

CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA AL HOGAR (FTTH)

Marcelo Abreu¹; Aldo Castagna; Pablo Cristiani; Pedro Zunino;
Enrique Roldós; Gustavo Sandler

Resumen.- De un tiempo a esta parte se evidencia una creciente demanda en el ancho de banda de los accesos a Internet desde abonados residenciales. Si bien las respuestas basadas en servicios móviles han crecido en gran forma (y se espera que con el advenimiento de LTE aumente aún más), más de un 90% de los accesos a Internet se basan en tecnologías cableadas, principalmente soluciones xDSL y DOCSIS. Estas dos tecnologías presentan un límite práctico alcanzable en un horizonte a mediano plazo. Por ello, en mercados muy avanzados tecnológicamente (Japón, Corea, etc.) se está instalando en forma masiva soluciones de fibra al hogar (FTTH)

Este artículo describe a alto nivel las características más resaltables de una red FTTH, pensada para brindar servicio masivo de conectividad con un gran ancho de banda.

Palabras clave: Redes de Planta Externa, Redes Ópticas Pasivas, FTTx, GEPON

Preliminares

A fin de posibilitar el acceso a servicios de gran ancho de banda a usuarios localizados a distancias tales que no es posible brindarlos con tecnologías xDSL por sus limitaciones técnicas en cuantos a sus condiciones de funcionamiento, o que para ello se deben acercar los nodos xDSL a la zona a servir (es decir un modelo FTTC), en este caso se tornan atractivas las tecnologías de acceso mediante fibra óptica hasta el domicilio del cliente, es decir FTTH.

En este sentido existen diversas tecnologías disponibles y topologías implementables a fin de realizar un despliegue de acceso mediante fibra hasta el hogar. Estas tecnologías pueden clasificarse en primera instancia en dos grandes grupos:

- *Redes Activas:* red de fibra óptica con elementos activos en ella (fuera de la central), como en el caso de SDH-NG, o una red Metro Ethernet suficientemente distribuidas de modo que se pueda conectar directamente los clientes a la red. En ese caso estas redes cumplirían la función de red de acceso y no únicamente de transporte como es actualmente.
- *Redes Pasivas:* son redes de fibra óptica cuyos componentes son enteramente pasivos en la red de distribución (no en la central y domicilio del cliente). Estas se denominan PON (Passive Optical Network). Permiten compartir una misma fibra entre varios usuarios

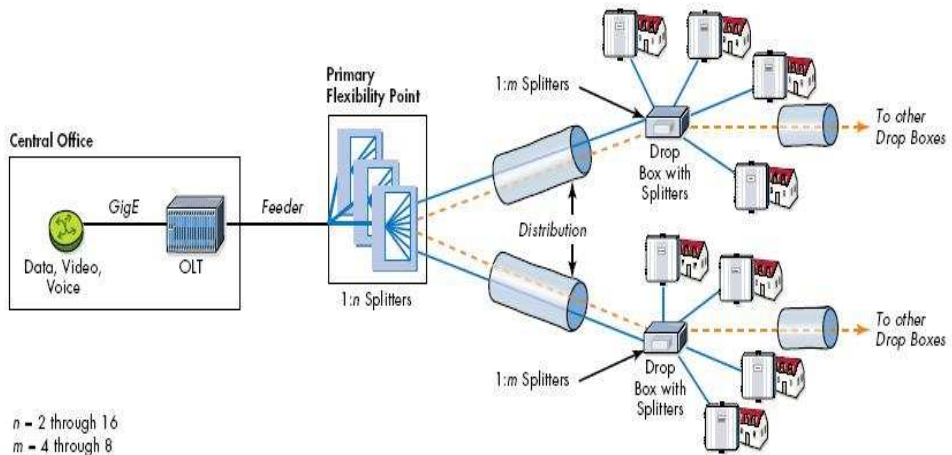
El presente documento se centra en el análisis de una red pasiva PON, en particular con tecnología GEPON según se describe luego.

Las redes PON típicas están conformadas por:

¹ Ing. Tel. Marcelo Abreu – Profesor de Sistemas lineales; Universidad de Montevideo-mabreu@antel.com.uy. Se agradece la colaboración del Ing. Aldo Castagna en la elaboración del presente artículo.

- Un Terminal de Línea Óptico (Optical Line Terminal) **OLT** ubicado en la central,
- Varios elementos pasivos de ramificación óptica, denominados **Splitter**
- Varios Terminales de Red Ópticos (Optical Network Terminals) **ONTs** también denominados ONU (Optical Network Unit), los que se encuentran en la casa del usuario y presentan las interfaces hacia los dispositivos que con los cuales se hace uso del servicio.

En el siguiente diagrama se esquematiza una posible arquitectura de una red PON genérica.



Se puede observar que en la central se ubica un equipo OLT. Desde éste salen cables de fibra, cada uno de dichos cables es capaz de transportar el tráfico de hasta 64 abonados y corresponde a un puerto PON en el equipo de la central. Estas fibras pueden tener una o varias etapas de splitters. En este diagrama se ejemplifica el caso de una red con dos niveles de splitters, donde la primera etapa presenta una relación 1:n; luego desde allí salen n fibras por cada fibra “primaria” o Feeder. Desde allí se tiene una etapa de cableado denominada Distribución, la cual finaliza en un segundo splitter, el cual realiza la segunda etapa de splitter y en general oficia también de Drop Box, es decir, desde allí se sale con los cables de acometida de fibra directamente hacia el cliente. Típicamente esta etapa de cableado se realiza con tendido aéreo.

Los terminales de abonado u ONUs son los encargados de dialogar con el equipo PON de la central terminando dicho enlace, y ofreciendo hacia el usuario generalmente una interfaz Ethernet para los servicios de datos mediante un conector RJ45 para cable UTP (en algún caso presentan puertos USB además) y una interfaz telefónica con conector RJ11. La interfaz telefónica mencionada es brindada gracias a la funcionalidad de gateway de VoIP (o IAD) embebida en el propio equipo ONU. Para ello la ONU soporta el protocolo SIP y en algún caso H.248 para dialogar con la red NGN.

Las señales ópticas son transmitidas por las OLT usando una longitud de onda de 1.490 nm y por las ONTs usando 1.310 nm, es decir el canal en sentido Downlink utiliza la primer longitud de onda indicada y el de Uplink la segunda. Es posible además inyectar una señal de video RF digitalizándolo y transmitiéndolo en el canal de downlink en la longitud de onda de 1550nm.

Tecnologías PON

Las redes PON cuentan con una variada gama de protocolos y estándares. Las dos tecnologías que actualmente lideran el mercado son las denominadas EPON (a veces también denominada GEPON) y GPON.

En el siguiente cuadro se presentan las principales características de ambos estándares.

	EPON	GPON
Estándar	IEEE 803.2 ah	ITU-T G.984
Ancho de Banda	- Hasta 1,25 Gbps simétrico	- Simétrico o asimétrico hasta 2.5/1.25 Gbps de DL/UL*
Downstream (nm)	1490 (voz y datos IP) y 1.550 (video RF)	1490 (voz y datos IP) y 1.550 (video RF)
Upstream (nm)	1.310	1.310
Transmisión	Ethernet	ATM, Ethernet, TDM

*El grupo FSAN acordó en 2005 utilizar 2.5 Gbps de Downstream y 1.25 Gbps de Upstream.

Ambas tecnologías se encuentran disponibles en el mercado, y se estima que ambas tendrán un gran crecimiento. Existen grandes despliegues de redes EPON, principalmente en Asia, mientras que los despliegues de GPON se encuentran mayoritariamente en EEUU y Europa.

Existe amplia bibliografía dedicada a analizar ambas alternativas y sus comparaciones desde el punto de vista de ventajas y desventajas técnicas así como su futura evolución en el mercado mundial. La principal diferencia entre ambas es que GPON permite el soporte de servicios legacy, ya que contempla acceso TDM, mientras que GEPON permite solo ethernet, además de que hoy presentan diferentes anchos de banda por enlace.

Como fue mencionado anteriormente este documento se analiza el caso de una red de fibra óptica pasiva PON con tecnología EPON (GEPON) y una topología de tipo FTTH.

Elementos componentes de la red

Los splitters ópticos pasivos como se mencionó son los elementos de la red que permiten la conexión punto a multipunto y que permiten que las señales ópticas de una fibra puedan ser distribuidas a otras varias fibras. Una sola fibra conectada al OLT puede distribuirse y conectar hasta 64 ONUs diferentes según las recomendaciones.

Los splitters ópticos se implementan cascadeando splitters “físicos” con relación 1:2, donde la señal de entrada se distribuye en dos caminos diferentes resultando en una pérdida de potencia aproximadamente de 3,5 dB. Cada camino vuelve a separarse en dos permitiendo mayor distribución pero también adicionando nuevamente una pérdida de potencia.

Por ejemplo un splitter de razón 1:32 tendrá 5 etapas de split resultando en una pérdida de potencia de aproximadamente $5 \times 3,5 \text{ dB} = 17,5 \text{ dB}$. En realidad la pérdida introducida no es exactamente el igual en un splitter 1:32 que si se colocan 5 splitters de relaciones 1:2, esta será algo superior y se debe a la introducida por los conectores externos necesarios, mientras que en el otro caso esto se realiza internamente.

En el siguiente cuadro se pueden ver las pérdidas típicas introducidas por algunos splitter comercialmente disponibles.

Pérdidas de Inserción Splitters

Relación de Split	Pérdida de inserción (dB)
1:2	3,6
1:4	7,2
1:8	11
1:16	14
1:32	17,5

Los estándares PON especifican distancias máximas alcanzables de hasta 20 km entre OLT y ONT.

Todas las diferentes tecnologías PON dadas las longitudes de onda con las que operan son capaces de funcionar con fibras ópticas estándar, según ITU-T G.652, sin necesidad de fibras especiales como las nueva fibras denominadas “Zero Water Peak” en las que no se tiene la ventana de atenuación de pico centrado en 1380nm que presenta la fibra estándar.

La distancia máxima alcanzable esta determinada por:

- La potencia transmitida por los equipos (Launch Power), en general depende del tipo de equipo, clasificándose éstos en 4 clases (A, B, C, D) en función de dicha potencia. Un valor típico de éste parámetro para equipos clase B es entre +3 a +7 dBm.
- La sensibilidad en recepción de los equipos, es decir la mínima potencia de señal que es capaz de reconocer correctamente. Un valor típico para esta es -26dBm.
- La pérdida de inserción introducida por el cable de fibra óptica, esta dependerá de la longitud de onda a utilizar, para las usadas en estas tecnologías PON esta pérdida es de 0.40dB/km para una longitud de onda de 1310nm y de 0.35dB/km para 1490nm.
- Pérdida introducida por los splitters, dependiente de las relaciones de splitting, según tabla anterior.
- Pérdida introducida por los conectores, típicamente esta es de 0.5dB aproximadamente.
- Pérdida introducida por cada empalme, esta depende de que tipo de empalme se trate, un empalme mecánico introducirá típicamente una pérdida aproximada de 0.5dB, mientras que en el caso de un empalme por fusión será de aproximadamente 0.1dB.

Dado que los splitters involucran una pérdida importante de potencia en relación con los restantes componentes de la red, el diseño de dicha red debe ser cuidadosamente balanceado entre: ramificación alta de fibras, distancias a los clientes, y las potencias manejadas por los equipos; de modo que satisfagan las especificaciones de los mismos.

Por otra parte desde el punto de vista económico también debe analizarse cuidadosamente las configuraciones posibles, con un compromiso entre la cantidad de splitters a utilizar, la cantidad de fibras y el número de puertos necesarios en el equipo PON en la central.

Arquitectura de la red – Alternativas**Alternativa 1 – Dos niveles de Splitters**

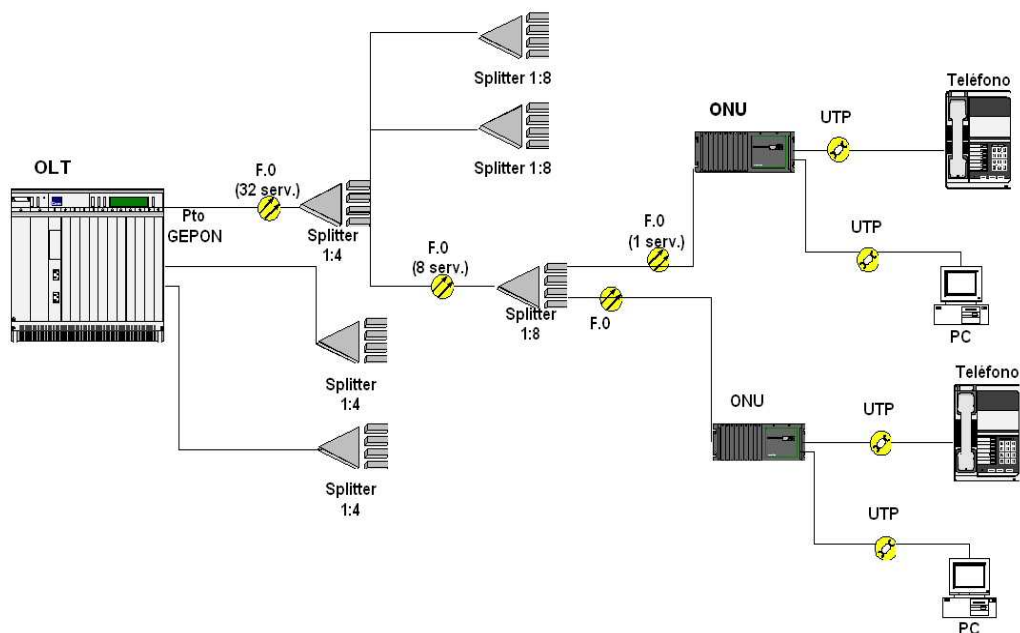
En esta alternativa la arquitectura propuesta se compone de un tramo inicial de fibra óptica denominado feeder, (equivalente al cable primario en una red de cobre) luego del cual se encuentra una etapa de splitter de relación 1:4. A continuación de ésta se tiene un nuevo tramo de fibra (equivalente al cable secundario), el cual termina en una segunda etapa de splitters en la manzana donde se encuentran los clientes (este splitter de relación 1:8 se puede ver como análogo a una caja de dispersión de la red de cobre). Desde éste último splitter se tiene un cable

de acometida de fibra óptica hasta cada cliente. Con estas dos etapas de splitting en cascada se tiene una relación de 1:32 servicios por cable de fibra.

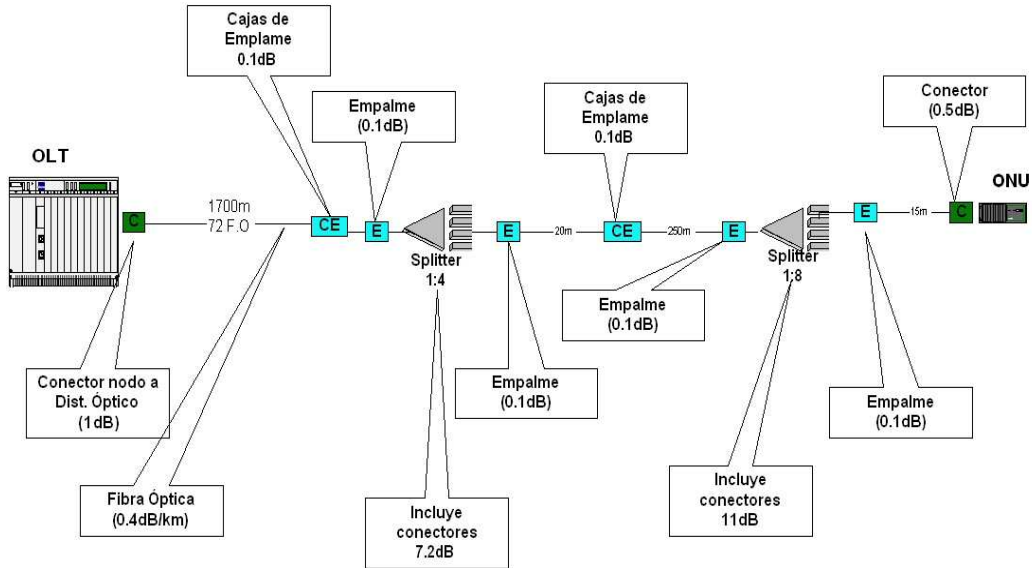
Además del criterio constructivo de contar con esas dos etapas de splitters, el punto fundamental es la cantidad de usuarios por acceso GEPON, en este caso se tienen **32 usuarios por cada puerto GEPON**. Esto, más allá de las características constructivas de la arquitectura, determina el dimensionado del equipo de central OLT y sobre todo el ancho de banda que se puede ofrecer a cada cliente ya que por cada puerto GEPON se tiene un throughput de 1.25Gbps (neto) el cual se comparte entre todos los usuarios conectados a ese puerto. En este caso se obtiene un ancho de banda por usuario de aproximadamente **40Mbps**.

Teniendo en cuenta lo antes indicado, las consideraciones principales relacionadas con esta alternativa son:

- Se tienen **32 clientes por puerto GEPON**, y dado que cada nodo cuenta con 8 puertos GEPON se tendrán 256 clientes por nodo. Por otra parte cada nodo cuenta con 4 interfaces de 1GE en su uplink hacia el core de la red, por lo que se podrá soportar un tráfico de pico promedio por abonado (simultáneos) de hasta **16Mbps**.
- El siguiente diagrama muestra un esquema de la arquitectura planteada (**32 usuarios/pto-GEPON con dos etapas de Splitters**):



Seguidamente se presenta un diagrama con los elementos constructivos de la red de acceso, a fin de identificarlos y determinar la atenuación o pérdida de inserción introducida por cada uno de ellos, y de esta manera determinar la atenuación extremo a extremo, la cual determinará si en enlace es posible o no y con que margen. El esquema muestra las distancias correspondientes al cliente más lejano, a fin de establecer un peor caso.



La atenuación de extremo a extremo se obtiene a partir de los siguientes elementos:

- F.O: $\frac{1700m + 250m + 20m + 15m}{1000} * 0.4 \text{ dB/km} = 0.8 \text{ dB}$
- Conectores: $1.0 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} = 1.5 \text{ dB}$
- Empalmes: $6 \times 0.1 \text{ dB} = 0.6 \text{ dB}$
- Splitters: $7.2 \text{ dB} + 11 \text{ dB} = 18.2 \text{ dB}$

De donde se obtiene una atenuación total extremo a extremo de 21.1 dB.

Esta pérdida de extremo a extremo como se observa cumple con el Loss Budget de los equipos, el cual es de 29 dB.

En caso de que los clientes se ubicasen a una mayor distancia, los elementos constructivos no cambiarán, excepto en primera instancia por los empalmes introducidos por la necesidad de empalmar bobinas de cable, las cuales tienen una longitud de 4km. A partir de esto es posible calcular la distancia máxima alcanzable, la cual resulta de la distancia (más empalmes de bobinas) con la que se alcanza la atenuación admitida de 29dB, esta resulta ser de 19.5km más los 1985m hasta este punto, **por lo cual la distancia alcanzable en esta alternativa es de 21km.**

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de esta alternativa:

Ventajas

- Al tenerse mayor cantidad de puertos por nodo que en la alternativa 2 según se verá, las hipótesis de la multiplexación estadística son más realistas, con lo cual se podría tener una relación de concentración mayor, o en su defecto el tráfico de pico por abonado podrá ser mayor que el especificado.
- Se hace un uso más eficiente de los recursos respecto a la alternativa 2, tanto de la fibra óptica como de los equipos, y por lo tanto es menos costosa.
- Cada caja de splitters intermedio “abarca” la zona de una CD de cobre lo que facilitaría y simplificaría el vuelco en caso de ser este masivo.

- Con esta solución se toma con un cable de 72 fibras ópticas 2 cables de 1400", lo que representa que con un cable de 120 FO estaríamos atendiendo la zona de 3 cables de 1400" de cobre, por lo que la cantidad de ductos ocupados en los ejes principales de canalización de cada Central se estarían reduciendo de 9 bocas ocupadas por cables de cobre a 1 ocupada por 3 cables de FO.
- La etapa final de splitting de relación 1:8 (por cada elemento terminal 8 servicios) se asemeja a la realidad que hoy tiene la Planta Externa de cobre donde generalmente los elementos terminales (cajitas de dispersión) atienden 10 servicios posibles.

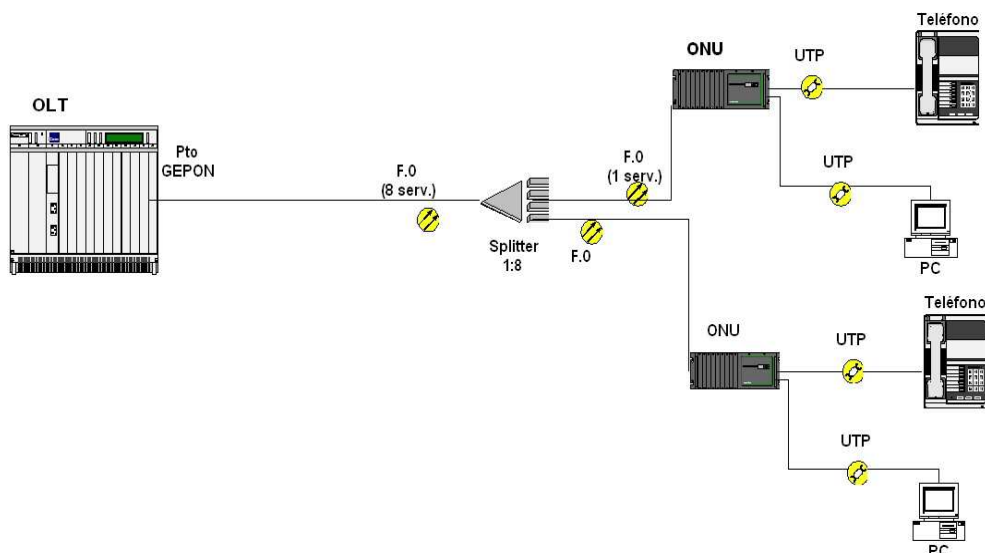
Desventajas

- Es una tecnología nueva y requiere un mayor esfuerzo de capacitación y adaptación de las estructuras operativas.
- Debido a la mayor capacidad de servicios soportados por un mismo cable de FO en relación a los soportados por un cable de cobre, se vuelve más crítico los incidentes de roturas dado que el impacto es mayor. Se debería tener en cuenta algún mecanismo de contingencia o respaldo.
- La distancia admitida es menor que en la alternativa 2 según se vera por disponer una etapa más de splitter y más accesos por puerto PON.

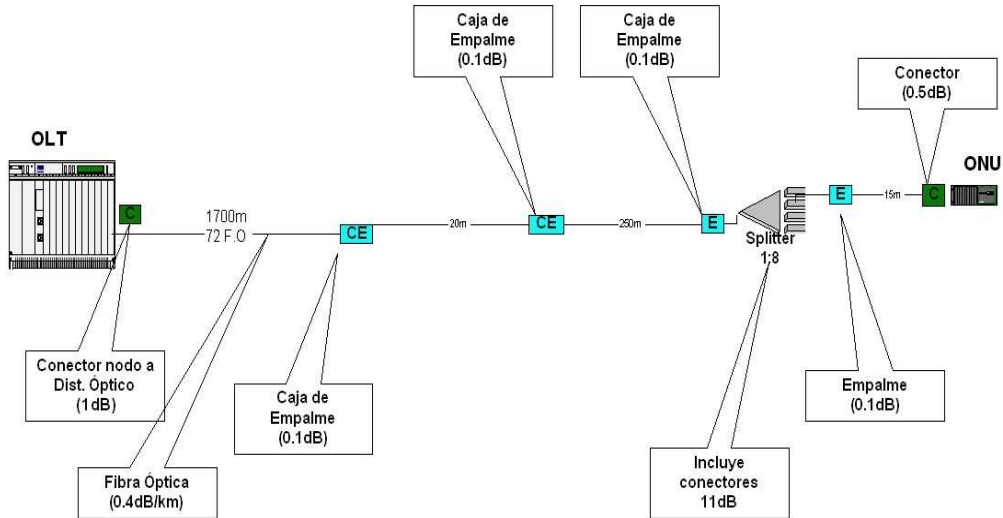
Alternativa 2: Una etapa de Splitters

En esta alternativa la arquitectura propuesta se compone de un tramo inicial de fibra óptica desde la central hasta las manzanas donde se encuentran los clientes, luego del cual se encuentra una única etapa de splitter de relación 1:8, (este splitter puede verse como análogo a una caja de dispersión de la red de cobre). Desde éste se tiene un cable de acometida de fibra óptica hasta cada cliente. Las consideraciones principales relacionados con esta alternativa son:

- Se tienen **8 clientes por puerto GEPON**, y dado que cada nodo cuenta con 8 puertos GEPON se tendrán 64 clientes por nodo. Por otra parte cada nodo cuenta con 4 interfaces de 1GE en su uplink hacia el core de la red, por lo que se podrá soportar un tráfico de pico promedio por abonado (simultáneos) de hasta **63 Mbps**.
- El siguiente diagrama muestra un esquema de la arquitectura planteada (**8 usuarios/pto-GEPON con dos etapas de Splitters 8**):



Seguidamente se presenta un diagrama con los elementos constructivos de la red de acceso, a fin de identificarlos y determinar la atenuación o pérdida de inserción introducida por cada uno de ellos, y de esta manera determinar la atenuación extremo a extremo, la cual determinará si el enlace es posible o no y con que margen. El esquema muestra las distancias correspondientes al cliente más lejano, a fin de establecer un peor caso.



La atenuación de extremo a extremo se obtiene a partir de los siguientes elementos:

- F.O: $\frac{1700m + 250m + 20m + 15m}{1000} * 0.4 \text{ dB/km} = 0.8 \text{ dB}$
- Conectores: $1.0 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} = 1.5 \text{ dB}$
- Empalmes: $4 \times 0.1 \text{ dB} = 0.4 \text{ dB}$
- Splitters: 11 dB

De donde se obtiene una atenuación total extremo a extremo de 13.7dB.

Esta pérdida de extremo a extremo como se observa cumple con el Loss Budget de los equipos, el cual es de 29 dB.

En caso de que los clientes se ubicasen a una mayor distancia, los elementos constructivos no cambiarán, excepto en primera instancia por los empalmes introducidos por la necesidad de empalmar bobinas de cable, las cuales tienen una longitud de 4km. A partir de esto es posible calcular la distancia máxima alcanzable, la cual resulta de la distancia (más empalmes de bobinas) con la que se alcanza la atenuación admitida de 29 dB, esta resulta ser de aproximadamente 37 km más los 1985 mts hasta este punto, por lo cual la distancia alcanzable en esta alternativa es de 40 km.

Cabe mencionar que la norma establece una distancia máxima de 20 km pero considera más etapas de splitters.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de esta alternativa:

Ventajas

- Permite mayores anchos de banda por cliente que la alternativa 1, ya que en el uplink resulta un ancho de banda promedio máximo por cliente de 63+63 Mbps (uplink y downlink) en forma simultánea.
- La distancia admitida es mayor que en la alternativa 1 por disponer solo una etapa de splitter y menos accesos por puerto PON.
- Se hace un uso más eficiente de los recursos respecto a la alternativa 2, tanto de la fibra óptica como de los equipos, y por lo tanto es menos costosa.
- Cada caja de splitters intermedio “abarca” la zona de una CD de cobre lo que facilitaría y simplificaría el vuelco en caso de ser este masivo.
- Con esta solución se toma con un cable de 120 FO alrededor de 840 servicios, número de servicios similar al usado para dimensionar un cable de cobre de 1400”. De esto surge que en la mayoría de los casos la sustitución sería 1 a 1.
- El splitting final (y drop box) de relación 1:8 (por cada elemento terminal 8 servicios) se asemeja a la realidad que hoy tiene la Planta Externa de cobre donde generalmente los elementos terminales (cajitas de dispersión) atienden 10 servicios posibles.

Desventajas

- Se tiene una mayor ocupación de ductos que la alternativa 1 por la menor concentración de servicios.
- Es una tecnología nueva y requiere un mayor esfuerzo de capacitación y adaptación de las estructuras operativas.
- Tiene costo mayor que la alternativa 1 por hacer un uso menos eficiente de los recursos de la red por la menor concentración de servicios.

Bibliografía

- Manuales de materiales: FURUKAWA Inc., Pirelli SpA.