

ASPECTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y CRITERIOS DE DISEÑO DE REDES FTTD Y GPON

ING. JUAN CARLOS PARADISO

16/11/2020

LOS PUNTOS DE REFERENCIA EN UN ESCENARIO GPON

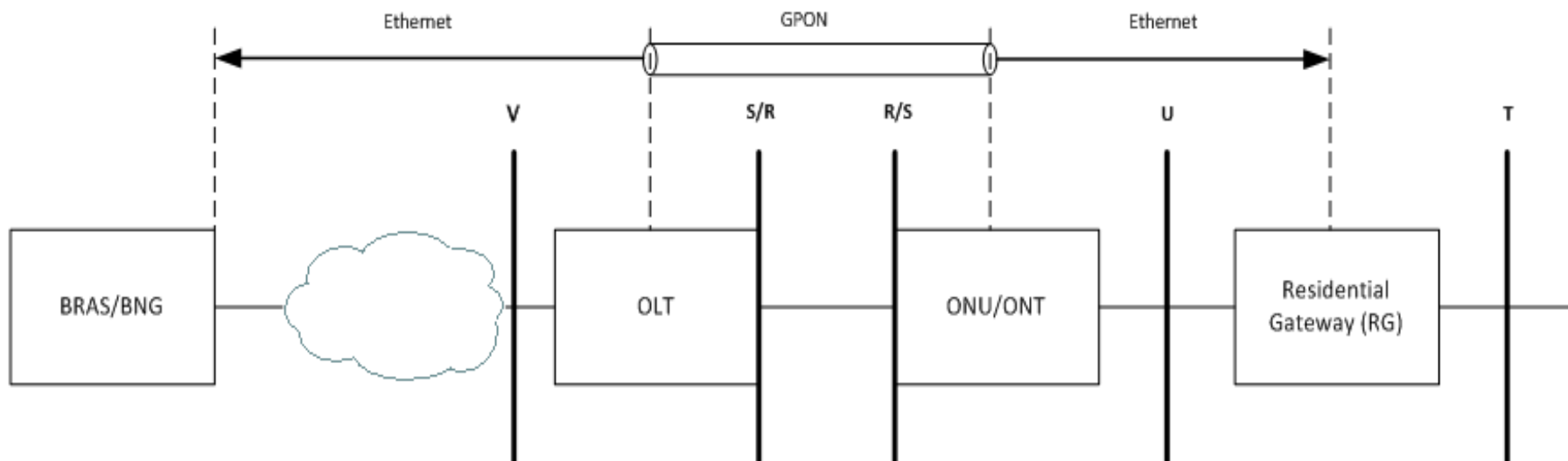


Figure 1. GPON to Ethernet Adaptation

- La **OLT** es el primer punto de agregación de red de acceso GPON.
- La **OLT** termina la capa de Convergencia de Transmisión GPON (**GTC**) del lado usuario y envía tramas Ethernet hacia la red.
- El punto **V** es la interfaz orientada hacia la red de la OLT.
- El punto **T** es la interfaz al cliente del RG y el punto **U** está en la ONT; si los equipos ONT y RG se combinan en un único dispositivo queda sólo la **U**.
- El punto **R/S** representa a la OLT en la interfaz ONT.
- El punto **S/R** representa la ODN que conecta el enlace GPON a la OLT.
- Las interfaces **S/R** y **R/S** permiten la comunicación entre OLT y ONTs.

T-CONT Y LOS PUERTOS GEM – DEFINICIONES (I)

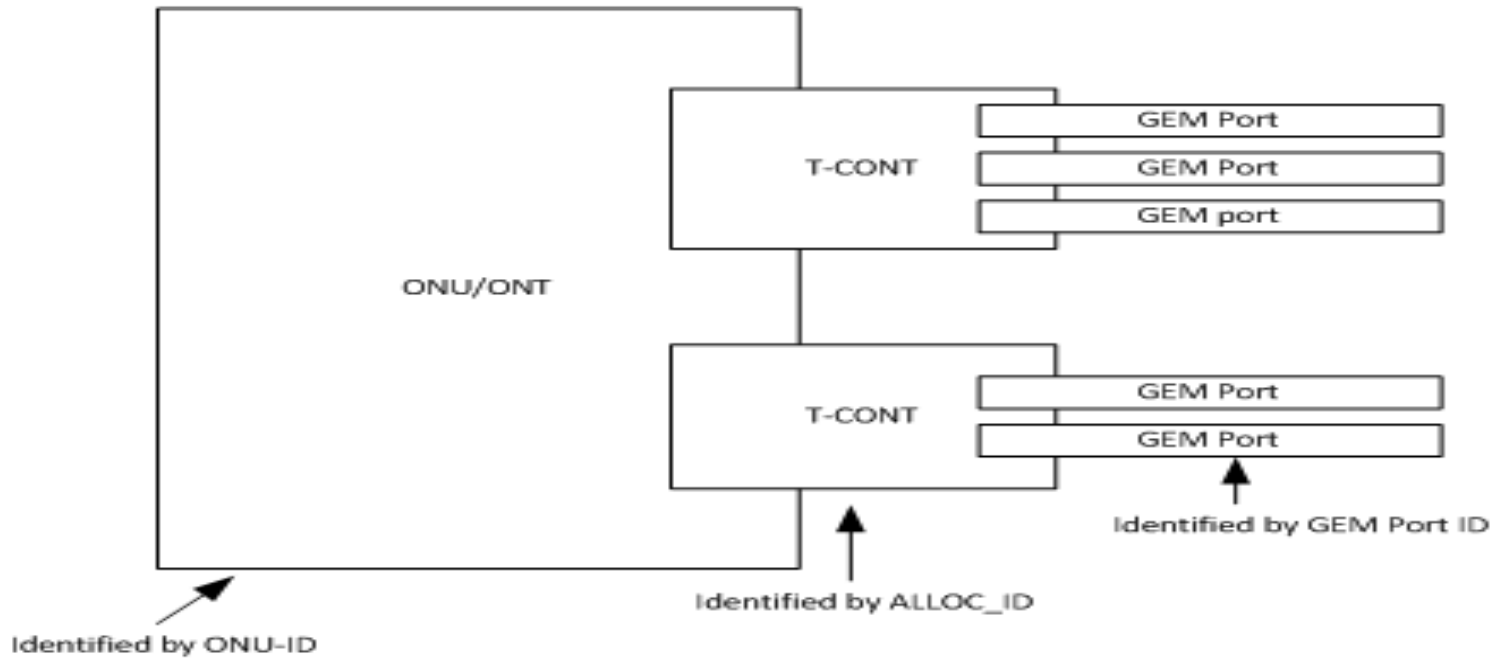


Figure 2. Relationship between T-CONT and GEM Ports

T-CONT (Contenedor de Transmisión):

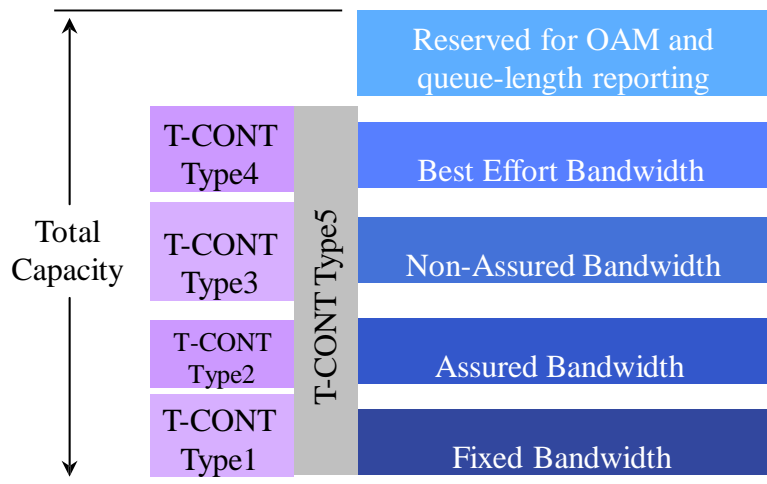
- Soporta tránsito en una ONT que representa un grupo de conexiones lógicas.
- Es una sola entidad a efectos de asignación de AB ascendente en las ONT.
- En la dirección UL se utiliza para soportar el tráfico de servicios.
- Cada T-CONT corresponde a un tráfico de servicios de un tipo de AB y factores de QoS.

ALLOC-ID:

- Cada T-CONT se identifica con un único ALLOC_ID (0 a 4095).
- Se asigna por el OLT
- Un T-CONT sólo es usado por una sola ONT por interfaz GPON en la OLT.

TIPOS DE T-CONT

- **T-CONT Type1:** provee ancho de banda fijo, principalmente es usado para servicios que sean “delay-sensitive” (ejplo: voz y video).
- **T-CONT Type2 y Type3:** proveen ancho de banda garantizado, se usan principalmente para servicios de video o datos de alta prioridad.
- **T-CONT Type4:** provee ancho de banda “best effort”, es utilizado principalmente para servicios de datos de baja prioridad (ejplo: Internet).
- **T-CONT Type5:** es una mezcla de todos los tipos de T-CONT, representando todos los anchos de banda y pudiendo transportar cualquier tipo de tráfico.



Bandwidth Type	Delay Sensitive	T-CONT Types				
		Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
Fixed	YES	●				●
Assured	NO		●	●		●
Non-Assured	NO			●		●
Best Effort	NO				●	●

T-CONT Y LOS PUERTOS GEM – DEFINICIONES (II)

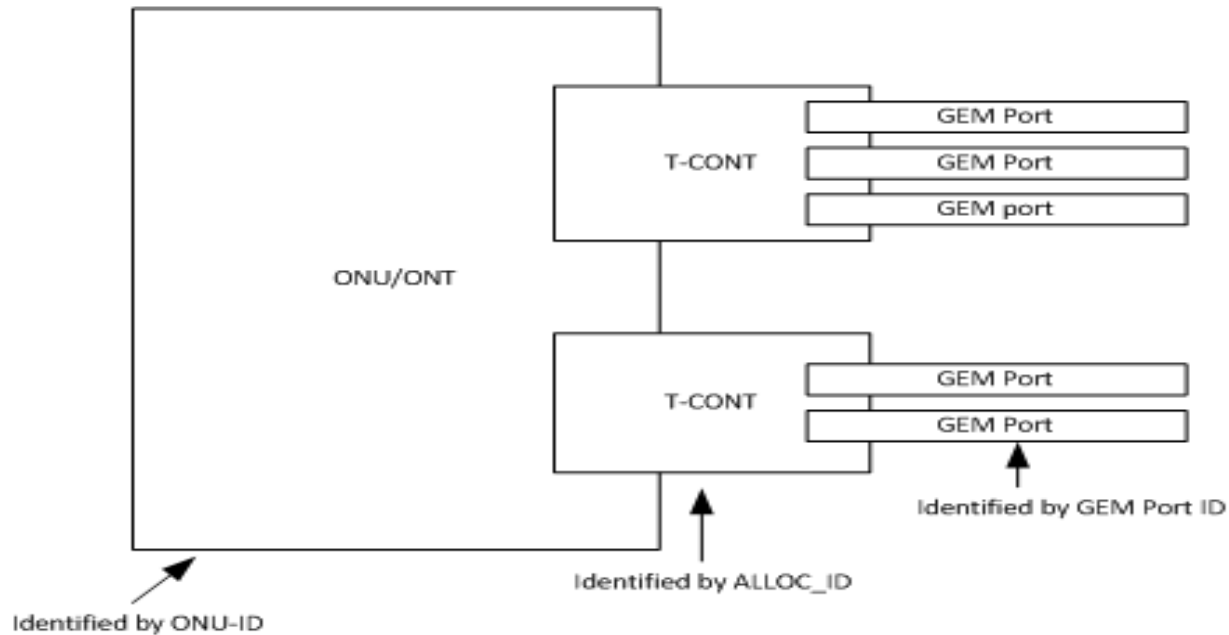


Figure 2. Relationship between T-CONT and GEM Ports

GEM Port:

- Es un puerto virtual que soporta la encapsulación GEM para la tx de tramas entre OLT-ONT.
- Se asigna un puerto GEM a cada Clase de Tráfico (TC) diferente por UNI.
- Una interfaz U puede tener varios puertos GEM que soportan diferentes TCs.
- Cada T-CONT consiste en uno o más puertos GEM.
- Cada puerto GEM está asociado a un sólo tipo T-CONT.

GEM Port ID:

- Cada puerto GEM se identifica por un ID de puerto única (0 a 4095).
- Se asigna por el OLT, un puerto GEM sólo es usado por una sola ONT por interfaz GPON en la OLT.

CANALES GEM

- Las tramas Ethernet se transfieren por canales GEM entre ONT y OLT.
- GPON tiene canales GEM como parte de su capa GTC.
- **Los canales GEM llevan tramas Ethernet de longitud variable y se diferencian por identificadores de puerto GEM.**
- **Este identificador es asignado por la OLT en la creación de un nuevo canal y sólo es válido durante el ciclo de vida del canal.**
- **Un canal GEM se corresponde con el GEM port.**

➤ **Hay 2 tipos de canales GEM:**

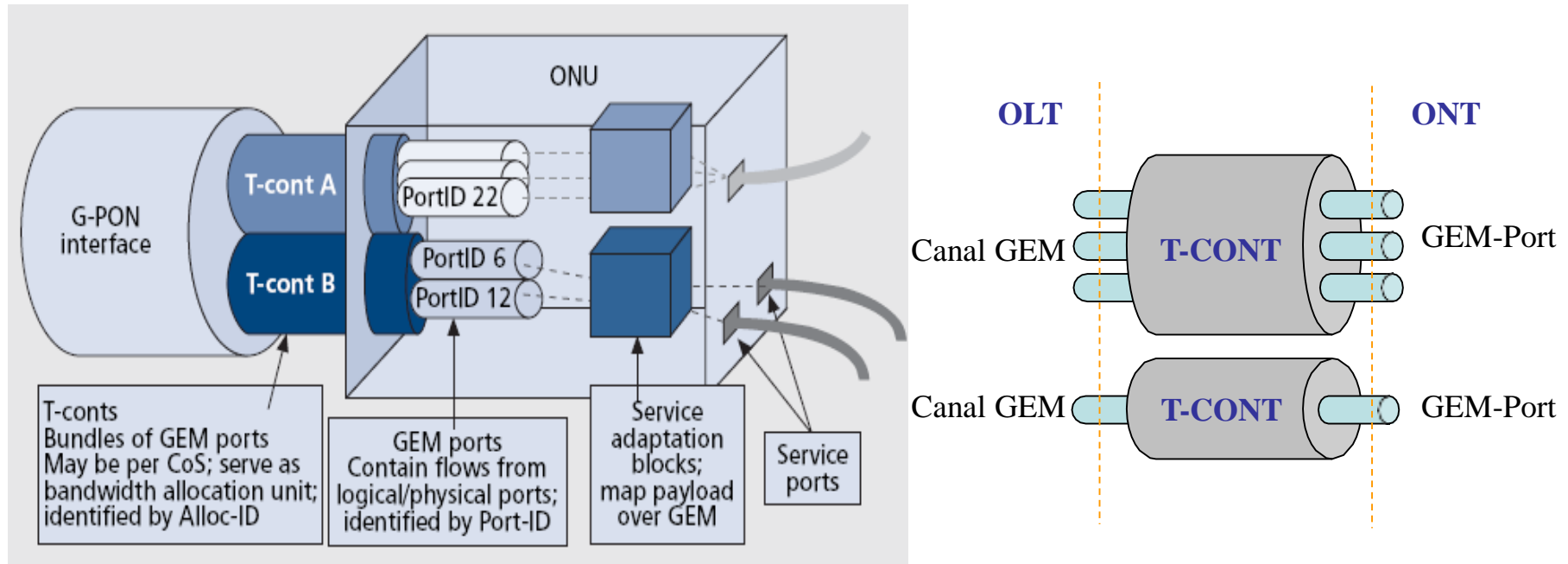
Canales GEM de sólo Downstream:

- Se usan para tráfico Broadcast / Multicast de OLT a ONTs.
- Los ONT identifican el tráfico para ellos con el ID del puerto GEM.

Canales GEM Bi-direccionales:

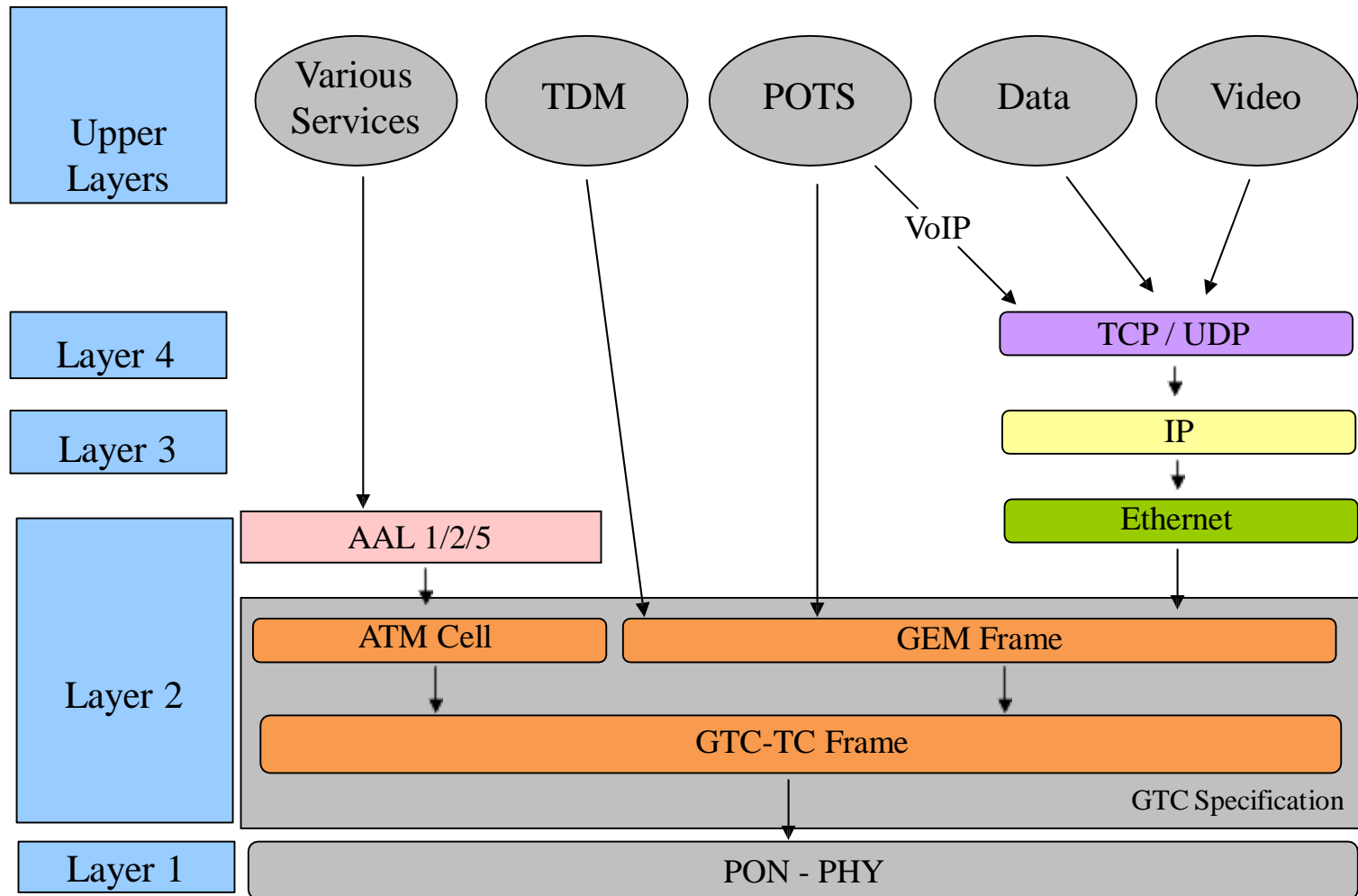
- Se usan para tráfico UL y DL entre OLT y ONT.
- Las tramas se transmiten desde la OLT en la interfaz GPON y se envían sólo a la interfaz U de la ONT a la cual el puerto GEM fue asignado.

MULTIPLEXACIÓN DE SERVICIOS



- **GEM Port / Canal GEM:** unidad mínima de transporte de servicios
- **T-CONT:** contenedor de transmisión de datos en UL, permite además realizar la alocaión dinámica de ancho de banda.
- **GPON Interface:** Interface GPON hacia la OLT.
- **ONT Port:** puerto físico de la ONT (Ethernet, POTS, E1, etc.)

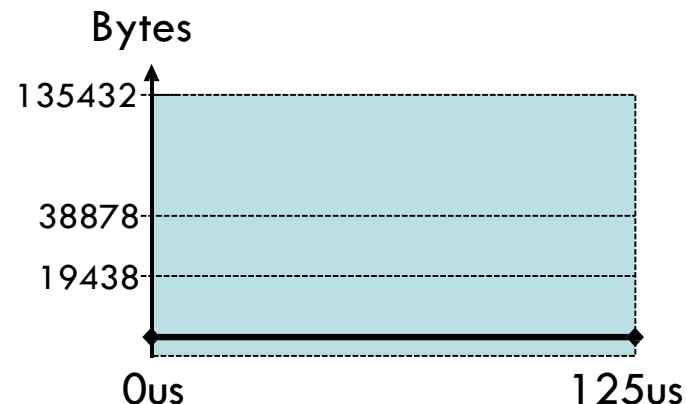
FORMATO DE ENTRAMADO GPON



AAL = ATM Adaptation Layer entre capas 1, 2 y 5

DURACIÓN Y TAMAÑO DE TRAMAS GPON

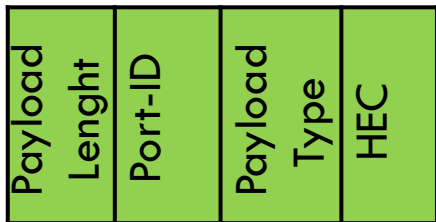
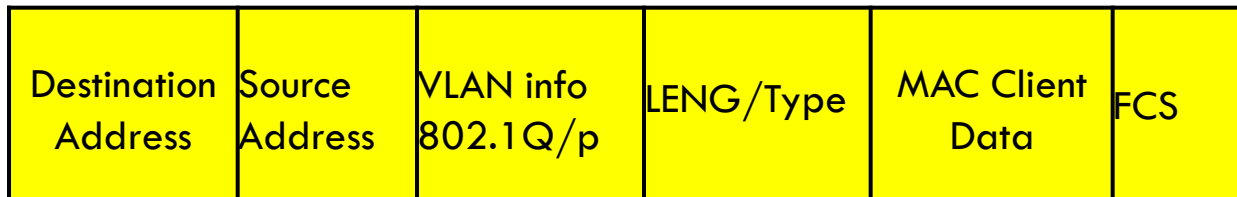
- Las tramas GTC en canal DL y UL son de 125 μ s
- El tamaño de estas tramas es el factor que determina la velocidad en canales DL y UL:



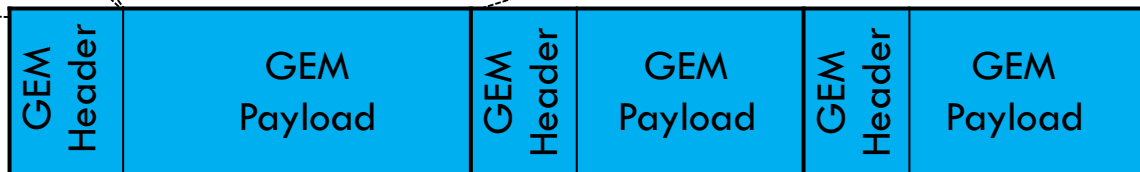
Bytes por trama GTC	Velocidad Gbps	Aplicación
19438	1,244	Canal UL GPON
38878	2,488	Canal DL GPON y canal DL en XG-PON1
65536	4,199	Sin utilizar
135432	9,953	Canal DL XG-PON1 y XG-PON2. Canal UL XG-PON2

ENCAPSULAMIENTO DE TRAMAS ETHERNET, GEM Y GTC

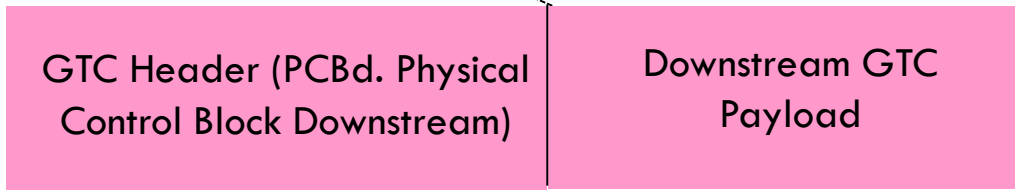
Trama Ethernet



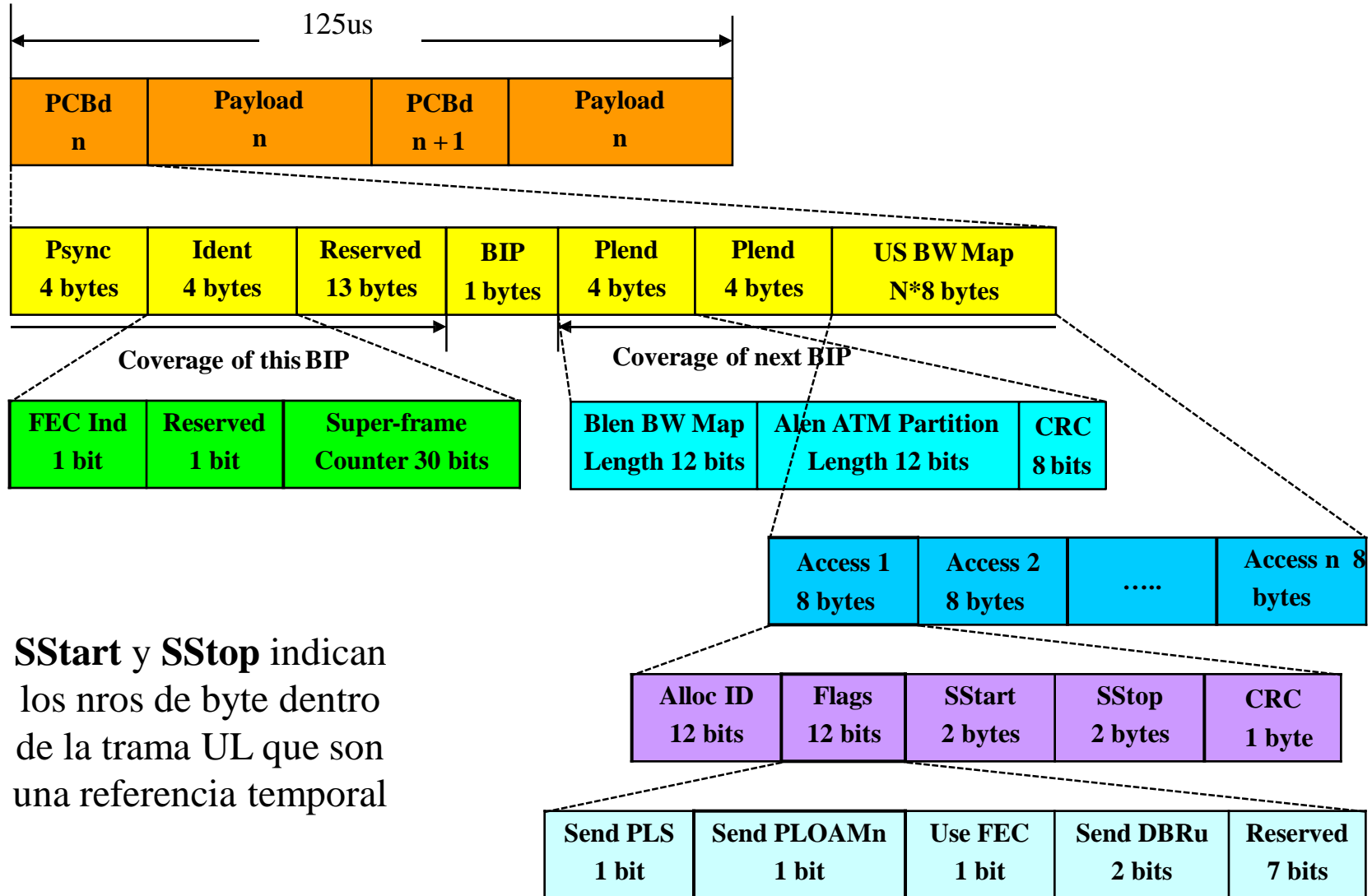
Trama GEM



Trama GTC



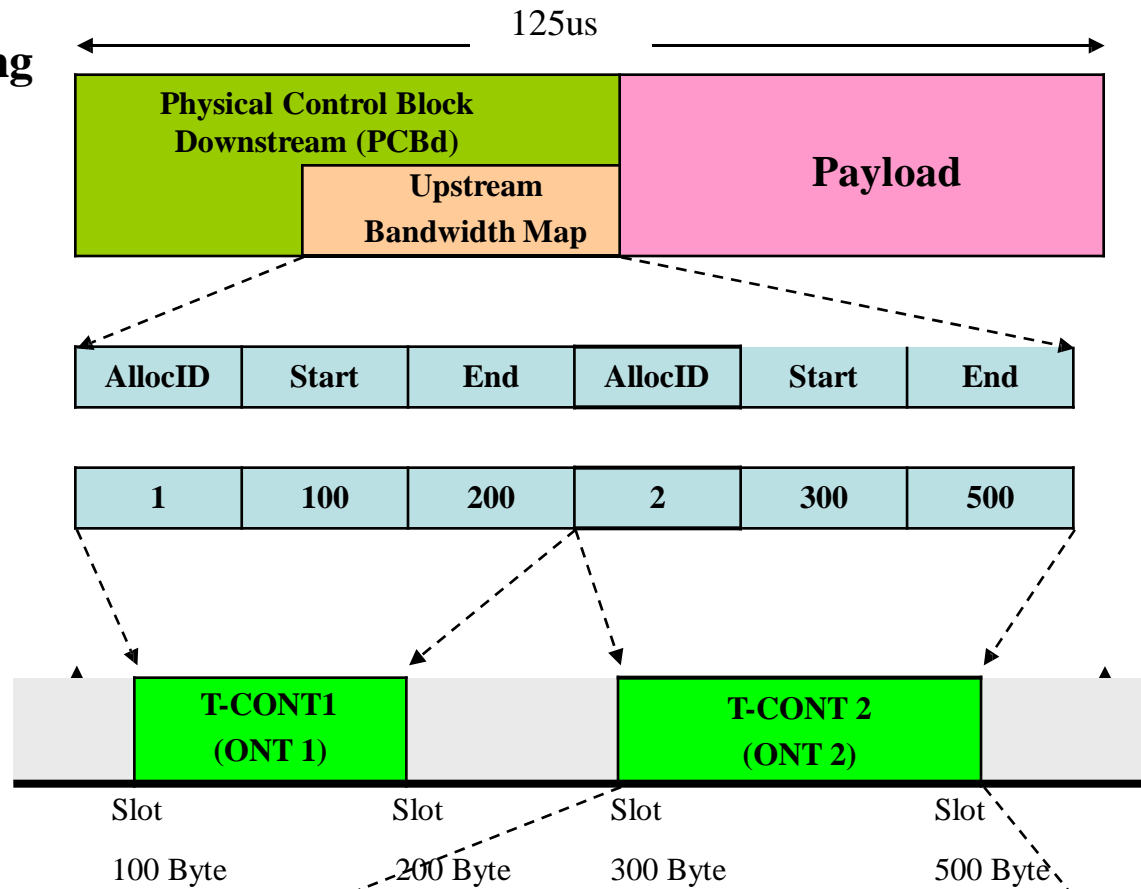
FORMATO DE TRAMA EN DOWSTREAM (I)



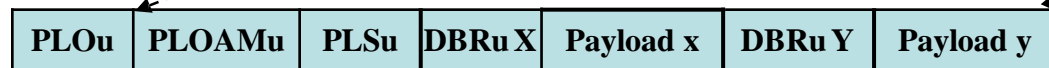
SStart y SStop indican los nros de byte dentro de la trama UL que son una referencia temporal

FORMATO DE TRAMA EN DOWSTREAM (II)

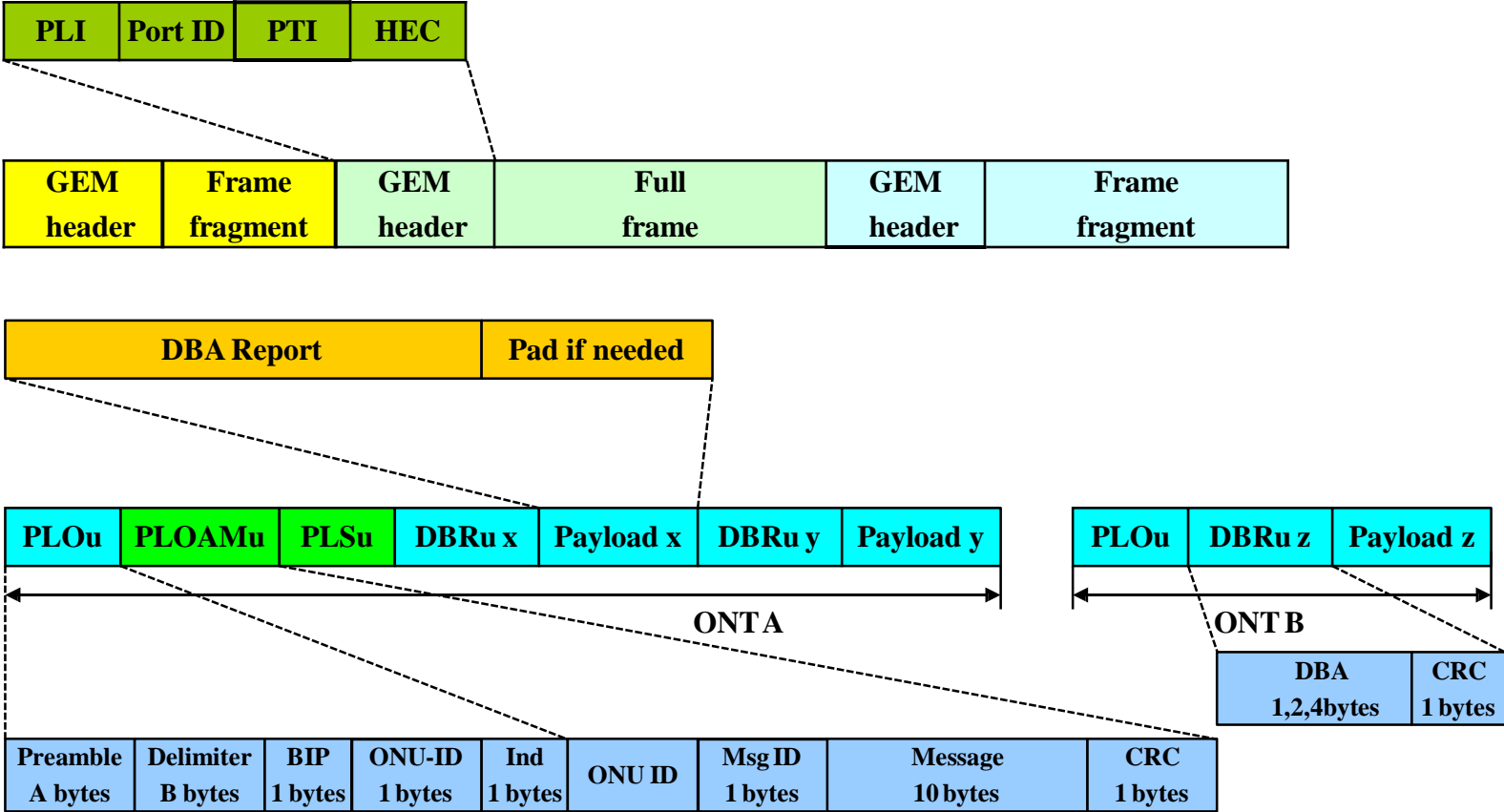
Downstream Framing



Upstream Framing



FORMATO DE TRAMA EN UPSTREAM



VLANs EN REDES GPON

- En la interfaz U, el tráfico se clasifica en VLAN Ethernet con diferentes prioridades basadas en:
 - ✓ Puerto físico
 - ✓ ID de VLAN
 - ✓ 802.1p bits (CoS – Class of Service)
 - ✓ DSCP (Differentiated Services Code Point)
- Al asignarse una VLAN y valores de CoS (802.1p) al tráfico, estos dos valores se usan para seleccionar un Canal GEM downstream tal que se puede aplicar QoS a los flujos transportados por el mismo.
- En sentido DL, la ONT reenvía el tráfico recibido por los canales GEM a las interfaces U apropiadas.

ARQUITECTURA CON ASIGNACIÓN DE VLAN RELACIÓN 1: 1

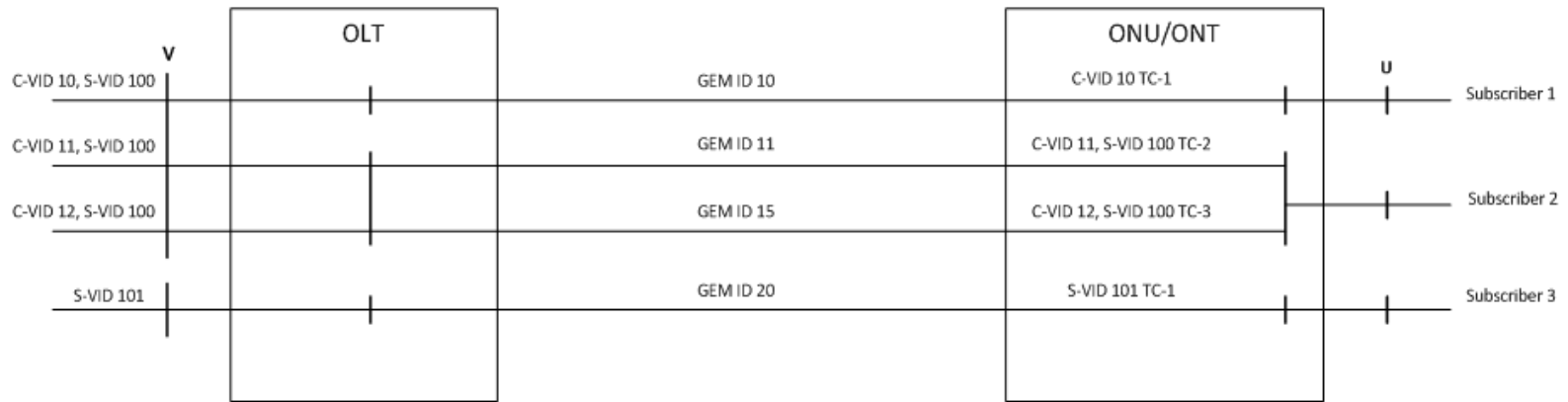


Figure 3. 1:1 VLAN Model

- El ONT mapea 1:1 cada VLAN a una interfaz única U.
- Hay 3 variantes para asignar etiquetas en la interfaz V en dirección UL - el tráfico puede ser **“doble o simple etiquetado”**, según:
 - ✓ Para **VLAN doble etiquetado**, el ONT asigna un C-VLAN ID o traduce un C-VLAN ID. La OLT añade el S-VLAN ID (**Cliente 1**)
 - ✓ Para **VLAN doble etiquetado**, el ONT asigna S-C VLAN IDs. La OLT deja pasar ese tráfico (**Cliente 2**)
 - ✓ Para **VLAN simple etiquetado**, el ONT asigna un S-VLAN ID o traduce un S-VLAN ID. La OLT deja pasar el tráfico (**Cliente 3**)
- En la **dirección DL**, la OLT quita la etiqueta exterior o deja pasar el tráfico al canal GEM basándose en valor de etiqueta y bits de prioridad. El ONT elimina etiquetas y envía tramas desde el canal GEM a su interfaz U asociada.

ARQUITECTURA CON ASIGNACIÓN DE VLAN RELACIÓN N: 1

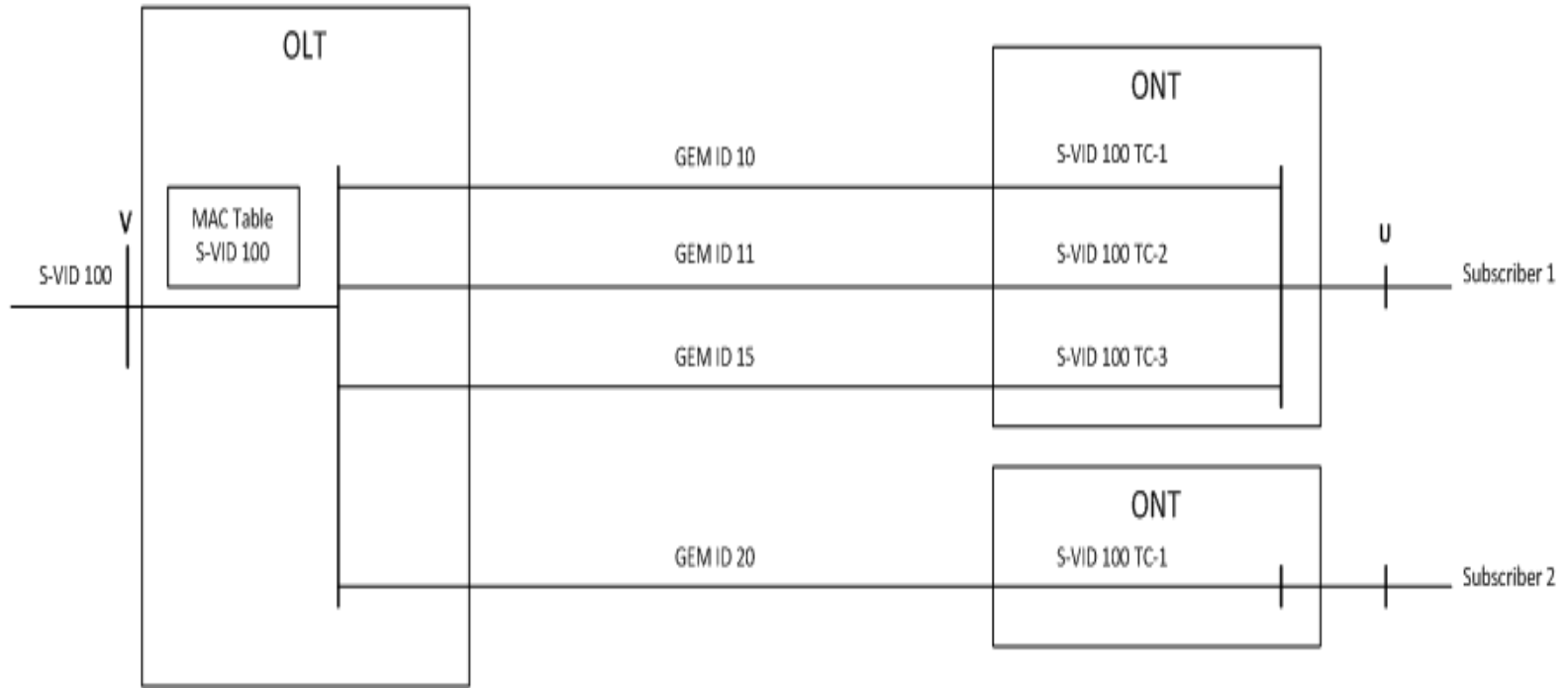
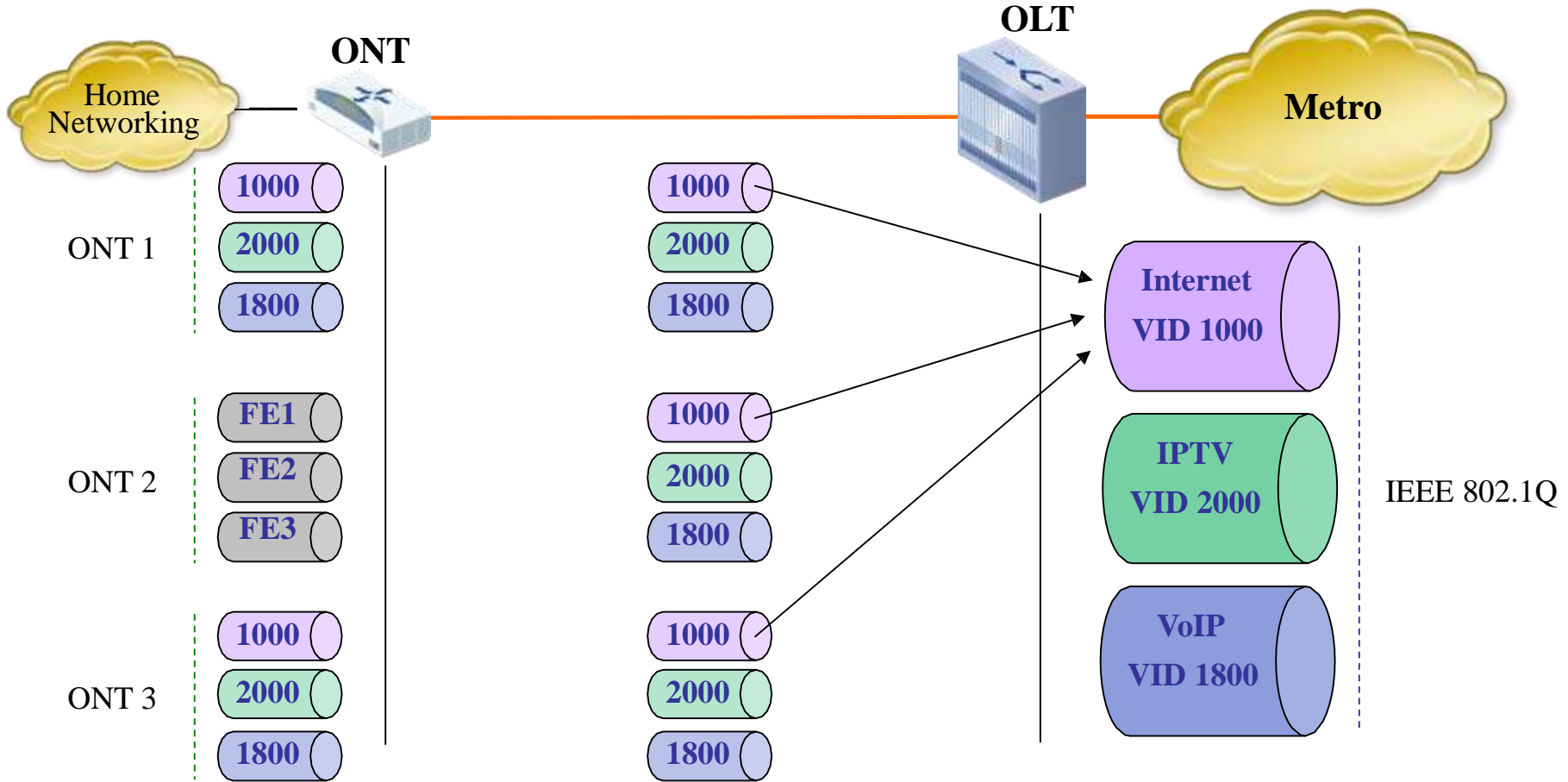


Figure 4. N:1 VLAN Model

- **Para tráfico UL**, el ONT añade un S-VLAN ID o traduce un S-VLAN ID. La OLT deja pasar cualquier tráfico de subida con S-VLAN ID.
- **Para tráfico DL**, la OLT dejará pasar el tráfico con S-VLAN ID a ONT por la determinación de canal GEM basado en la dirección MAC y los bits de prioridad.
- **Si el canal GEM no se puede determinar, entonces la trama se inunda con el canal GEM unidireccional asociado con el S-VLAN ID.**
- El ONT quitará la etiqueta y llevará el tráfico del canal GEM a la interfaz U asociada.
- El tráfico es siempre marcado como Simple Etiquetado en la interfaz V

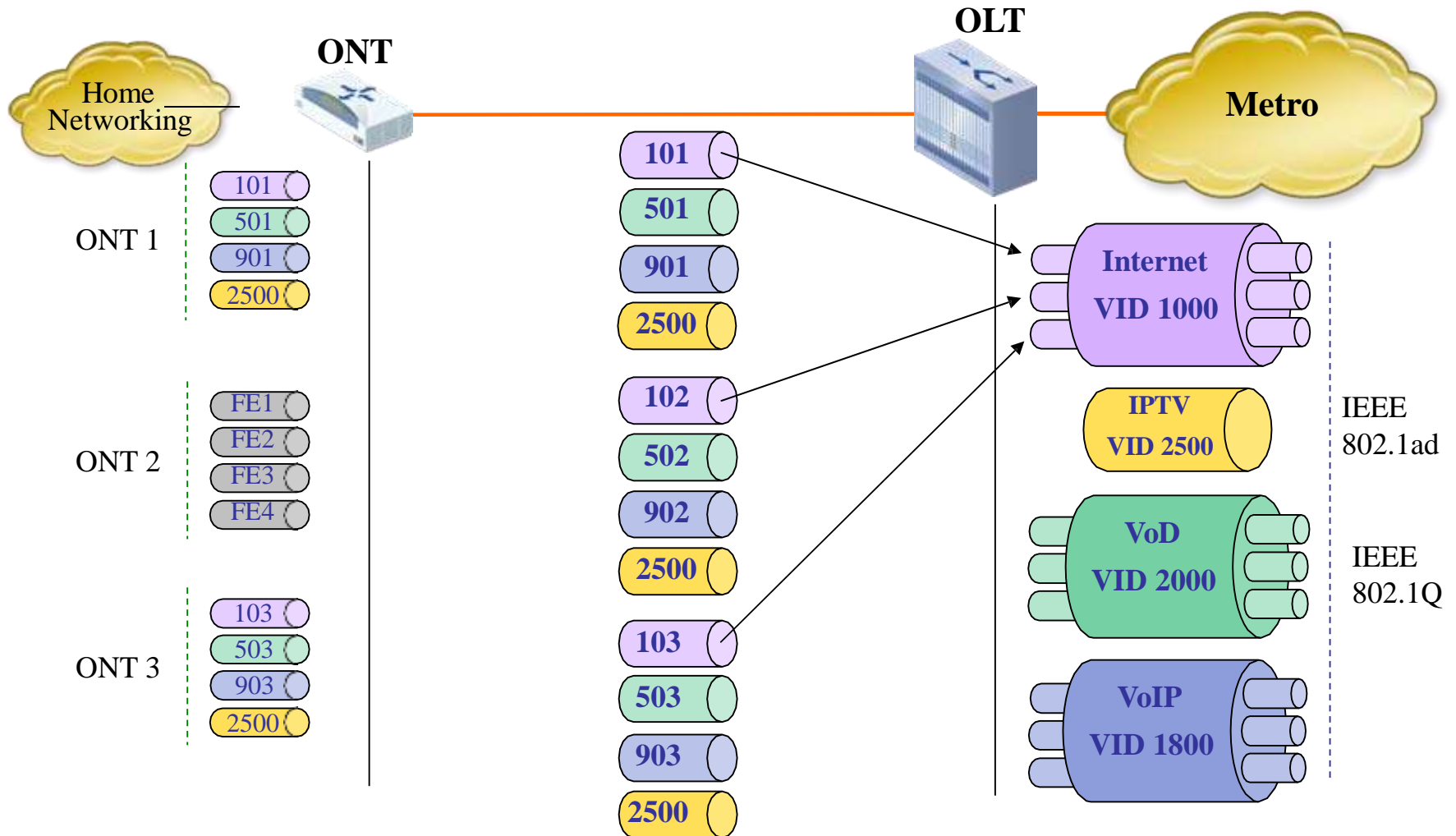
EJEMPLO 1: VLAN POR SERVICIO



ONT performs VLAN/Port Mapping and sends traffic Tagged/Untagged

OLT working in Bridged Mode

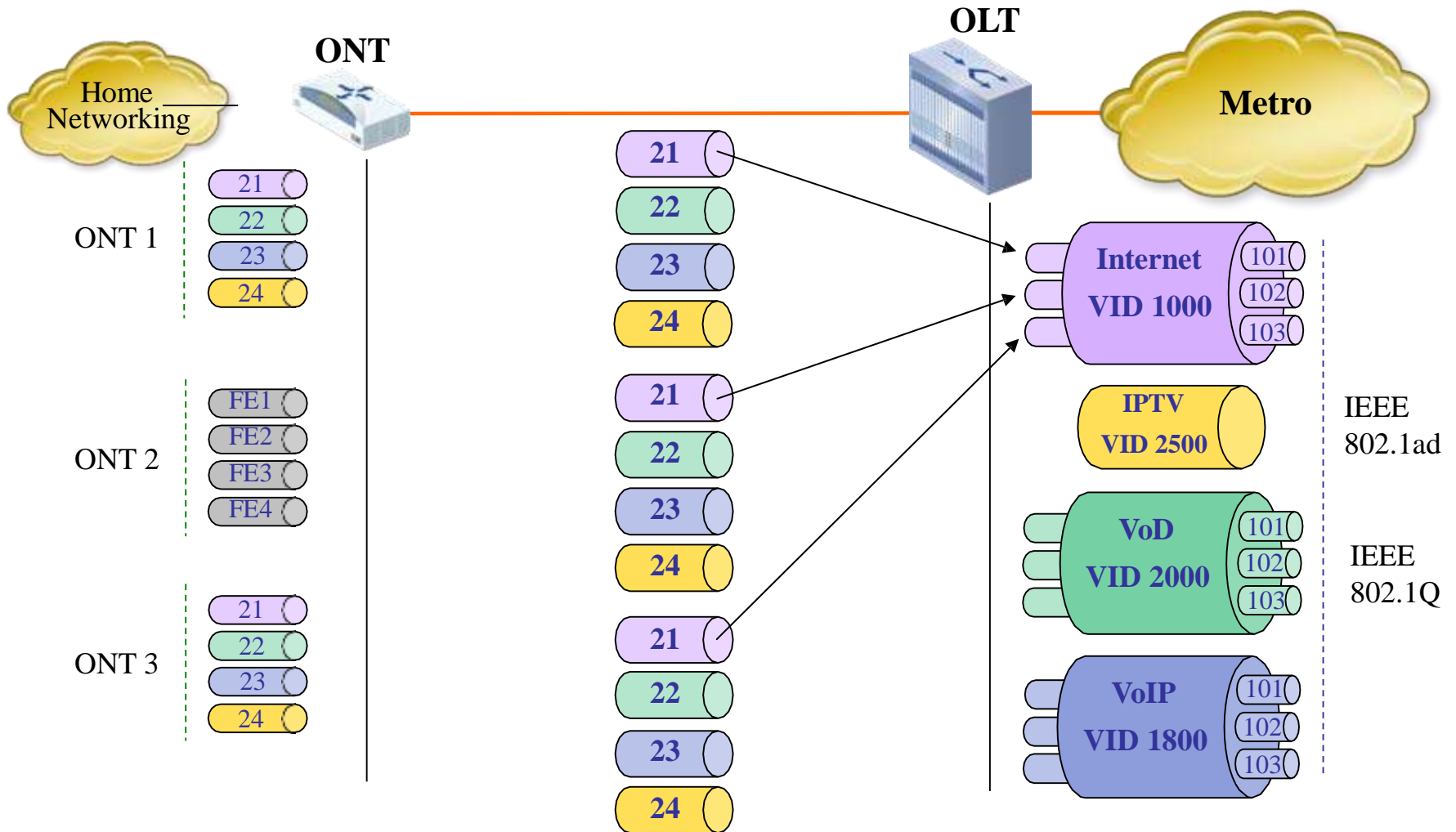
EJPLO 2: VLAN POR USUARIO + VLAN POR SERVICIO



ONT performs VLAN/Port Mapping and sends traffic Tagged/Untagged

OLT working in Bridged Mode.
Traffic Tagged with S-VLAN and C-VLAN

EJEMPLO 3: VLAN TRANSLATION



ONT performs VLAN/Port Mapping and sends traffic Tagged/Untagged

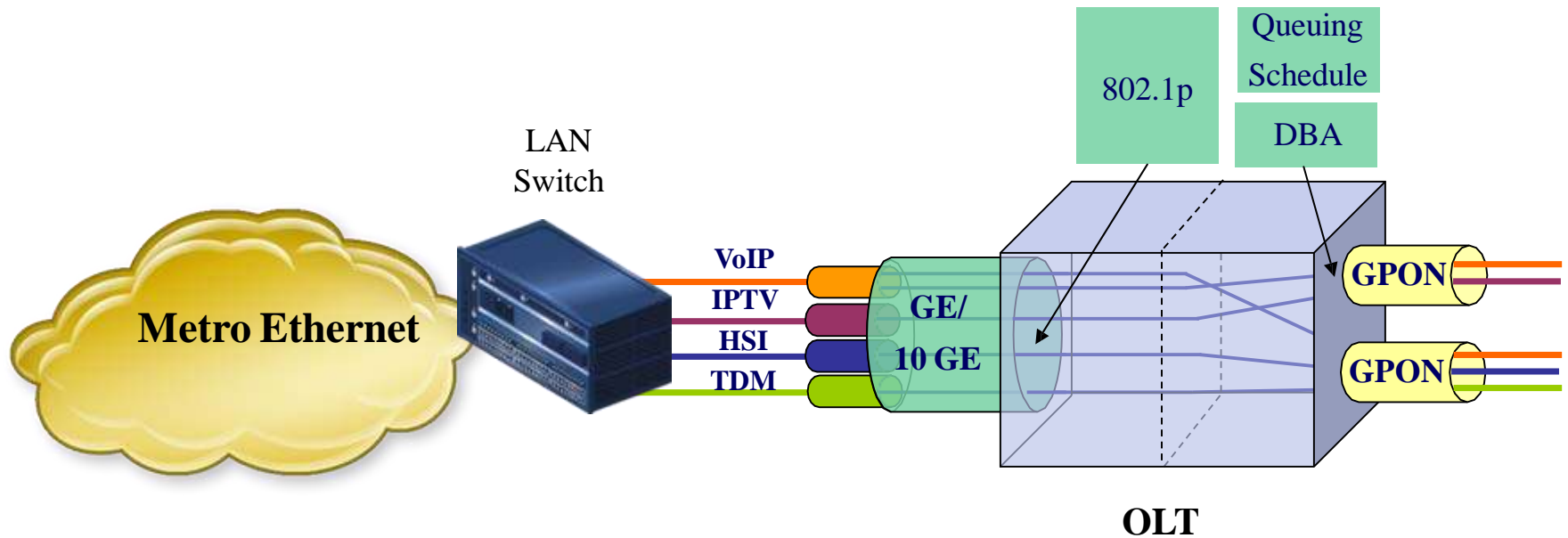
OLT performs Inter-VLAN routing. Traffic Tagged with S-VLAN and C-VLAN

Soporte de QoS Ethernet en GEM

- Un enlace GPON entre OLT y ONT transporta servicios Ethernet, encapsula servicios ATM y TDM (E1, E3) y la capa de Convergencia de Transmisión GPON (GTC) encapsula tramas GEM con tramas Ethernet (esquema de capas).
- Se requiere un mecanismo en GEM para soportar QoS Ethernet (802.1p).
- Se emplean dos mecanismos para soportar QoS:
 - ✓ Clasificación en Clases de Tráfico (TC)
 - ✓ Reenvío de las TC en los puertos GEM y uso de T-CONTs configurados para emular servicio QoS Ethernet

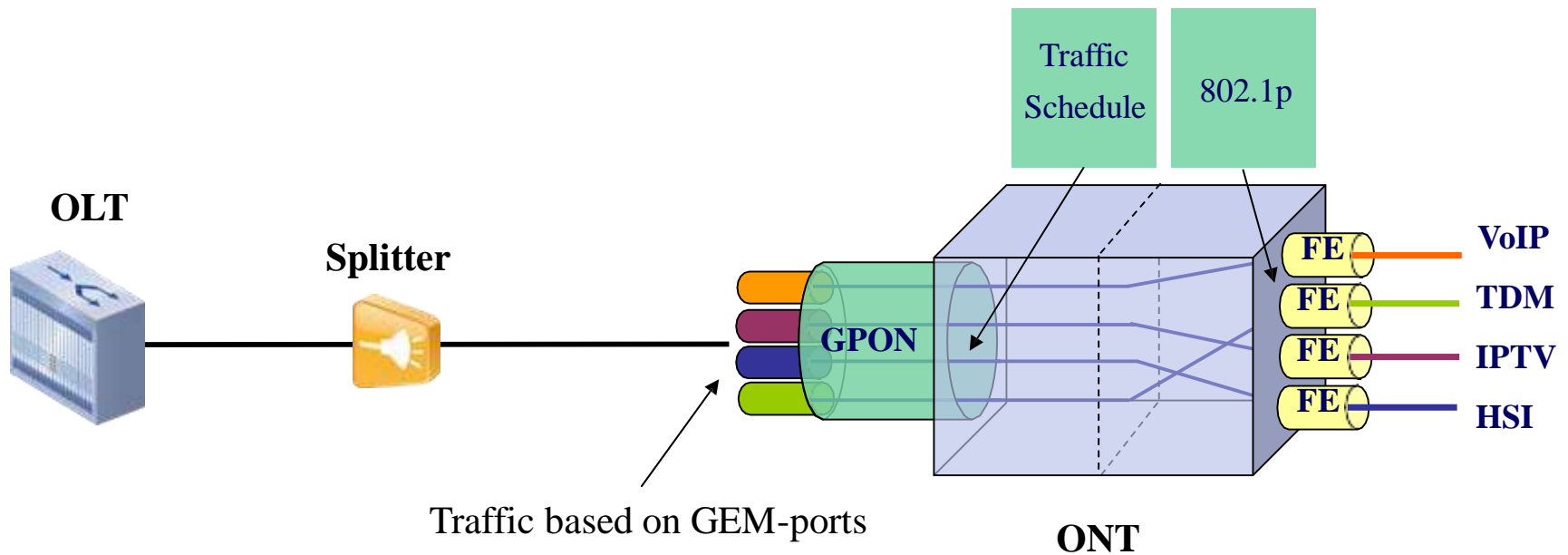
QoS EN LA OLT

- Clasificación de tráfico basado en VLAN/802.1p.
- Scheduling de servicios basado en la combinación de prioridades por algoritmos SP (Strict Priority) y WRR (Weighted Round Robin).
- Algoritmo DBA, mejora el uso del ancho de banda en sentido UL.
- Control de acceso basado en ACLs (Access Control List) de capa 2 y superiores.



QoS EN LA ONT

- Clasificación de tráfico basado en VLAN/802.1p.
- Scheduling de servicios basado en la combinación de prioridades por algoritmos SP (Strict Priority) y WRR (Weighted Round Robin).
- Transmisión de servicios basada en el mapeo en diferentes T-CONTs, mejorando el uso de los enlaces.



GESTIÓN DE TRÁFICO ASCENDENTE

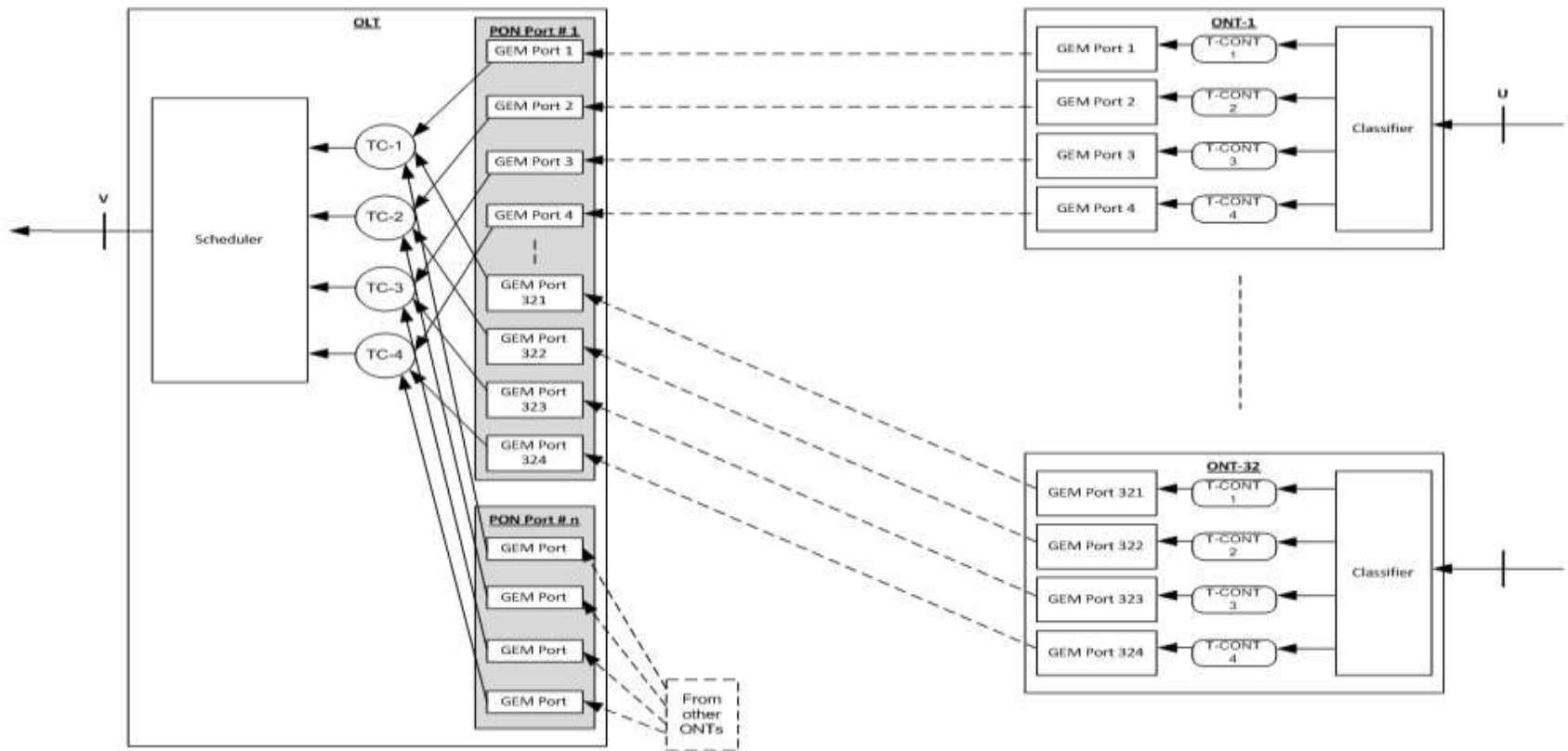


Figure 5. Upstream Traffic Management

- Muestra 4 T-CONTs por interfaz PON donde c/u representa una TC.
- El clasificador recibe tráfico desde la interfaz U y mapea a los T-CONTs, según la configuración que usa en los puertos GEM asociados.
- Si hay más interfaces UNI en el mismo ONT tmb se clasifica y mapea el tráfico, según TCs.
- El tráfico UL de otros ONTs se mapean a otros 4 T-CONTs, según TCs.
- En la OLT, cada TC tiene asignada una cola. T-CONTs de varios ONT que comparten el mismo TC se asignan a la misma cola y un scheduler envía tráfico de las colas a la red por la interfaz V.

GESTIÓN DE TRÁFICO DESCENDENTE

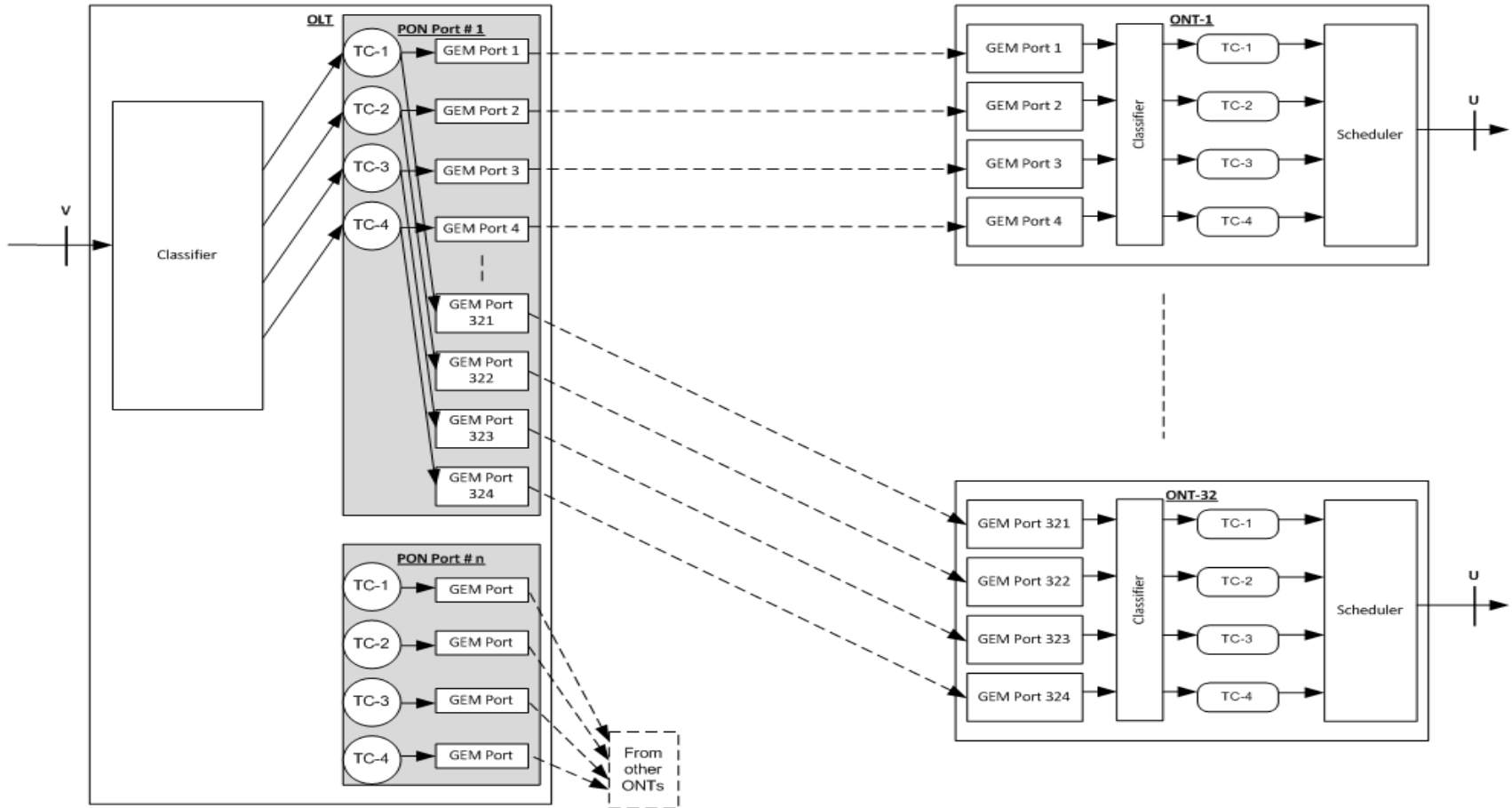
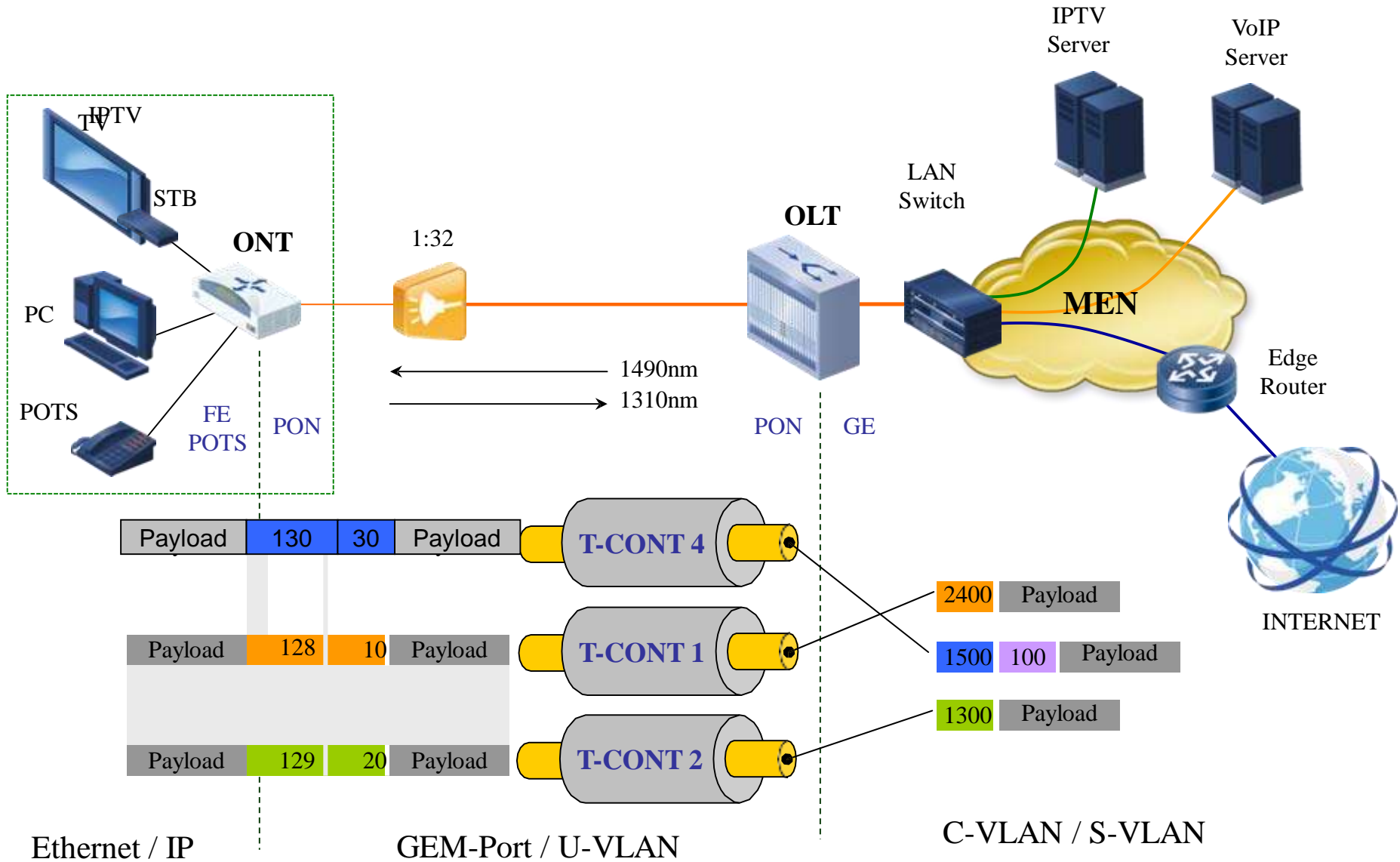


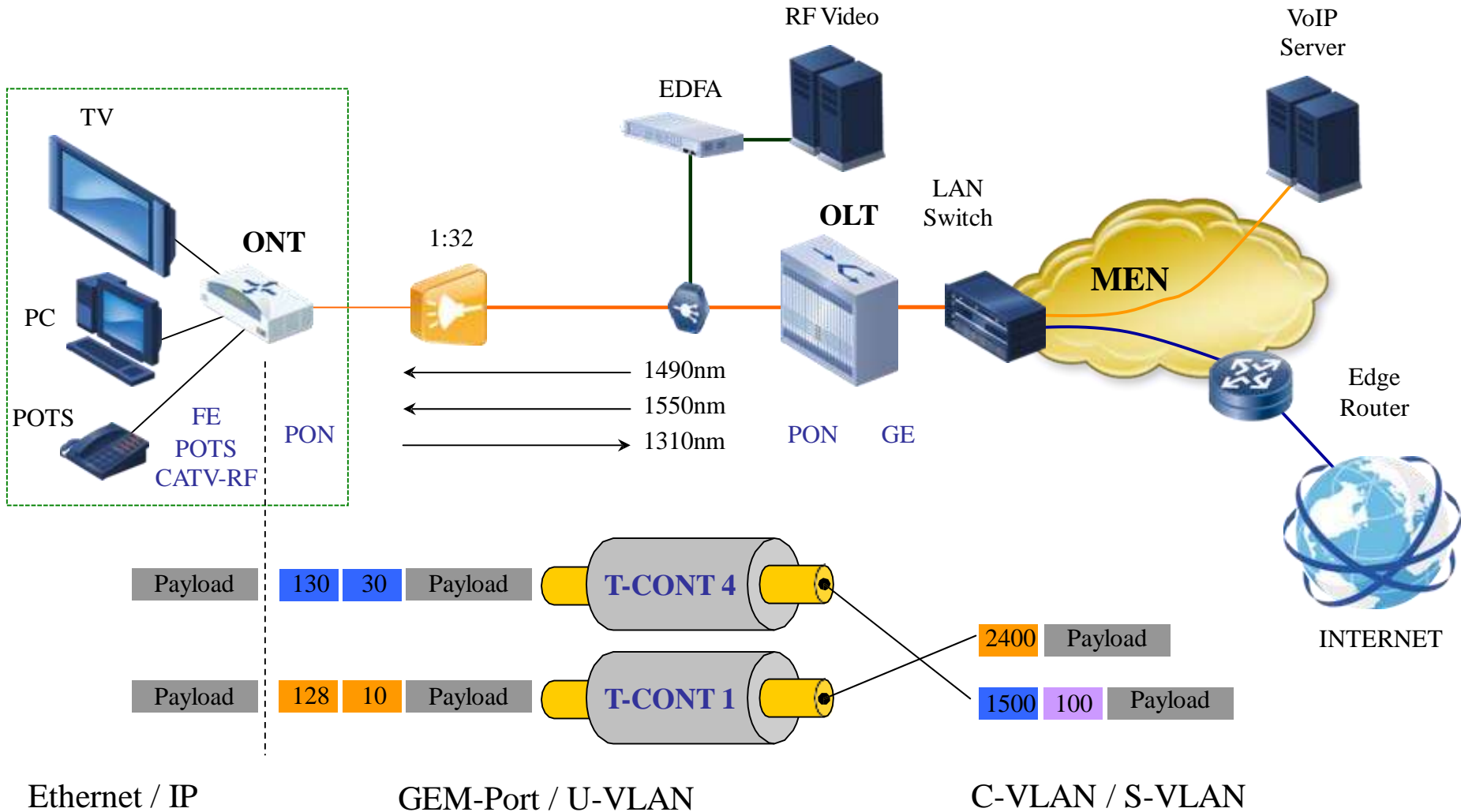
Figure 6. Downstream Traffic Management

- En dirección DL, no se utiliza T-CONT.
- En la OLT, un clasificador asigna el tráfico de la interfaz **V** a las colas, según TC.
- Se transmite luego en dirección descendente a la interfaz PON.
- En el ONT, el tráfico se clasifica de nuevo y se coloca en colas apropiadas por TC para cada interfaz **U**. Un scheduler maneja la Tx de tramas en la interfaz **U**.

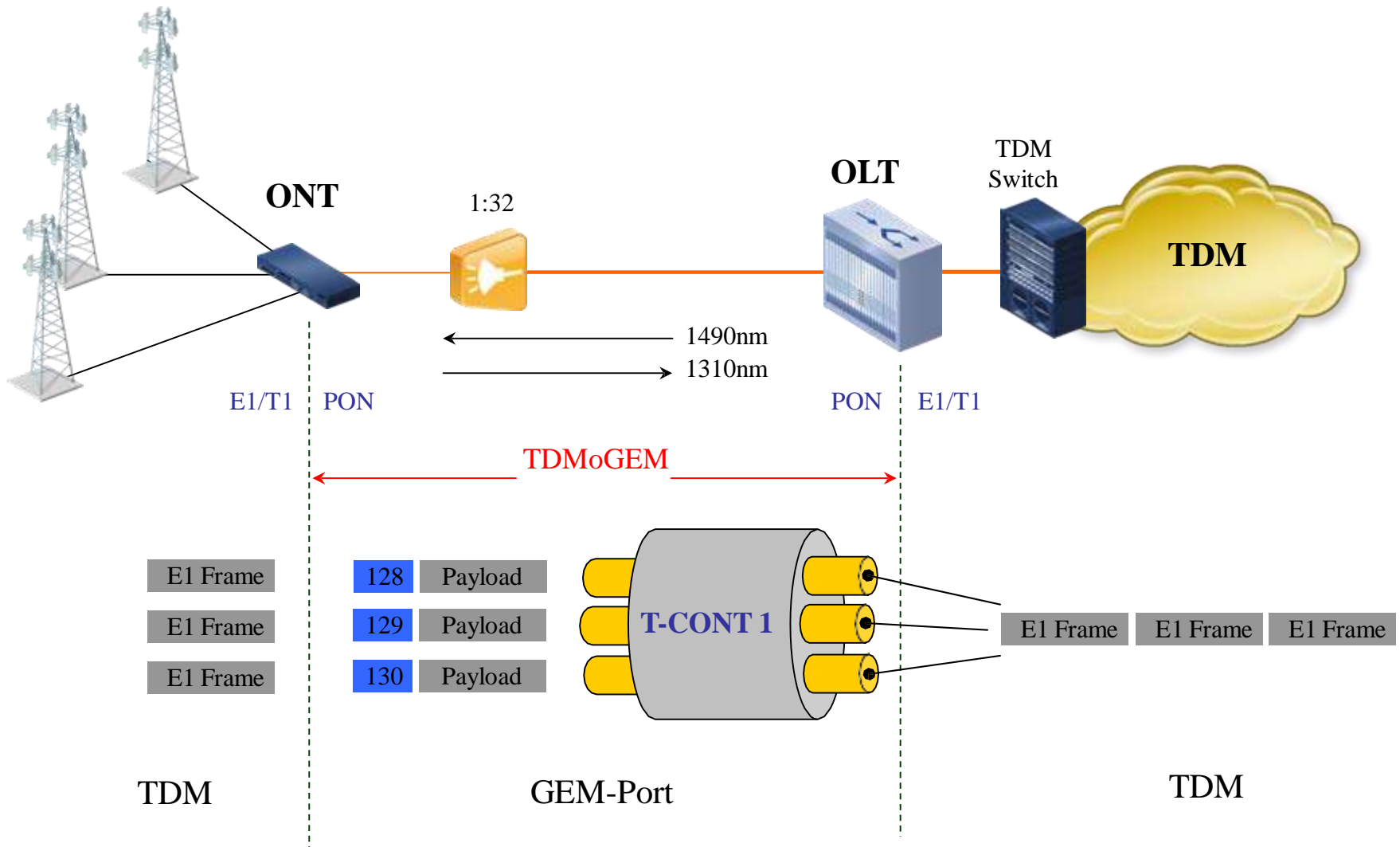
EJEMPLO 1: IMPLEMENTACIÓN DE REDES GPON - TRIPLE PLAY -



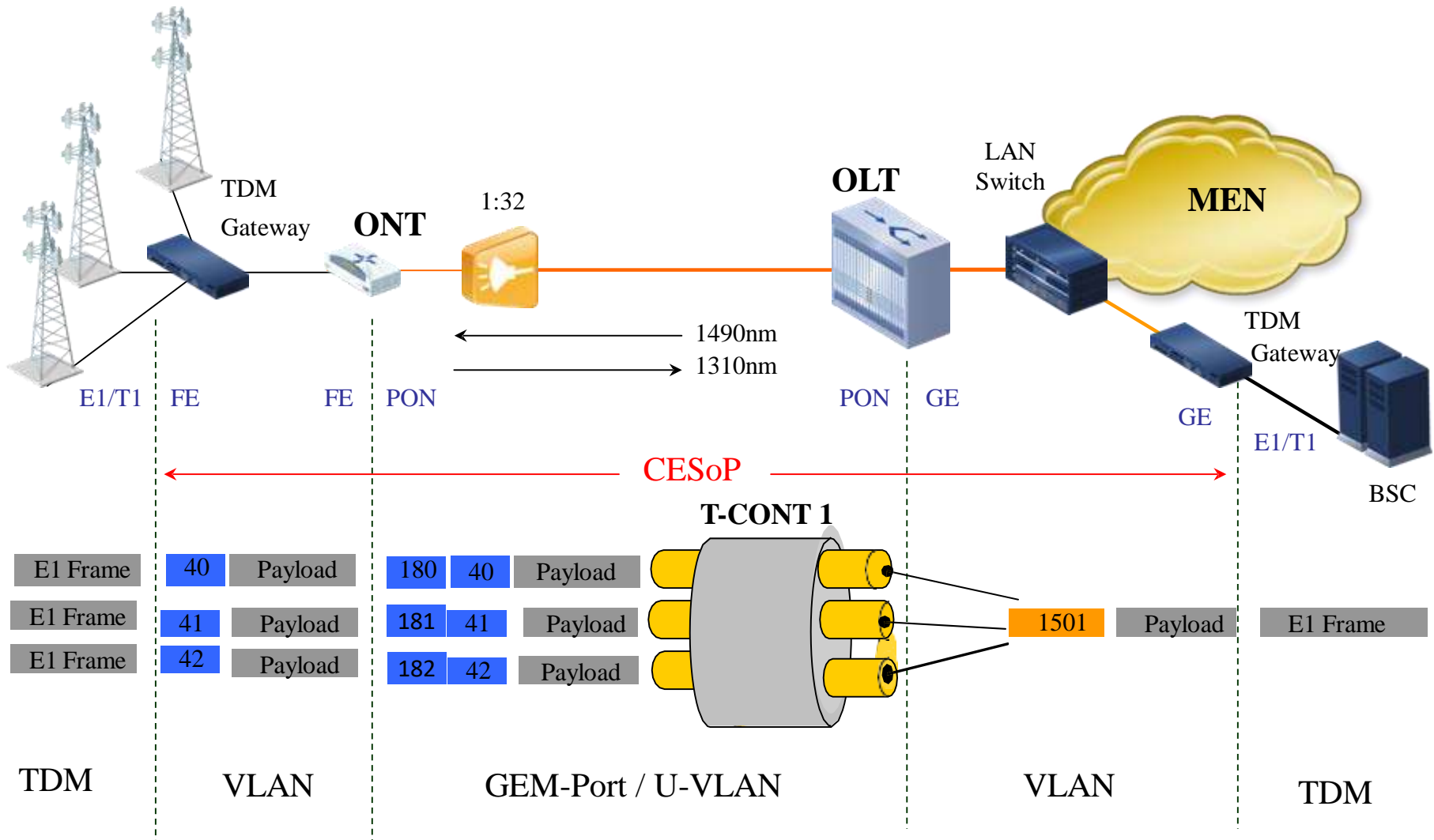
EJEMPLO 2: IMPLEMENTACIÓN DE REDES GPON - INTERNET, VOZ Y CATV-RF -



EJEMPLO 3: IMPLEMENTACIÓN DE REDES GPON - TDM NATIVO (TDMoGEM) -

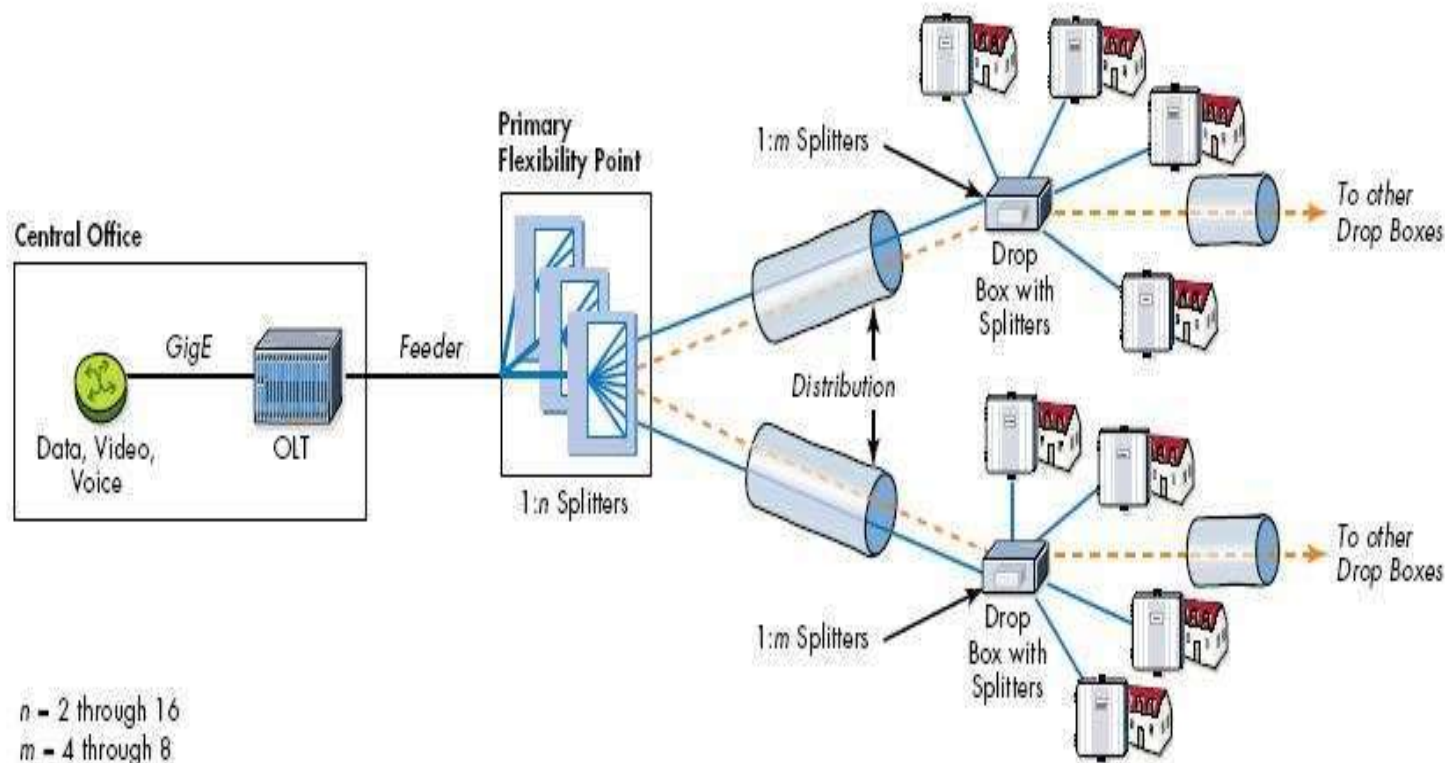


EJEMPLO 4: IMPLEMENTACIÓN DE REDES GPON - TDM por Circuit Emulation (CESoP) -



CRITERIOS DE DISEÑO DE REDES

ARQUITECTURA DE GPON CON 2 NIVELES DE SPLITTERS



- De la **1ra. etapa de “Splitting”** 1:n salen n FO por cada FO “feeder”.
- Luego se tiene un cableado de Distribución que finaliza en un **2da. Etapa de “Splitting”** 1:m que en gral oficia tmb de Drop Box, desde allí salen los cables de acometida (Drop Cables) de FO directamente al cliente.
- Típicamente, el cableado de Distribución es de tendido aéreo.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SPLITTERS

- **Permiten la conexión P2MP y que las señales ópticas de una FO sean distribuidas a otras varias FO.**
- **Los splitters ópticos se implementan cascadeando splitters “físicos” 1:2, donde la señal de entrada se divide en 2 resultando en una pérdida de 3,5 dB aprox. Cada camino vuelve a separarse en 2 dando mayor distribución pero tmb agregando más pérdida de potencia.**
- **Por ejemplo: un splitter tipo 1:32 tendrá 5 etapas de splitting resultando en una pérdida de 17.5 dB aprox.**
- **La pérdida no es exactamente igual en un splitter 1:32 que si se colocan 5 splitters de 1:2, ésta será algo superior por los conectores externos necesarios, mientras que en el otro caso esto se realiza internamente.**

PÉRDIDAS DE INSERCIÓN EN SPLITTERS COMERCIALES

PERDIDA DE INSERCIÓN EN SPLITTERS

RELACIÓN DE SPLIT	PERDIDA DE INSERCIÓN
1:2	3,6
1:4	7,2
1:8	11
1:16	14
1:32	17,5

¿CÓMO SE CALCULA LA D MÁXIMA DE UNA RED GPON?

- Todas las tecnologías PON con distintas λ usan FO estándar G.652 ITU-T.
- **La $D_{\text{máx}}$ entre OLT y ONT es ≤ 20 km, determinada por:**
 - ✓ Los equipos clasificados en 4 clases (A, B, C, D), según su potencia transmitida. Valores típicos para equipos: +1 a +5 dB.
 - ✓ La sensibilidad en Rx de los equipos es la mínima potencia capaz de reconocerse correctamente. Valores típicos: -25 a -27 dB.
 - ✓ La pérdida de inserción debida a la FO depende de la λ usada. Es de 0.4 dB/km para 1310 nm y de 0.3 dB/km para 1490 nm.
 - ✓ **Pérdida por splitters**, depende de la relación de splitting; y por los conectores que típicamente es de 0.5 dB aprox.
 - ✓ **Pérdida por empalme**, depende de su tipo: mecánico tiene 0.5 dB aprox. y por fusión tiene 0.1 dB aprox.
 - ✓ **Pérdida introducida por los conectores**

ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA RED GPON

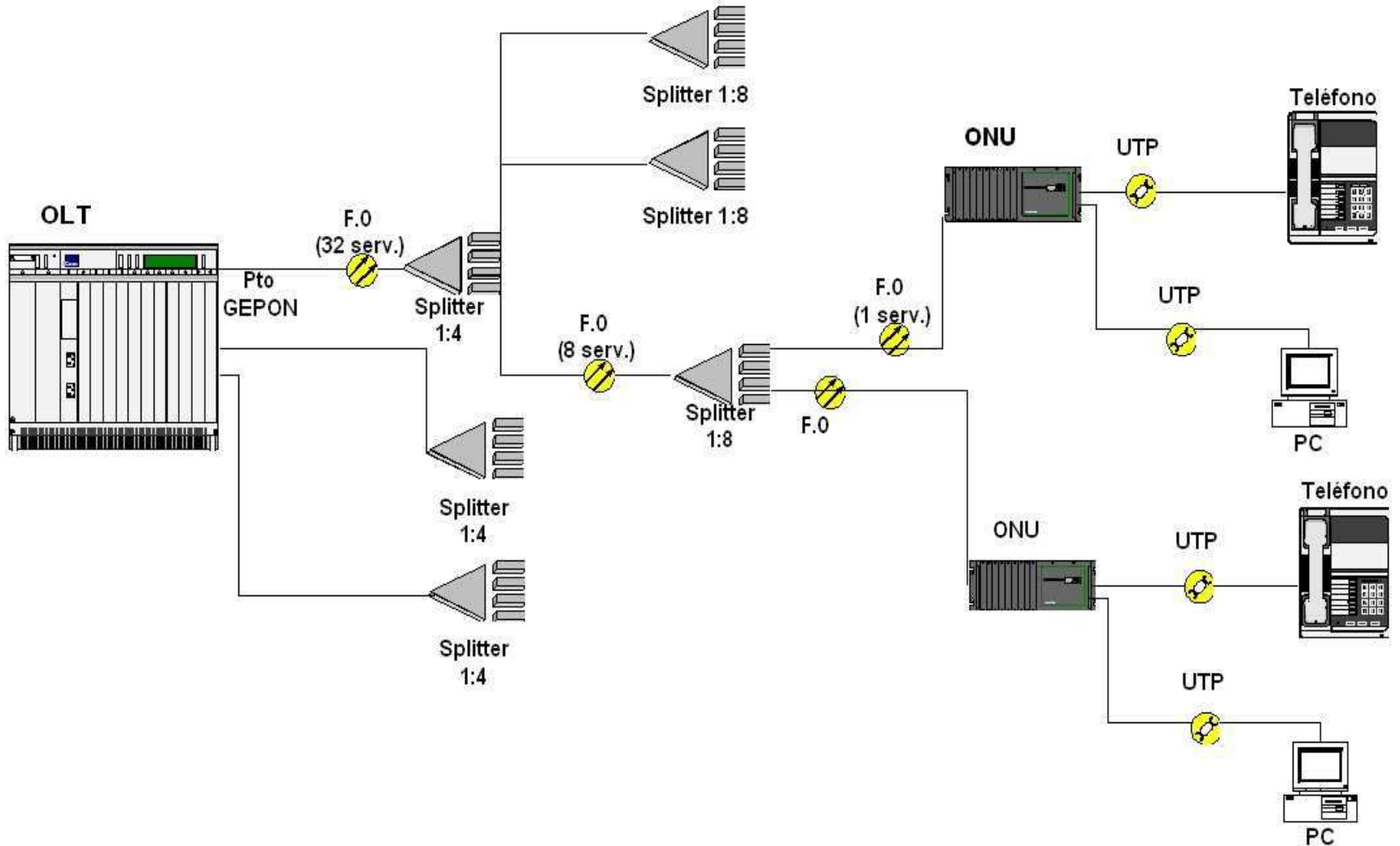
- Como los splitters tienen una pérdida importante de potencia en relación a los otros elementos, el diseño de la red debe ser cuidadosamente balanceado entre:

- ✓ **ramificación alta de FO**
- ✓ **distancias a los clientes**
- ✓ **potencias manejadas por OLT y ONT**

- Desde lo económico, también debe analizarse cuidadosamente las configuraciones posibles, con un compromiso entre:

- ✓ **cantidad de splitters**
- ✓ **cantidad de FO**
- ✓ **número de puertos necesarios en la OLT**

ALTERNATIVA 1 – ARQUITECTURA CON 2 NIVELES DE SPLITTERS



CRITERIOS CONSTRUCTIVOS DE ALTERNATIVA 1

1ro. → Etapas de Splitters

- Después del tramo inicial de FO hay una etapa de splitter 1:4.
- Luego hay un nuevo tramo secundario de FO que finaliza en una 2da. etapa de splitters 1:8 en la manzana donde están los clientes (este splitter se puede comparar con una caja de distribución de la RTPC).
- Desde este último splitter hay un cable de acometida de FO por cliente.
- **Con estas 2 etapas de splitting en cascada se tiene una relación 1:32.**

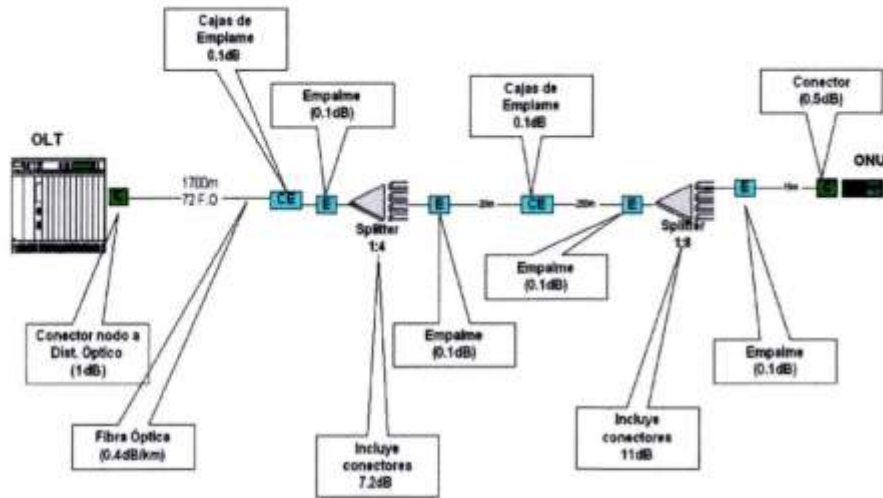
2do. → Cantidad de usuarios por acceso GPON

- Hay **1,25 Gbps UL** compartido entre usuarios conectados a cada puerto GPON.
- **En este caso se tienen 32 usuarios por puerto GPON y se obtiene un AB de 39 Mbps aprox. por usuario.**

3ro. → Ancho de Banda por Cliente en UL

- Se tiene 32 clientes por puerto GPON y como la OLT tiene 8 puertos GPON soporta 256 clientes.
- **La OLT tiene 4 interfaces de 1GE en su UL hacia el Core, por lo que se soporta un tráfico pico promedio por cliente (simultáneo) de \leq 15,6 Mbps.**

ATENUACIÓN O PÉRDIDA DE INSERCIÓN POR ELEMENTO DE ALTERNATIVA 1



ATENUACIÓN E2E Y D MÁXIMA EN ALTERNATIVA 1

- **Peor caso → las D corresponden al cliente más lejano.**

- **La atenuación total e2e se obtiene como:**

✓ **FO:** $1700\text{m} + 250\text{m} + 20\text{m} + 15\text{m} * 0.4 \text{ dB/km} = \mathbf{0.8 \text{ dB}}$

1000

✓ **Conectores:** $1.0\text{dB} + 0.5\text{dB} = \mathbf{1.5\text{dB}}$

✓ **Empalmes:** $6 \times 0.1\text{dB} = \mathbf{0.6\text{dB}}$

✓ **Splitters:** $7.2\text{dB} + 11\text{dB} = \mathbf{18.2\text{dB}}$

Siendo **21.1 dB.**

- Esta pérdida e2e cumple con el **“Loss Budget”** que es de **29 dB.**
- **Si los clientes estuviesen más lejos,** los elementos no cambiarán, excepto que surgen nuevos empalmes para unir bobinas de cable de FO de 4km.
- La D máxima alcanzable surge de la D con la que se alcanza la atenuación admitida de **29dB,** que es de **19.5km (sin empalmes de bobinas)** más los **1.985m hasta este punto → la D alcanzable es de 21.5km.**

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- ALTERNATIVA 1 -

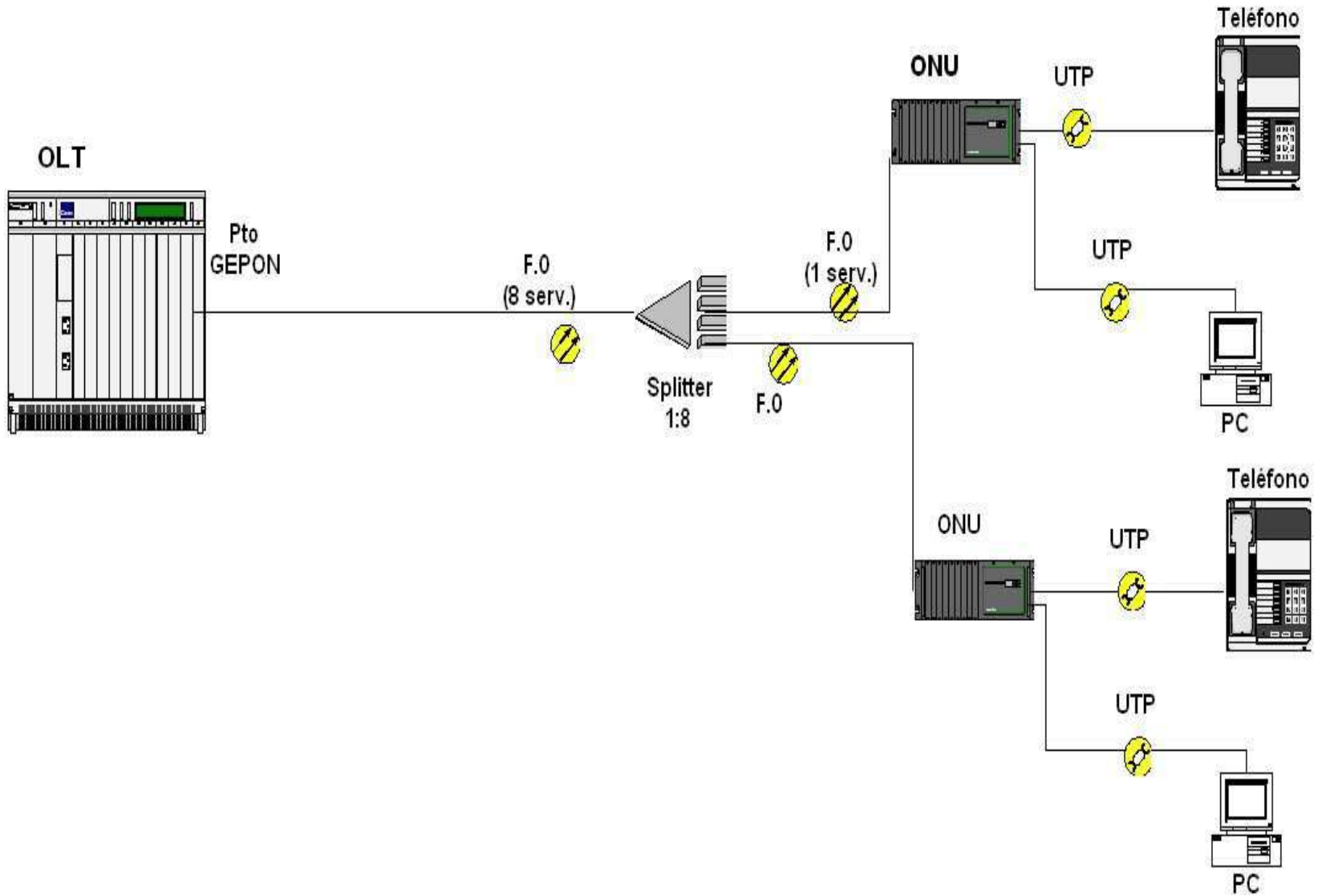
Ventajas

- Se aprovecha mejor la cantidad de ductos de canalización por la **mejor relación de clientes por FO vs. cable de cobre.**
- **La etapa final de splitting 1:8 (por cada elemento terminan 8 servicios) es similar a la Planta Externa de cobre** donde gralmente las CD atienden 10 servicios posibles, lo cual simplifica el vuelco.

Desventajas

- Como tecnología nueva en las primeras instalaciones requiere **un mayor esfuerzo de capacitación y adaptación de las estructuras operativas.**
- Por la mayor capacidad de servicios soportados por FO vs. la soportada por un cable de cobre, **el impacto es mayor con los incidentes.** Debe haber algún mecanismo de contingencia o redundancia.

ALTERNATIVA 2 – ARQUITECTURA CON 1 NIVEL DE SPLITTERS



CRITERIOS CONSTRUCTIVOS DE ALTERNATIVA 2

1ro. → Etapas de Splitters

- Hay un tramo inicial de FO de la central hasta las manzanas donde están los clientes.
- Luego del cual hay una única etapa de splitter 1:8 (este splitter es análogo a una CD de la red de cobre).
- Desde éste se tiene un cable de acometida de FO hasta cada cliente.

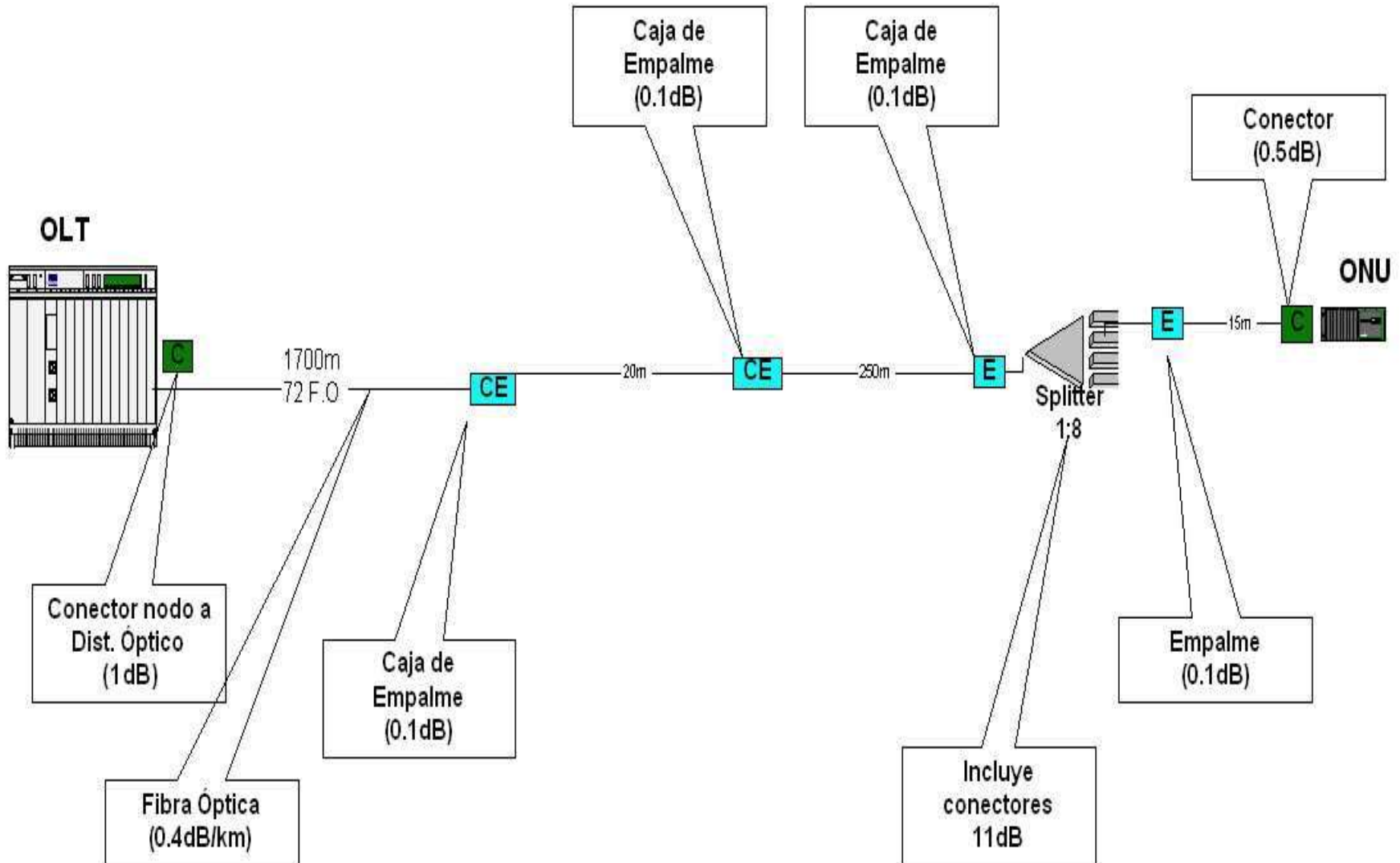
2do. → Cantidad de usuarios por acceso GPON

- Hay **1,25 Gbps UL** compartido entre los usuarios conectados a ese puerto.
- **En este caso se tienen 8 usuarios por cada puerto GPON y se obtiene un AB de 155 Mbps aprox. por usuario.**

3ro. → Ancho de Banda por Cliente en UL

- Se tiene 8 clientes por puerto GPON y dado que cada OLT cuenta con 8 puertos GPON soporta 64 clientes.
- **La OLT tiene 4 interfaces de 1GE en su UL hacia el Core, por lo que se soporta un tráfico pico promedio por cliente (simultáneo) de \leq 62,5 Mbps.**

ATENUACIÓN O PÉRDIDA DE INSERCIÓN POR ELEMENTO DE ALTERNATIVA 2



ATENUACIÓN E2E Y D MÁXIMA EN ALTERNATIVA 2

- **Peor caso** → las distancias corresponden al cliente más lejano.

- La atenuación e2e se obtiene como:

✓ **FO:** $1700\text{m} + 250\text{m} + 20\text{m} + 15\text{m} * 0.4 \text{ dB/km} = \mathbf{0.8\text{dB}}$

1000

✓ **Conectores:** $1.0\text{dB} + 0.5\text{dB} = \mathbf{1.5\text{dB}}$

✓ **Empalmes:** $4 \times 0.1\text{dB} = \mathbf{0.4\text{dB}}$

✓ **Splitters:** $\mathbf{11\text{dB}}$

Siendo **13.7dB**.

- Esta pérdida de e2e cumple con el “**Loss Budget**” que es de **29 dB**.
- **Si los clientes estuviesen más lejos**, los elementos no cambiarán, excepto que surgen nuevos empalmes para unir bobinas de cable de FO de 4km.
- La D máxima alcanzable surge de la D con la que se alcanza la atenuación de **29dB**, que es de **37km (sin empalmes de bobinas) más los 1.985m hasta este punto** → **la D alcanzable es de 40km**.
- **Nota:** la norma define una D máxima de 20 km con splitting 1:64.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- ALTERNATIVA 2 -

Ventajas

- Se aprovecha mejor la cantidad de ductos de la canalización por la **mejor relación de clientes por FO vs. cable de cobre.**
- **La etapa de splitting 1:8 (por cada elemento terminan 8 servicios) es similar la Planta Externa de cobre** donde gralmente las CD atienden 10 servicios posibles, lo cual simplifica el vuelco.

Desventajas

- Como una tecnología nueva en las primeras instalaciones requiere un **mayor esfuerzo de capacitación y adaptación de las estructuras operativas.**

COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS 1 Y 2

Ventajas de la 1 vs. 2:

- Tiene mayor cantidad de clientes por OLT.
- Se hace un uso más eficiente de recursos (FO y equipos) → menos costosa.

Ventajas de la 2 vs. 1:

- Permite mayor AB por cliente, ya que de la OLT hacia la red resulta un AB promedio máximo por cliente de 63 Mbps.
- La D admitida es mayor por disponer solo una etapa de splitter y menos clientes por puerto GPON.

Desventajas de la 1 vs. 2:

- La D admitida es menor por disponer una etapa más de splitter y más clientes por puerto GPON.

Desventajas de la 2 vs. 1:

- Se tiene una mayor ocupación de ductos por menor concentración de servicios.
- Tiene más costo por hacer un uso menos eficiente de los recursos de la red por la menor concentración de servicios.

