REDES ÓPTICAS GPON Objetivo Conocer y aplicar las fases del proceso de diseño de una red GPON que incluya cableado óptico y metálico, habilitando distintos servicios en usuarios finales. Última modificación: 12 de agosto de 2022 Manual MEDIOS D de clases Edison Coimbra G. www.upsa.edu.bo

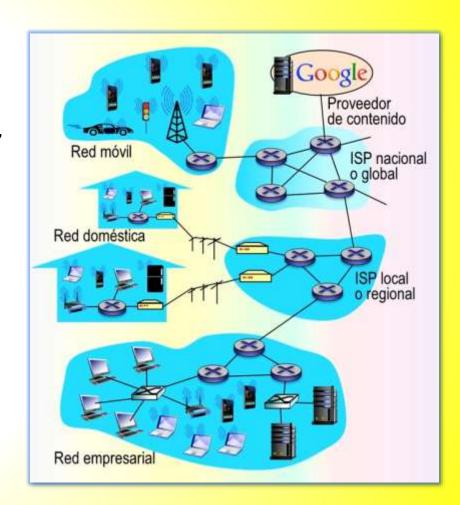
1. REDES DE ACCESO A INTERNET

REDES ÓPTICAS GPON

El acceso a Internet

(Kurose, 2017)

- Los hosts se conectan a Internet a través de un ISP local (Proveedor de Servicios de Internet), mediante una amplia variedad de tecnologías en la red de acceso (ADSL, cable módem, FTTH, WiFi y móvil GSM y LTE).
- Los ISP proporcionan también acceso a Internet a los proveedores de contenido, conectando sitios web y servidores de video directamente a Internet.
- Los ISP locales incluyen a los ISP de las compañías telefónicas o de cable, los ISP corporativos, los ISP universitarios, los ISP que proporcionan acceso inalámbrico WiFi en aeropuertos, hoteles, cafeterías y otros lugares públicos, y los ISP de datos móviles que proporcionan acceso móvil a los smartphones y otros dispositivos.
- El objetivo de Internet no es otra cosa que conectar los hosts entre sí, por lo que los ISP que proporcionan el acceso a los hosts también tienen que estar interconectados entre ellos, creando así una red de redes.
- Cada ISP es en sí mismo una red de routers y enlaces de comunicaciones.
- Ejemplos de ISP locales y proveedores de contenido:
 - ISP locales: Cotasnet, Entelnet, UPSA, Cainco...
 - Red de proveedores de contenido: Doogle, Damazon CloudFront....



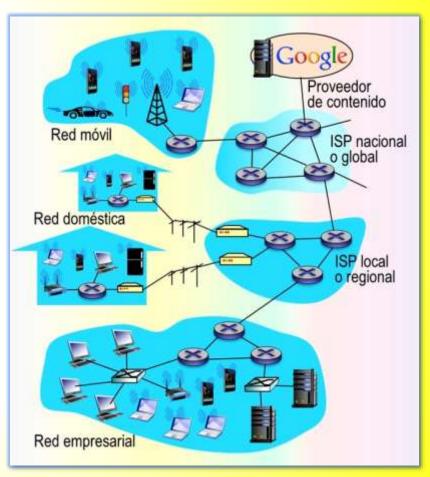
Redes de acceso a Internet

REDES ÓPTICAS GPON

Definición de red de acceso

(Kurose, 2017)

- La red de acceso hace referencia a la infraestructura de red que conecta a los hosts con un ISP local. Es la red de frontera, complementaria al núcleo de Internet.
 - Muchos de los avances tecnológicos que se pueden percibir directamente en el área de las telecomunicaciones corresponden a esta parte de la red, la misma que puede subdividirse en red de distribución y red de última milla.
- Los ISP proporcionan una amplia variedad de tipos de acceso a la red a los hosts, entre los que se incluyen:
 - La red doméstica. Acceso de banda ancha residencial.
 - La red empresarial. Acceso LAN (Red de Área Local) de alta velocidad.
 - La red móvil. Acceso inalámbrico para dispositivos móviles.
- Tecnologías e la red de acceso:
 - ADSL, Cable módem.
 - ►FTTH GPON.
 - **WiFi** 4, 5, 6.
 - Móvil GSM, LTE 4G y LTE-A 5G.
 - Se caracterizan por el acho de banda (expresado e bps) y si son compartidas o dedicadas.

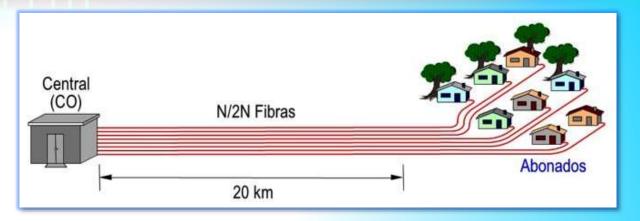


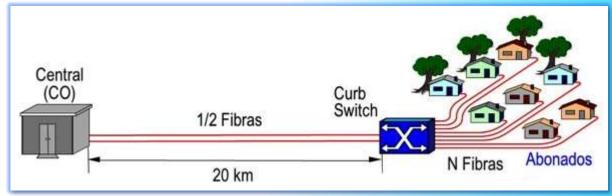
2. RED DE ACCESO DOMÉSTICO FITH

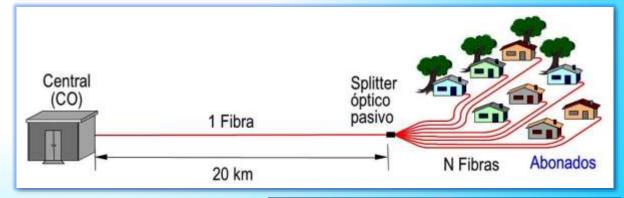
REDES ÓPTICAS GPON

Acceso a Internet por FTTH

- El concepto es proporcionar una ruta de fibra óptica directa hasta la vivienda desde la central telefónica, es decir una fibra hasta el hogar (FTTH).
- Comparación entre soluciones FTTH
 - 1.- Ethernet Punto a Punto. N/2N fibras desde la Central. Costos de inversión muy elevados.
 - 2.- Ethernet conmutado al borde de la acera (Curb). 1 o 2 fibras desde la Central. Requiere energía eléctrica en el nodo remoto. Requiere un concentrador remoto.
 - Splitters ópticos pasivos. No se necesita de energía eléctrica.







Red de acceso doméstico FTTH

REDES ÓPTICAS GPON

Red de acceso PON

- Es una infraestructura compuesta por elementos ópticos que no disponen de circuitos eléctricos, electrónicos o conexión a la red eléctrica para su funcionamiento, necesitando solamente de equipos activos en ambas puntas para general la señal óptica.
- El concepto es proporcionar una ruta de fibra óptica directa hasta la vivienda desde la central telefónica.



- La red de distribución mas habitual consiste en que cada fibra saliente de la central sea compartida por muchas viviendas y esta no se divida en fibras individuales hasta llegar a un punto próximo a las viviendas.
- La red PON funciona como una topología Punto Multipunto y división de la señal por splitter (divisores) ópticos pasivos hasta 64 usuarios por fibra (1:64), es decir, la señal que llega al splitter por una única fibra, se divide en 64 partes que continúan hacia los diferentes hogares de los usuarios a través de 64 diferentes fibra ópticas. Aunque un valor típico de división es 1:32.
- La fibra que se utiliza es monomodo y el enlace tiene una longitud máxima de 20 km.

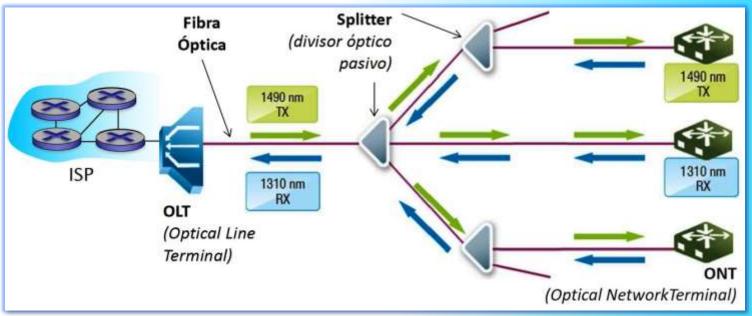
Red de acceso doméstico FTTH

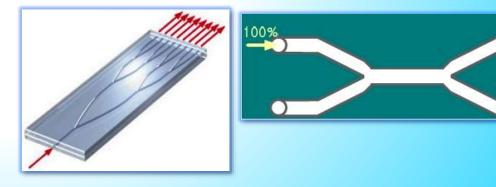
REDES ÓPTICAS GPON

Características de una red GPON

(Lattanzi, 2010)

- En una PON, cada vivienda dispone de un terminal óptico de red, ONT, que se conecta a un divisor óptico pasivo (splitter) del vecindario, mediante un cable de fibra óptica dedicado.
- El splitter combina una cierta cantidad de viviendas (hasta 1:64) en un único cable de fibra óptica compartido, que se conecta a un terminal óptico de línea, OLT, en la central de la compañía telefónica.
- La OLT realiza la conversión de señales ópticas en eléctricas y se conecta a Internet a través de un router del ISP de la compañía telefónica.
- En los hogares, los usuarios conectan su router doméstico (normalmente inalámbrico) con la ONT y acceden a Internet a través de ese router.





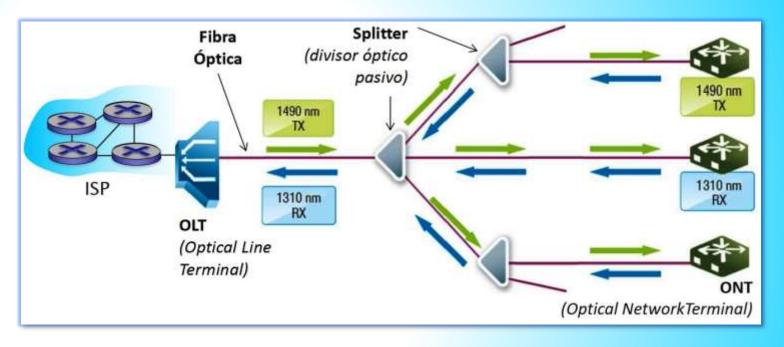
50%

Red de acceso doméstico FTTH

REDES ÓPTICAS GPON

Velocidades de tranmisión

- La transmisión se realiza en modo dúplex en una sola fibra, multiplexando dos ventanas ópticas, 1.310 y 1490 nm.
- En GPON, todos los paquetes enviados desde la OLT al splitter, se replican en él.
- En teoría, la tecnología PON puede proporcionar velocidades de acceso del orden de Gbps, por este motivo se le denomina GPON.
- El estándar para GPON establece :
- ▶ Velocidad de carga: 1,25 Gbps a 1.310 nm.
- ▶ Velocidad de descarga: 2,5 Gbps a 1490 nm.
- Sin embargo, la mayoría de los ISP de GPON ofrecen diferentes niveles de velocidades a diferentes precios.



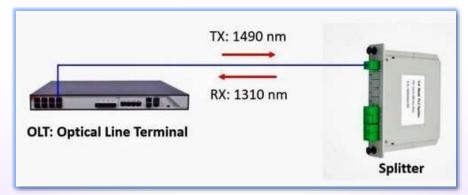
3. TECNOLOGÍAS PASIVAS PON

REDES ÓPTICAS GPON

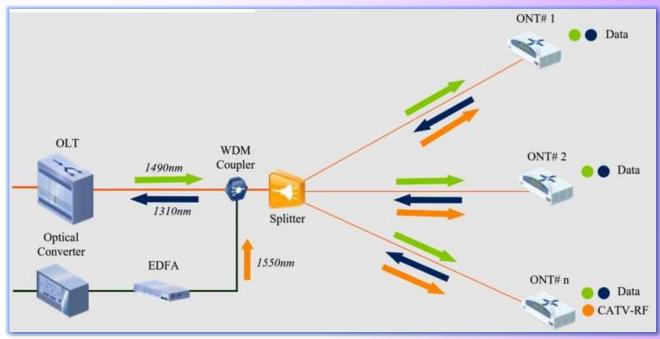
(Lattanzi, 2010)

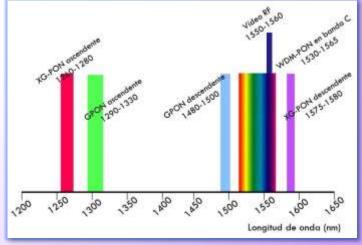
Componentes de una red GPON

- Terminal óptico de línea (OLT). Equipo concentrador que provee enlaces de fibra óptica hacia la red del operador y hacia la red de distribución.
- Red óptica de distribución. La red PON es considerada pasiva porque los componentes de la red óptica de distribución son pasivos: splitters, fibra óptica y empalmes.
- Terminal óptico de red (ONT). Provee interfases FE / GE, POTS y CATV-RF hacia los usuarios.
- Cómo funciona una red PON? Por medio de un esquema de multiplexado por longitud de onda (WDM) se dividen todas las componentes necesarias para realizar la transmisión en Upstream, Downstream y CATV-RF.



GPON usa un solo hilo de fibra. La subida y la bajada van en diferentes longitudes de onda.

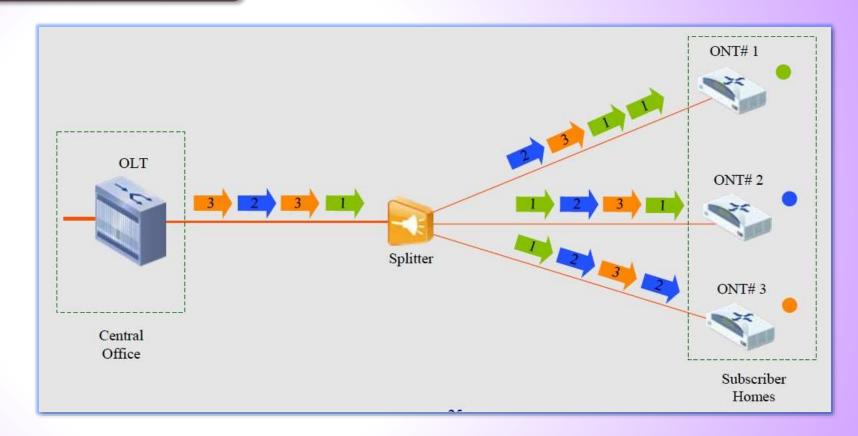




REDES ÓPTICAS GPON

Downstream (Descarga) – Desde Internet al host

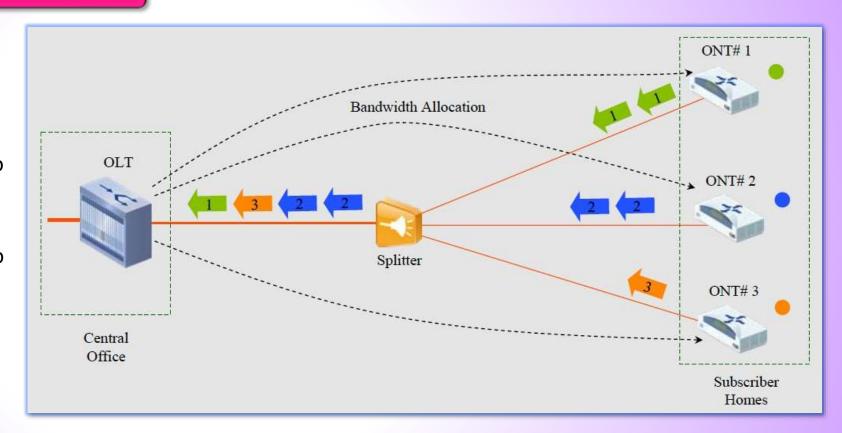
- 1. La OLT envía el tráfico utilizando Broadcast.
- 2. La red óptica es totalmente transparente al envío de datos.
- 3. Cada ONT verifica su dirección en el encabezado de las tramas.
- 4. Debido a que las ONT reciben todo el tráfico, es necesario utilizar encriptación.
- 5. La OLT determina y le notifica a las ONT los Time Slots para el envío de datos.



REDES ÓPTICAS GPON

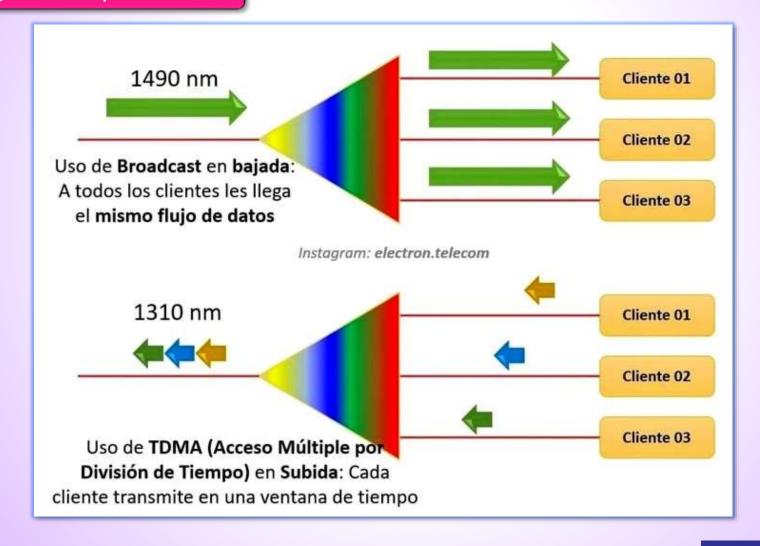
Upstream (Carga)- Desde el host a Internet

- 1. La ONT toma el tráfico del puerto de usuario y lo encapsula en tramas del protocolos de enlace utilizado entre la OLT y la ONT.
- 2. Los datos son transmitidos por medio de Time Slots asignados por la OLT. El esquema de transmisión es TDMA.
- 3. Se requiere un estado de sincronismo muy preciso para evitar colisiones.
- 4. Por medio de una asignación dinámica, se mapea el ancho de banda para cada ONT.



REDES ÓPTICAS GPON

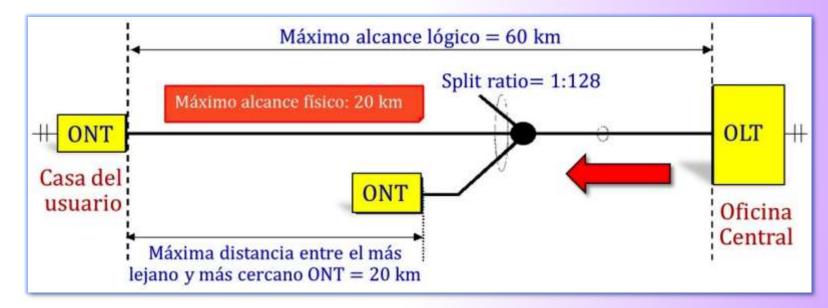
Carga y descarga en el splitter



REDES ÓPTICAS GPON

Tecnología GPON

- GPON Es la tecnología óptica más nueva, está ganando mucho terreno en el segmento de las redes de acceso por fibra óptica.
- Las características generales de una red GPON están especificadas en las recomendaciones ITU-T G.984.1 a la 4.
- GPON especifica siete velocidades de transmisión posibles, entre ellas 1.25 Gbps up, y 2.50 Gbps down. Debido a sus velocidades recibe el nombre de Giga.
 - Máximo Alcance Lógico: 60 km.
 - Máximo Alcance Físico: 20 km.
 - Máxima Distancia Diferencial de Fibra: 20 km.
 - Split ratio: 1:64 / 1:128.



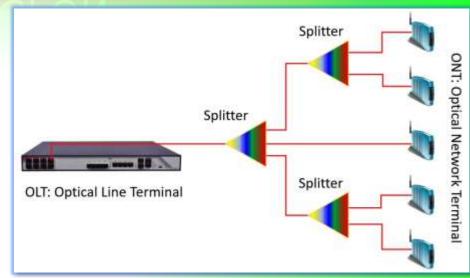
4. FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LA RED GPON

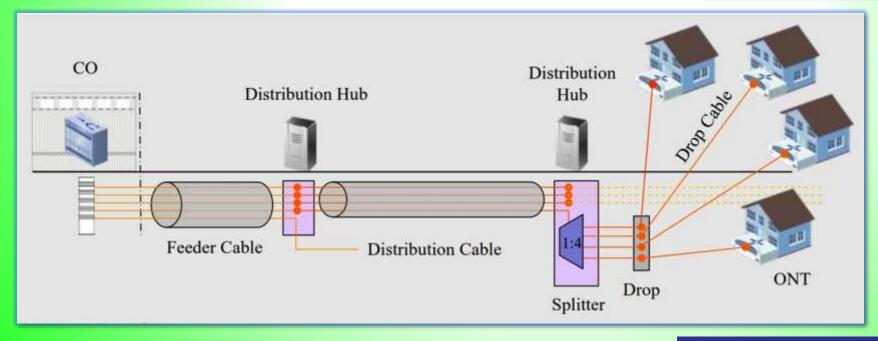
REDES ÓPTICAS GPON

Componentes de una red GPON

La red GPON opera en un medio compartido, por lo que comparte la señal que proviene de la OLT entre múltiples usuarios, es decir entre múltiples ONT.

 La red de distribución Incluye cables de fibra óptica alimentadores y de distribución, conectores, empalmes, armarios de distribución y splitters.

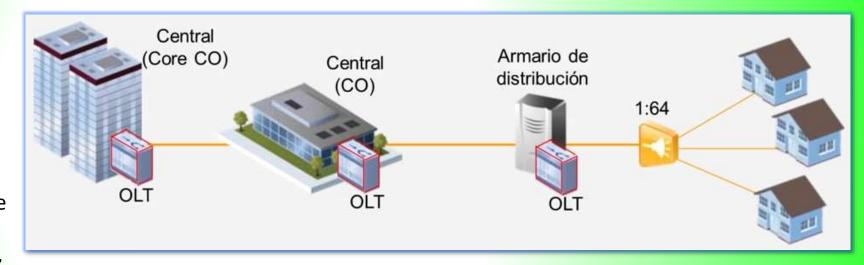




REDES ÓPTICAS GPON

Ubicación de la OLT

- La OLT puede ser ubicada en uno de los siguientes lugares:
- En una central del núcleo de la red del Operador de Servicios.
 - Características: cobertura de larga distancia y baja densidad de usuarios.
- En una central local del Operador de Servicios.
 - Características: mejor radio de cobertura de larga distancia y balance de recursos (conectores, cabes de fibra óptica, ductos, alimentación, etc.).



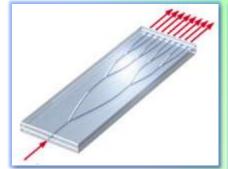
- En un armario de distribución externo.
 - Características: ahorro de cables de fibra óptica, radio de cobertura reducido, necesidad de energía eléctrica, administración on-site.

REDES ÓPTICAS GPON

El splitter

(Lattanzi, 2010)

- El Splitter es el dispositivo pasivo (no requiere energía) encargado de dividir y distribuir la señal que entra por su fibra de entrada, entre múltiples fibras de salida dirigidas a todos los usuarios, a todos los ONT, pertenecientes a un mismo puerto de la OLT.
- El Splitter es un divisor de potencia de señal. Cada vez que se realiza una división en un splitter se experimenta una pérdida de señal a la salida de 3 dB, esto significa que se ha dividido por la mitad la potencia de entrada.
- El término "dB" es debido a que se hace uso de cantidades logarítmicas.
- La potencia, que usualmente se mide en W (en el caso de potencia óptica, en el orden de los mW), es llevada a dBm para una más fácil manipulación.
 - La potencia de señal se suele expresar en dBm.
 - Las pérdidas (o ganancias) de señal se expresan en dB.







$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

A = atenuación, en dB.

 P_1 = potencia de entrada, en W.

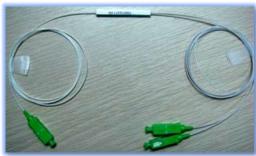
 P_2 = potencia de salida, en W.

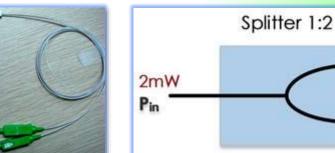
$$P(dBm) = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$$

REDES ÓPTICAS GPON

Cálculos de potencia en dBm

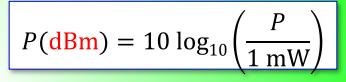
- Ejemplo. Cálculos con dB y dBm. Considere un splitter 1:2, cuya potencia de entrada es de 2 mW (vea la figura). Como es de esperar, la potencia en ambas salidas es la mitad, es decir 1 mW. Exprese estas potencias de salida en dBm.
 - Transformando a dBm, se tiene que las potencias de salida son 0 dBm. 0 dBm, por tanto, no significa ausencia de señal, significa que se tiene una potencia de 1 mW, que para transmisión en comunicaciones ópticas es una potencia alta.





■ Por tanto, las perdidas que se tienen por cada división que ocurre en un splitter será de 3 dB. En general, las pérdidas por cada etapa de división en un splitter es:

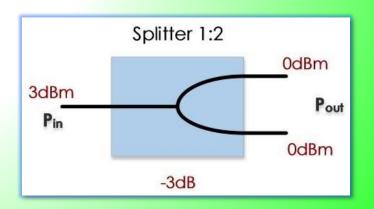
Factor de Splitting 2^{N} => Atenuación sistemática = N x 3 dB



1mW

1mW

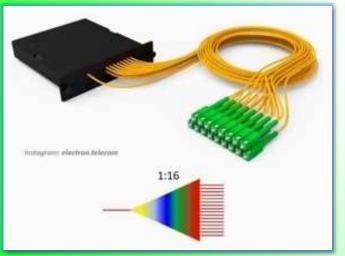
Pout

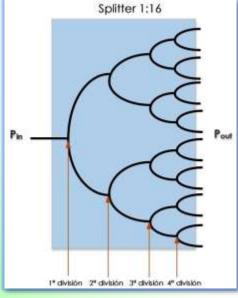


REDES ÓPTICAS GPON

Atenuación en los diferentes niveles de splitters

- **La figura** muestra el splitter 1:16 y sus 4 etapas de división. El total de pérdidas por división de este splitter es N x 3dB = 4 x 3 dB = 12 dB.
- Además de las pérdidas por división, se tienen las pérdidas por insertar un splitter en la red, que se denominan pérdidas por inserción. La tabla contiene la pérdida de potencia total en los splitters ópticos.



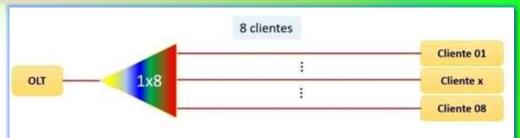


Item		Mean power loss (dB)	
Connection point	Mechanical splicer	0.4	
	Fusion splicing point	0.1	
Optical splitter	1:64	19.3	
	1:32	16.5	
	1:16	13.5	
	1:8	10.5	
	1:4	7.2	
	1:2	3.2	
Optical cable (G.652)	1310 nm	0.35/km	
	1490 nm	0.25/km	

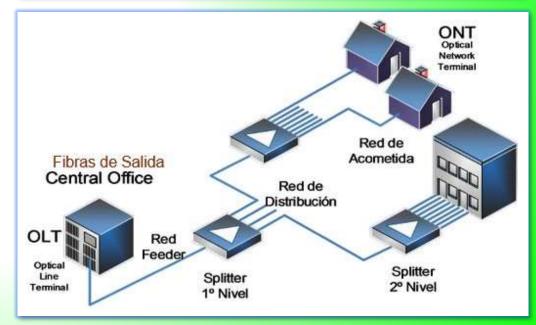
REDES ÓPTICAS GPON

Ventajas de tener más de un nivel de splitter

- Un solo nivel de Splitter facilita el mantenimiento y las pruebas de campo.
- Tener dos o más niveles de Splitter reduce en gran medida los costos de despliegue debido al ahorro en cables de fibra óptica.
- En una red GPON se pueden tener diferentes niveles de splitting, usualmente dos niveles de splitting:
 - Un splitter de 1er nivel. En general 1:8, es decir 8 divisiones de la señal. Este nivel se encuentra entre la red de alimentación (feeder) y la red de distribución.
 - Un splitter de 2º nivel. En general 1:8 divisiones de la señal. Este nivel se encuentra a la entrada de la red de acometida.
- Un splitter posee diferentes capacidades de división: 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32, 1x64, 1x128. Así, por ejemplo:
 - Con un 1er nivel de 1:8 y un 2do nivel de 1:8 se tendrá servicio para 8x8= 64 clientes.
 - Con un 1er nivel de 1:4 y un 2do nivel de 1:8 se tendrá servicio para 4x8= 32 clientes.
 - Con un 1er nivel de 1:4 y un 2do nivel de 1:16 se tendrá servicio para 4x16= 64 clientes. Esta configuración es la más empleada por los operadores.



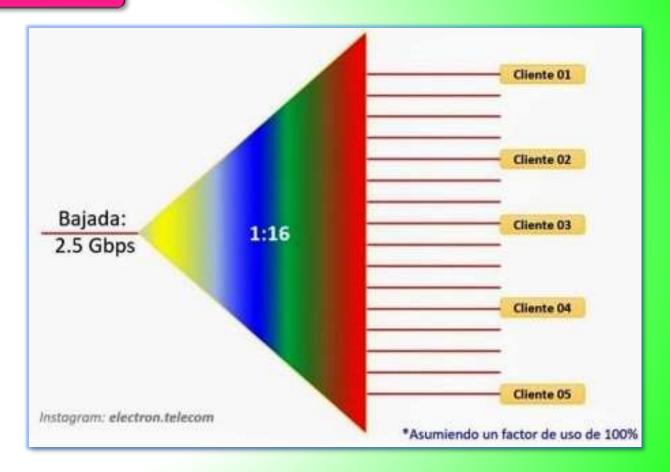




REDES ÓPTICAS GPON

Velocidad de transmisión cuando se utilizan splitters

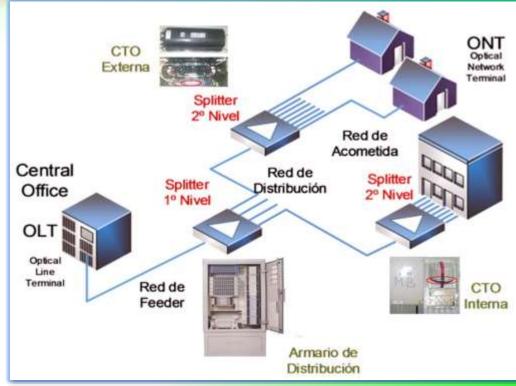
- Es muy importante, a la hora del diseño, considerar la velocidad de bajada que recibe cada cliente conectado a un splitter.
- Si un splitter tiene habilitados, por ejemplo, cinco clientes, entonces cada cliente recibe un quinto de la velocidad de bajada que recibe el splitter.
- En el ejemplo de la figura, la velocidad de bajada es 2,5 Gbps, por lo que cada cliente recibe 500 Mbps de bajada, asumiendo un factor de uso de 100%.

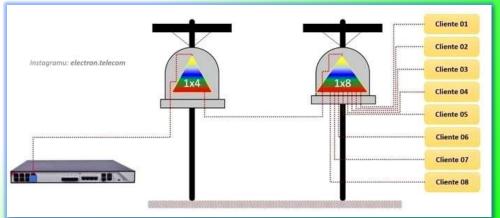


REDES ÓPTICAS GPON

Ubicación de los splitters

- Los splitter de 1er nivel se ubican entre la red de feeder y la red de distribución. Generalmente dentro de armarios de distribución o enterrados en cámaras de registro.
 - Características: menores costos de despliegue y mantenimiento on-site.
- Los splitter de 2do nivel se ubican entra entre la red de distribución y la red de acometida. Generalmente dentro de una Caja Terminal Óptica (CTO) que puede ser externa (en poste) o interna (dentro de un edificio).
 - Características: ahorro de cables de fibra óptica y mantenimiento on-site.
- Dado que los splitters involucran una pérdida importante de potencia en relación con otros elementos en la red GPON, el diseño de esta red debe ser adecuadamente balanceado entre las divisiones de la fibra, la distancias hasta los usuarios (cobertura de la red), y las potencias de salida tanto de la OLT como de la ONT, de forma a satisfacer el power budget (presupuesto de potencia) de la red.



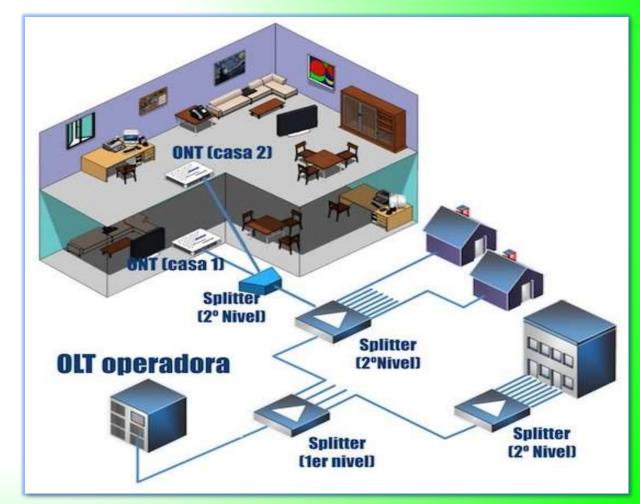


REDES ÓPTICAS GPON

Plan de instalación de la red GPON

- El plan de instalación es un esquema que muestra la longitud del recorrido de la fibra, la cantidad de empalmes, los conectores y los equipos necesarios para la terminación de la fibra en los extremos del enlace.
- La pérdida en el enlace es causada por los componentes mencionados: cable de fibra óptica, empalmes, conectores y splitters). Del plan de instalación se determinan los valores que se muestran en la tabla.

Del plan de instalación			
1. Longitud total de fibra óptica y atenuación	km - dB/km		
2. Número de empalmes y pérdidas de cada uno	N empalmes - dB/empalme		
3. Número de conectores y pérdidas de cada uno	N conectores - dB/conector		
4. Splitters de 1er y de 2do nivel	(1er nivel + 2do nivel) dB		
Total atenuación	(1+2+3+4) dB		



REDES ÓPTICAS GPON

Parámetros ópticos de una red GPON

La potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor son dos parámetros que influyen en el rango de la red GPON. Una primera aproximación del presupuesto de pérdidas en el enlace, que incluye a todos los componentes ópticos presentes entre la OLT y la ONT, para diferentes configuraciones de GPON es:

Pérdida óptica mínima: 13 dB

Pérdida óptica máxima: 28 dB

Las tablas muestran los diferentes parámetros ópticos que debe tomarse en cuenta en el diseño de una red GPON.

Item		Mean power loss (dB)	
Connection point	Mechanical splicer	0.4	
	Fusion splicing point	0.1	
Optical splitter	1:64	19.3	
	1:32	16.5	
	1:16	13.5	
	1:8	10.5	
	1:4	7.2	
	1:2	3.2	
Optical cable (G.652)	1310 nm	0.35/km	
	1490 nm	0.25/km	

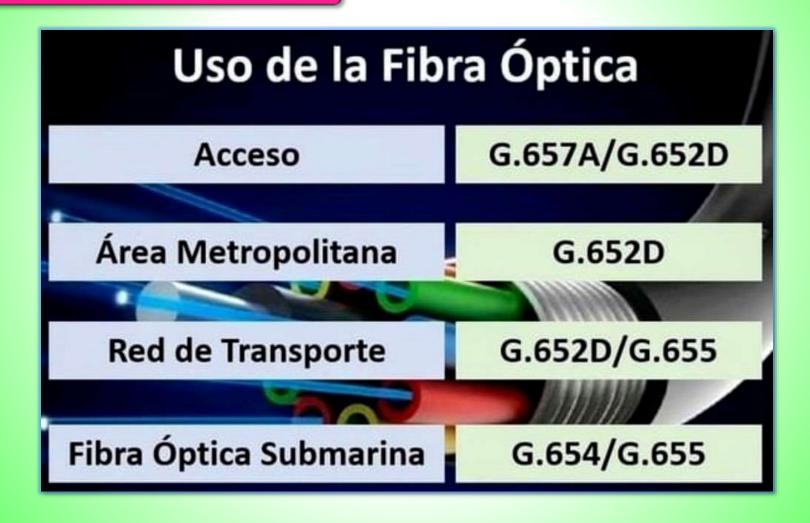
Parámetro interfaz GPON B+	ONT	OLT
Mean launched power MIN	0.5 dBm	1.5 dBm
Mean launched power MAX	5 dBm	5 dBm
Minimum sensitivity	-27 dBm	-28 dBm

Perdidas inserción (conector)

-0.3~-0.5 dB

REDES ÓPTICAS GPON

Estándares según el área de aplicación

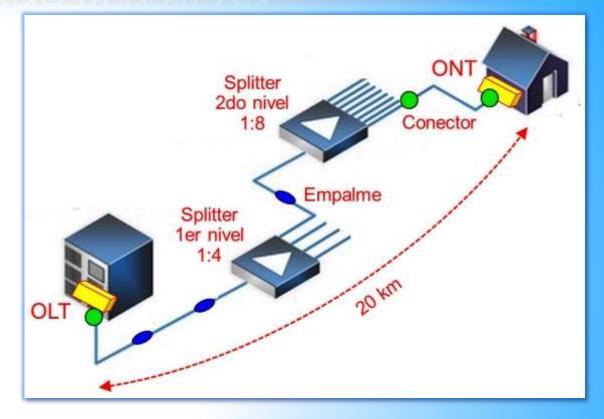


5. PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS EN UNA RED GPON

REDES ÓPTICAS GPON

Recolección de los datos de atenuación

- Escenario. Se debe calcular el margen de tolerancia de la red GPON que se muestra en la figura y cuyos datos son los siguientes:
 - Máximo alcance físico: 20 km.
 - La Línea Terminal Óptica (OLT) tiene una potencia de salida de 3 dBm (2 mW).
 - La fibra óptica se conecta a la OLT a través de un conector SC con pérdidas de 0,5 dB (círculo verde).
 - La señal óptica se transporta a través de la fibra óptica SM 9/125_con una atenuación 0,25 dB/Km a 1490 nm.



- La señal llega al splitter de 1er nivel (1:4) que presenta una atenuación de 7,2 dB.
- La señal continúa hasta llegar al splitter de 2do nivel (1:8) que presenta una atenuación de 10,5 dB.
- Por último, la señal llega al ONT a través de un cable óptico de conexión que tiene 2 conectores SC con pérdidas de 0,5 dB cada uno.
- Durante el trayecto, se han realizado en la fibra óptica 3 empalmes por fusión de 0,1 dB cada uno.
- El ONT tiene una sensibilidad mínima de -27 dBm.

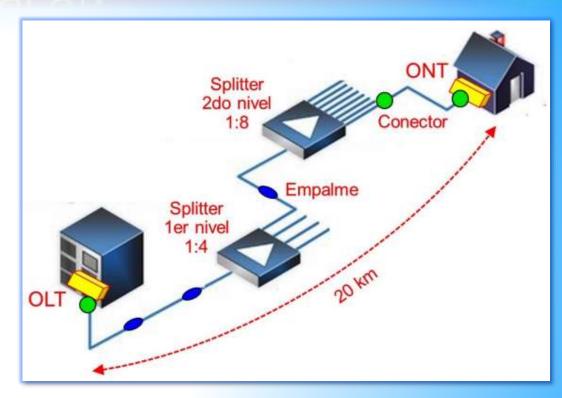
Presupuesto de pérdidas en una red GPON

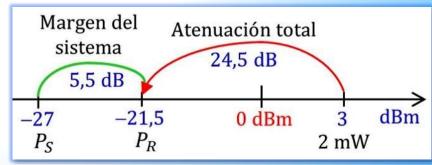
REDES ÓPTICAS GPON

Cálculo del margen de tolerancia

■ La forma más simple para calcular el margen del sistema es empezar con la potencia de transmisión (P_T) en dBm, restarle la atenuación total en dB, y comparar el resultado (P_R) con la potencia requerida en el receptor o sensibilidad mínima del receptor (P_S). Cualquier potencia de más se llama margen del sistema.

Para calcular el margen del sistema				
Atenuación de la fibra a 1.490 nm	$20 \text{ km} \times 0.25 \text{ dB/km} = 5 \text{ dB}$			
Pérdidas en empalmes por fusión	3 empal. × 0.1 dB/empal. = 0,.3 dB			
Pérdidas en conectores SC	3 conect. × 0.5 dB/conect. = 1,5 dB			
Pérdidas en splitter (1:4 + 1:8)	7,2 dB + 10,5 dB = 17,7 dB			
Atenuación total del enlace:	24,5 dB			
Potencia P_T de salida del transmisor (OLT)	3 dBm (2mW)			
Potencia P_R de entrada al receptor	-21,5 dBm			
Sensibilidad P _S mínima del receptor (ONT)	−27 dBm			
Margen del sistema	5,5 dB			



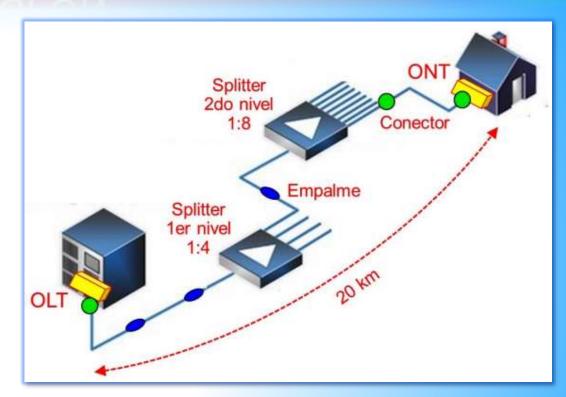


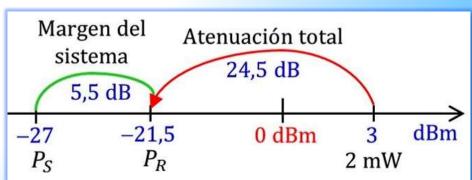
Presupuesto de pérdidas en una red GPON

REDES ÓPTICAS GPON

Cálculo del margen de tolerancia (cont.)

- Valor típico del margen del sistema. Por lo general, se requiere un margen de 5 a 10 dB para tomar en cuenta el deterioro de los componentes con el tiempo y la posibilidad de que sean necesarios más empalmes (si, por ejemplo, se corta el cable de manera accidental), además, algunos trasmisores, bajo ciertas circunstancias ambientales o de operación, pueden disminuir temporalmente su valor de potencia de salida.
- Es probable que estos datos tengan alguna variación durante la medición, dependiendo de la calidad de la instalación, pero ya se tiene un buen dato de referencia para comparar, cuando realicen las mediciones de la red en campo.





Referencias bibliográficas **REDES ÓPTICAS GPON** Referencias bibliográficas Chomycz(1998). Instalaciones de fibra óptica. CISCO (2015). CCNA Routing and Switching. Introduction to Networks. CISCO. CISCO (2016). Introducción a las redes. Madrid: Pearson Education, S.A. Forouzan, B. A. (2007). Transmisión de datos y redes de comunicaciones. Madrid: McGraw-Hill. Huawei Technologies (2020). Basics of data communication networks. Huawei. • Kurose, J. Keith, R. (2017). Redes de computadoras: un enfoque descendente. Madrid: Pearson Education, S.A. ● Lattanzi, M. & Graf, A. (2010). Redes FTTx. Conceptos y Aplicaciones. Buenos Aires: IEEE. Tema 7 de: EDIOS DE TRANSMISIÓN Edison Coimbra G.