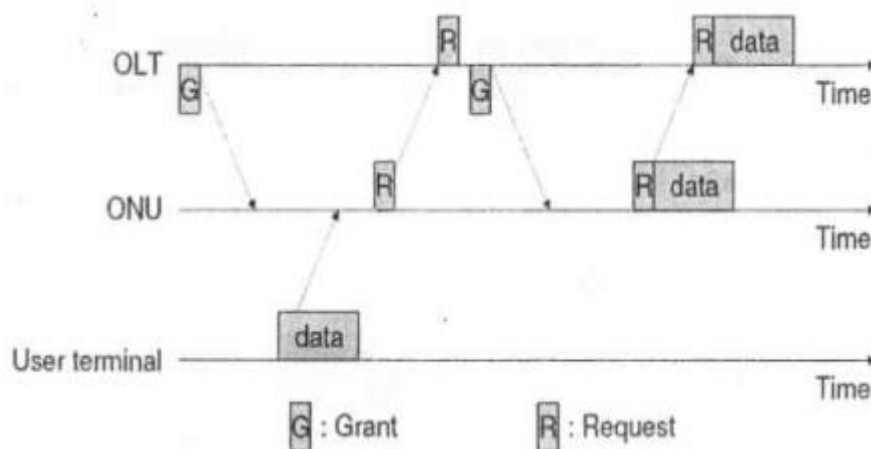
Una vez identificadas cada una de las ONT, la OLT en posteriores ranging Windows envía mensajes particulares a cada una de ellas para lograr medir el RTD. El procedimiento es simple, le envía una solicitud de ranging a una ONT en particular y lanza un timer. Una vez que la OLT obtiene la respuesta de la ONT, frena el timer y envía dicha información a la ONT en particular. ¿Por qué hace esto? Porque el tiempo que tarda en recibir la respuesta de la ONT, es el tiempo de ida más el tiempo de vuelta, con pequeñas distorsiones (algunos retardos extras en el procesamiento de la ONT, pero se suponen que son muy pequeños).



Es necesario aclarar que el tamaño de la ventana de tiempo definida como ranging Windows dependerá de la cantidad máxima de ONT que queden por registrar, la distancia máxima que se espera utilizar en el sistema y los parámetros ópticos de la fibra que influyen en el retardo de las señales ópticas.

Cuando se asignan los "TimeSlot" a cada ONT, no solo se incluye una fracción de tiempo para la transmisión de información útil desde ONT a OLT, sino que también se agregan tiempos de guarda para evitar problemas por posibles errores en el cálculo del RTD, tiempos de adaptación del receptor del OLT (procesos de AGC – *Automatic Gain Control* y CDR – *Clock and Data Recovery*), tiempos de ON/OFF del transmisor de la ONT.

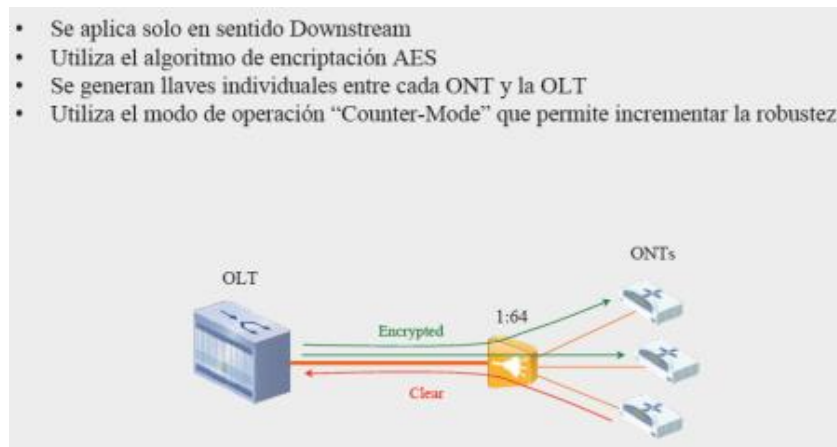
Las maneras de realizar asignación de "TimeSlot" nos habla de alguna manera de los métodos de asignación de ancho de banda. Pueden ser fijos (*Fixed Bandwidth Allocation*), donde el OLT asigna un intervalo de tiempo fijo y determinístico a cada ONT, independientemente que tenga datos a transmitir o no. El otro conjunto de métodos asignará ventanas de tamaño variable a pedido de las ONT y en función del tráfico general de la red en su conjunto, utilizando algún algoritmo de asignación. El conjunto de los métodos dinámicos se conoce como *Dinamic Bandwidth Allocation*.



Como se puede apreciar en la imagen presentada anteriormente, el terminal usuario (PC, móvil, etc.) detrás de un ONT, envía información "data" a la ONT en cualquier caso que lo necesite. La ONT en esta situación, bufferea todos los paquetes y realiza una solicitud de servicio hacia la

OLT indicando el volumen de tráfico a transmitir. Luego, espera una asignación dinámica para transmitir la información. **Es solo un ejemplo.**

Respecto a la seguridad del tráfico, El canal ascendente en PON es relativamente seguro. Dada la direccionalidad del combinador pasivo, el tráfico ascendente es visible sólo en el OLT. Si bien pueden ocurrir reflexiones en el combinador, enviando una pequeña parte de la potencia ascendente hacia las ONT, como están en otra longitud de onda debería utilizarse una ONT especial con un receptor sintonizado en dicha longitud de onda. El problema está en el enlace descendente donde todas las ONT reciben el tráfico de todas, ya que es un medio compartido. Pero se soluciona encriptando las comunicaciones en sentido descendente.

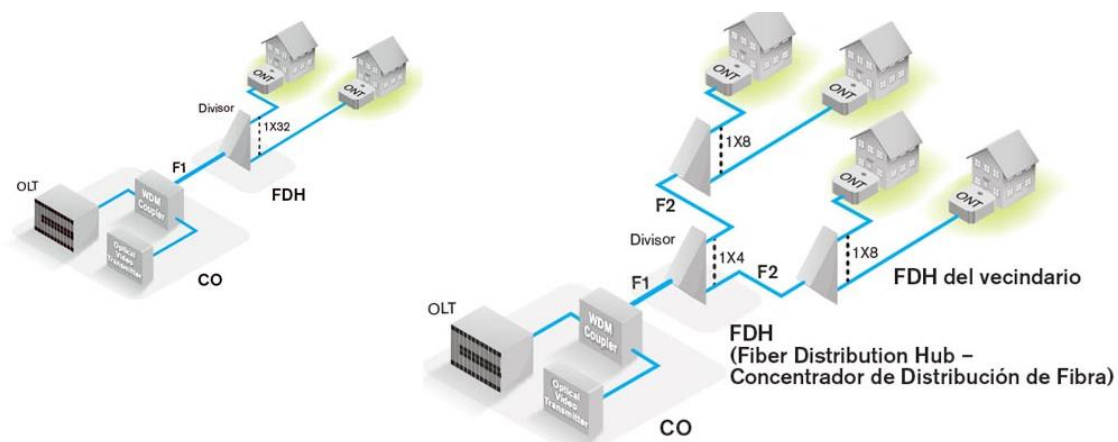


¿Qué topologías de red existen para redes PON? ¿Conviene tener un solo nivel de splitteo o dos niveles?

A nivel general, existen dos arquitecturas de redes posibles dentro de la tecnología PON. Arquitectura de red Centralizada y Arquitectura de red Distribuida. La arquitectura de red centralizada implementa un único nivel de splitteo, es decir, una única instancia dentro del plantel exterior donde se encuentran los divisores agrupados bajo un único gabinete (LCP). Entonces, desde la OLT se despliega una red FEEDER que ilumina los SPLITTER alojados en las LCP. Desde el LCP se despliega la red de distribución que ilumina a cada NAP, y finalmente, a través de la red de dispersión, se comunican las NAP con la ONT de cada usuario.

En la arquitectura de red distribuida, Se implementa dos niveles de splitter. La central (OLT) se conecta al primer nivel de splitter y posteriormente se coloca un segundo nivel en cascada, a los cuales los clientes se conectan. De esta forma, cada hilo conectado al OLT permite servir $m \times n$ usuarios.

¿Qué arquitectura es mejor? Cada una tiene lo suyo. Una arquitectura centralizada generalmente ofrece una mayor flexibilidad, menores costos operativos y un acceso más fácil para los técnicos. Por lo general, la solución de división centralizada se utiliza en el centro de la ciudad o en las áreas de la ciudad, con el fin de reducir los costos y facilitar el mantenimiento de los nodos de red óptica distribuida (ODN). Por otro lado, la solución de división en cascada de dos niveles y niveles múltiples, se utiliza en lugares de aceras o pueblos, para cubrir nodos ampliamente ODN, conservar recursos y ahorrar dinero.



Existe un concepto interesante para la arquitectura de red centralizada, en función de donde está ubicada la etapa de divisores. Si se encuentra instalada en la oficina central, la arquitectura se denomina *Home and Run* y si se encuentra instalada en un gabinete LCP dentro de plantel exterior se denomina *convergencia local*.

En la arquitectura Home Run, cada hogar pasado tiene una fibra óptica dedicada tendida desde el CO. Los divisores se ubican en el CO y las conexiones a la electrónica para cada abonado se realizan 'allí'. Los beneficios son que cada abonado puede ser administrado desde una locación única, y ofrece el mayor potencial de ancho de banda y prueba a futuro de todas las redes. Sin embargo, dada la cantidad de fibra requerida, tiende a ser el más caro, principalmente en términos de costos iniciales de instalación. Por tales razones, la arquitectura de Home Run está limitada a redes muy pequeñas o únicamente para el área alrededor del CO.

En la arquitectura de Convergencia Local, cada hogar tiene una fibra dedicada hasta una locación común en la vecindad, el Punto de Convergencia Local (LCP), donde se ubican todos los divisores ópticos para el área servida por ese LCP. Según sea requerido por la tasa de adopción (take rate) del LCP, se administrarán las conexiones de usuarios y se agregarán divisores en el LCP.

Este modelo posee la mayoría de los beneficios técnicos del modelo home run pero es mucho más eficiente en la alimentación, justamente la parte más larga de la red. Esta es la arquitectura más popular utilizada en la actualidad.

En la arquitectura de División distribuida, existen al menos dos niveles de división en la red. Comúnmente, el primer nivel de división ocurre en el LCP, y la segunda división se realiza en el terminal en frente de las casas de los abonados, desde donde se conectan los cables de bajada. Por ejemplo, un divisor de 1x8 en el LCP puede atender terminales cada uno con divisores de 1x4, proveyendo una tasa efectiva de división de 1x32.

Esta arquitectura se desarrolló originalmente para minimizar la cantidad de fibra requerida para pasar y conectar los hogares. Puede ser muy beneficiosa en aplicaciones de baja densidad, que deben estar demasiado espaciadas para permitir instalar fácilmente un LCP y requerirían una gran cantidad de cables en distancias relativamente grandes en el segmento de bajada (drop). Se deben tomar consideraciones en dos aspectos de la arquitectura de distribución distribuida. En primer lugar, se debe tener cuidado de reducir la cantidad de fibras a un punto que pueda atender contra necesidades futuras. En segundo lugar, debido a que la división se realiza en más de una locación para un abonado determinado, futuros cambios en la tasa de división o querer cambiar de división de potencias a división de longitudes de onda pueden ser más complejos de

realizar comparados con el modelo LCP donde la división completa (1x32) se realiza un sitio único.

Arquitectura	Beneficios	Precauciones	Donde usarla
Home Run	El mayor potencial de ancho de banda El mejor nivel de escala de divisores y electrónica	La mayor cuenta de fibras El mayor costo de mano de obra de instalación El mayor uso de espacio en el CO	Redes muy pequeñas o cercanas al CO
Convergencia Local	Baja cuenta de fibras alimentadoras Un punto de administración por área Excelente nivel de escala de divisores y electrónica	Se debe intervenir en el LCP para conectar al usuario	Cualquier área de media o alta densidad
División distribuida	Baja cuenta de fibras de distribución puede disminuir costos	La flexibilidad futura es dependiente del diseño Potencialmente más divisores y electrónica inicialmente	Áreas de muy baja densidad (rurales)

El reto principal de las nuevas redes de acceso, comienza por el despliegue de la fibra óptica, debido a que no hay elementos activos que reconstruyen y amplifican la señal, se deben considerar las pérdidas de la potencia óptica desde el diseño de la red de alimentación. Para llevar a cabo el despliegue de una red PON se debe tener en consideración varios parámetros, debido a que se debe garantizar la potencia mínima de recepción de las ONT, esta se encuentra bajo el parámetro sensibilidad mínima.

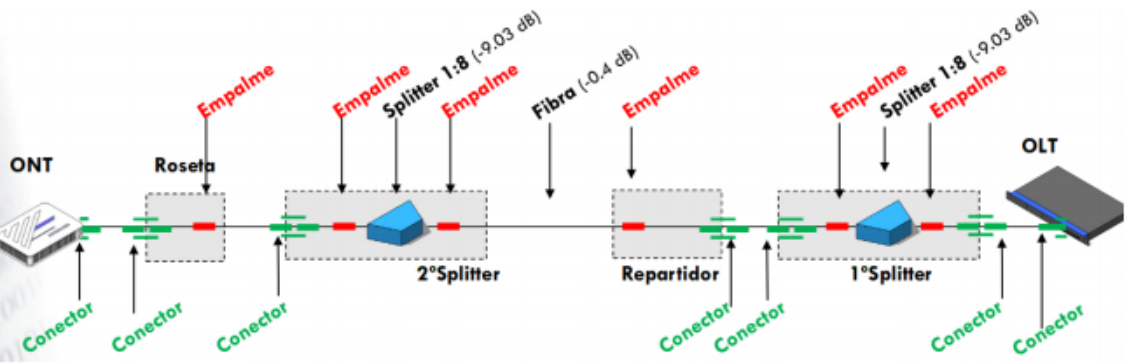
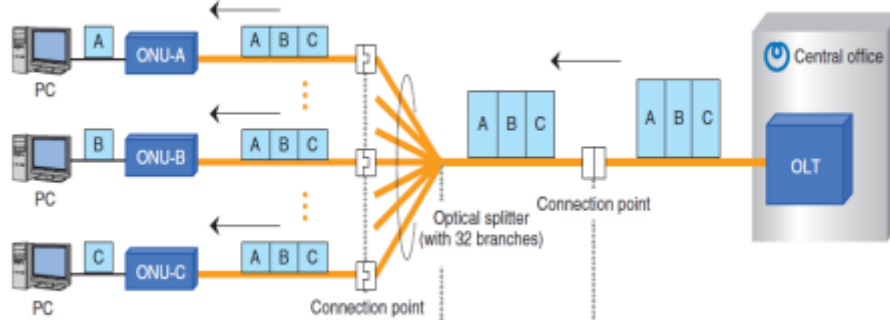


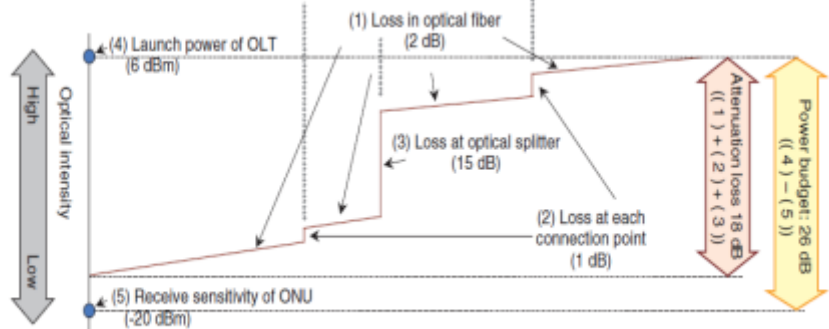
Figura 12: Tipos de atenuaciones en la red de distribución [23]

Se debe elaborar un **presupuesto óptico**. En él incluir todos los componentes activos y pasivos, ya sea atenuaciones debido a fibra, empalmes y conectores, así como también en función del ancho de banda requerido se deberá calcular la dispersión total y sus distintos componentes para compensarla. De esta manera, se deberá agregar al presupuesto óptico las perdidas introducidas por dichos componentes para compensar distorsión.

Schematic of access network



Relation between optical power budget and optical attenuation loss



PC: personal computer

* Note: Illustrated power budget and loss values are only examples.