

Modelización Normalizada de la Calidad de Servicio en Redes de Acceso ME y GPON

Ing. Javier A. Ouret

UCA - Facultad de Ingeniería en Informática
Cátedra de Redes de Comunicaciones
javierouret@uca.edu.ar

Resumen. La arquitectura de redes de comunicaciones tuvo importantes transformaciones. La tecnología sincrónica SDH redujo su hegemonía. Reemplazada por Ethernet de alta velocidad gracias al incremento de confiabilidad utilizando redes de fibra óptica y reportando información de capa 2 con el protocolo IEEE-802.3ah-OAM. Surgen Metro-Ethernet(ME)/Carrier-Ethernet(CE), permitiendo que equipos terminales del abonado reciban servicios L2 avanzados, ancho de banda gestionable y acuerdos de nivel de servicio garantizados(SLA). Alternativamente surge la arquitectura Red-Optica-Pasiva-PON con variantes EPON-GPON-AON, reduciendo elementos activos por medio de componentes ópticos pasivos para transportar/derivar el tráfico de red. Objetivo del trabajo: presentar un modelo para evaluación del SLA y el rendimiento esperado en redes CE/PON, basado en el uso de herramientas disponibles para usuarios (IEEE802.1ag/ITU-Y.1731/IETF-RFC-2544), con directivas de aplicabilidad del IETF-RFC-6815/ITU-Y.1564. Metodología propuesta: modelizar condiciones de enlace de red antes de recibir tráfico y determinar la aptitud para su operación normalizada. Se presentan resultados en condiciones reales y de laboratorio.

Palabras Clave: Carrier Ethernet, Metro Ethernet, Service Level Agreement, SLA, Gigabit Passive Optical Networks. Carrier Ethernet, PON,GPON, EPON, OMCI, TR69, FTTB, FTTH, OAM, Bandwidth Allocation, SNMP, MIB, Netconf, MEF.

1 Introducción

Tanto la arquitectura de Redes Metro Ethernet (ME) y Carrier Ethernet (CE) como las Redes Ópticas Pasivas (PON) adoptan la norma de Ethernet en la Primera Milla (EFM Ethernet in the First Mile IEEE Std 802.3ah-2004 Link-OAM - Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks) [17]. El Metro Ethernet Forum (MEF) y el sector de Normalización de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU-T) han establecido los lineamientos de los parámetros gestionables a integrar en el equipamiento. EFM no sustituye ni es incompatible con la tecnología Ethernet existente y especificada por el EWG [3], la cual persiste en los enlaces NNI-UNI. Metro Ethernet (ME) fue creada

para permitir a las compañías de comunicaciones la distribución de sus servicios a través de las redes propias o de otros operadores. Todos los datos que entran en la red ME pueden ser objeto de control por parte del proveedor tomando como referencia un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA). Entre los atributos de calidad de servicio que se definen encontramos la garantía de la tasa de pérdida de paquetes (PLR), la tasa de información comprometida (CIR) y el exceso de velocidad de información (EIR). La información obtenida de las tasas se puede utilizar para aumentar el rendimiento de procesamiento del protocolo de transporte de servicios Ethernet (ESTP), mediante la configuración de parámetros de capa de enlace y de red. Para el caso de PON los estándares del ITU G.983 y G.984 [22] [23] constituyen las recomendaciones para GPON. Para el caso de GPON el mecanismo de Asignación de Ancho de Banda Dinámico (Dynamic Bandwidth Allocation) (DBA) por parte de una OLT (Optical Line Terminal – Equipo del lado del operador) es el responsable de asignar el ancho de banda de retorno/subida (upstream) en las ONU/ONTs (CPE - equipos del lado del usuario). Como el acceso a la red PON es compartido, el tráfico de retorno puede colisionar si es transmitido en forma azarosa. Las ONUs pueden estar diseminadas a distintas distancias de las OLTs y el retardo de transmisión es único para cada ONU. Por tanto la OLT mide ese retardo y marca un registro en cada ONU por medio de mensajes PLOAM para equalizar ese retardo respecto de las demás ONUs en la red de acceso. En este trabajo se presenta un modelo de ensayo y verificación de SLA tanto para ME como para GPON, en cual encontramos que pueden ser de aplicación métodos similares. Como resultado colateral se observan algunas deficiencias de las normativas para su aplicación en casos reales.

2 Ambito del modelo para la evaluación del Acuerdo de Nivel de Servicio en redes ME

El Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) o la Especificación de Nivel de Servicio (SLS) define las características de rendimiento extremo a extremo de una red CE. Se utiliza para especificar lo que un usuario del servicio podría esperar del proveedor, las obligaciones, objetivos de disponibilidad y seguridad, y que existan los elementos necesarios para asegurar el cumplimiento del SLA. En [10] se describe en detalle los atributos de aseguramiento del servicio. La especificación del MEF indica efectuar análisis de activación de servicios (Y.1564) [11], monitoreo de la performance (Y.1731) [12] y gestión de las fallas (IEEE 802.1ag Service OAM) [13]. Estas normas presentan un conjunto de especificaciones adicionales que permiten a los usuarios controlar Ethernet a nivel de capa de enlace, agregando nuevas funcionalidades con un protocolo dedicado a tal fin (OAM) que se ubica entre la capa LLC (Logical Link Control) y la MAC (Media Access Control) de la subcapa de enlace Ethernet, cuyo identificador de subtipo es 0x03. Esta ubicación en la subcapa MAC hace que los OAM PDUs sean transparentes para los dispositivos de capa 1 que no soportan OAM 802.3ah siempre que 802.3x PAUSE y 802.3z Auto Neg estén deshabilitados [21].

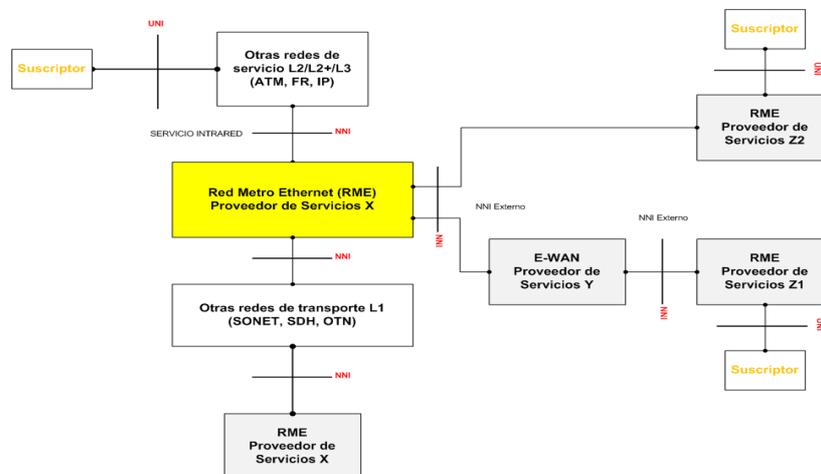


Fig. 1. Despliegue de redes ME indicado ubicación de NNI y UNI. [3]

Los OAM PDUs no son reenviados por un puente o bridge. El IEEE 802.3ah/C66 permite que los enlaces operen unidireccionalmente para los OAM PDUs [21]. En este trabajo, para poder realizar mediciones de performance y gestionar la fallas de conexiones a través de puentes, se ha utilizado la recomendación del IEEE 802.1ag y de la Y.731 con tramas identificadas con Ethertype 0x8902 y propagados por las funciones de despacho de los puentes (bridge relay) desde los MEPs asociados a cada puerto de físico de la NID (Dispositivo de Interfaz con la red - Network Interface Device). El MEP es un punto extremo de la entidad a gestionar (en general un puerto de un switch ME) y el MIP es un punto intermedio. Para una explicación detallada ver [20]. Tanto el MEP como el MIP se identifican por la dirección MAC de 48 bits asociada a la interfaz que se desea incluir en la secuencia de conexiones a monitorear (802.1ag) y un identificador decimal que representa la instancia del MEP/MIP. Cada MEP/MIP se asocia al siguiente MEP/MIP de la conexión NNI o UNI. De esta forma establecemos un circuito entre todos los elementos de capa 2 sobre los cuales vamos a ejecutar el modelo de evaluación del SLA. En el caso que se tenga control sobre todos los MEP/MIP el modelo se puede implementar sin mayores dificultades (red del proveedor de servicio). Cuando no se tiene control sobre la capa 2 (caso de las conexiones domiciliarias) es necesario establecer un túnel en modo puente TAP donde sea posible el transporte y reconocimiento de las direcciones MAC de cada MEP/MIP. En el proceso de desarrollo de este caso encontramos que los protocolos de tunelización ensayados no transportarían en forma transparente las tramas con Ethertype 0x8902. Este punto queda abierto para ser investigado en un trabajo posterior ya que es importante poder configurar un túnel en modo puente TAP pueda comportarse como un puente de MAC address transparente al protocolo OAM en todas sus formas. Una vez configurada toda la traza de MEP/MIP, para la medición de performance no disruptiva Y.1731 es posible obtener: Pérdidas de paquetes y sus estados (Near/Far End Loss Count, Near/Far End Loss Ratio)/Retardos y Variaciones de los retardos (con precisión de ns), promedios y varianzas de los mismos /Tasa de velocidad.

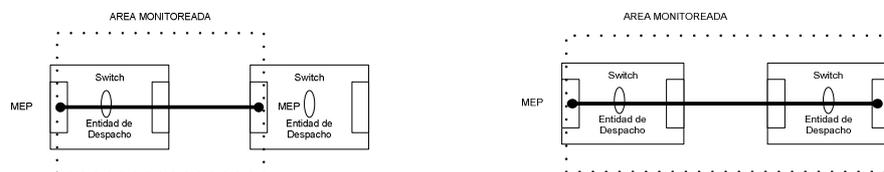


Fig. 2. Ubicación de los MEPs para L-OAM (Link OAM)

En el proceso de configuración de un enlace ME, y en forma similar que en las redes PON, además de MEP/MIP sobre VLAN, es posible crear túneles de circuitos virtuales sobre Ethernet (EVC) con ancho de banda garantizado. Esos túneles pueden ser punto a punto, punto-multipunto o multipunto-multipunto. Permiten enlaces físicos unitarios (UNI) hacia un CPE brindando múltiples conexiones, cada una con sus propios atributos de servicios para EVC tales como perfiles de ancho de banda, QoS, etiquetado (tagging), latencia, variación de retardos (Jitter) y pérdida de paquetes admitida. Los perfiles de ancho de banda permiten configurar los siguientes parámetros: CIR, EIR, CBS y EBS (Committed Information Rate, Excess Information Rate, Committed Burst Size, Excess Burst Size), valores de velocidad, formato y políticas de tráfico. CIR obliga a velocidades de trama específicas si existe acuerdo de SLA. EIR no está sujeto al SLA. CBS y EBS definen la ventana de ráfagas de tráfico, en ms, para la tasa de velocidad adoptada. Los túneles soportan IEEE 802.1Q, 802.1ad Provider Bridge – S-VLAN & C-VLAN, traducción de VLAN, VLAN basada en puerto, apilamiento de VLAN de hasta 2 etiquetas en combinación con QoS y CoS [16]. Para el ensayo de Y.1564 es necesario configurar un túnel EVC. Para el RFC2544, Y.1731 e IEEE 802.1ag se pueden ejecutar definiendo la secuencia de MEPs de servicio interconectados para el ensayo y una VLAN para el transporte de los paquetes CCM. El RFC2544 es disruptivo para el tráfico por lo que debe ejecutarse en ventanas de mantenimiento ya que se corta el tráfico de servicio para su ejecución.

Tabla 1. Tipos de servicios con los parámetros recomendados para los UNI y EVC

Tipo de servicio	Características del servicio	CoS ID	Perfil de Ancho de Banda por EVC y por CoS ID	Performance del servicio
Calidad A	IP en tiempo real Telefonía IP Video IP	6,7	CIR > 0 EIR = 0	Latencia < 5 ms Jitter < 1 ms Pérdida paq. < 0.001%
Calidad B	Aplicaciones por ráfagas de datos críticos baja pérdida y latencia (ej: cloud)	4,5	CIR > 0 EIR <= Velocidad UNI	Latencia < 5 ms Jitter = N/S Pérdida paq. < 0.01%
Calidad C	Aplicaciones por ráfagas de datos que requieran aseguramiento de ancho de banda	3,4	CIR > 0 EIR <= Velocidad UNI	Latencia < 15 ms Jitter = N/S Pérdida paq. < 0.1%
Calidad D	Servicios por mejor esfuerzo	0,1,2	CIR = 0 EIR = Velocidad UNI	Latencia < 30 ms Jitter = N/S Pérdida paq. < 0.5%

arquitectura PON tiene los siguientes componentes: Identificador ONU (ONU-ID): es un identificador de 8 bits que la OLT asigna a la ONU durante el proceso de activación de la misma por medio de mensajes PLOAM, contenedores de transmisión (T-CONT) que definen los objetos o entidades de la ONU. Como entidad simple tiene un grupo de conexiones lógicas con el propósito asignar ancho de banda de retorno/subida (upstream) en la red PON. Para una ONU determinada la cantidad de contenedores T-CONT soportados es fija. Las instancias de los contenedores son creados autónomamente por la ONU durante su activación. La OLT descubre el número de instancias T-CONT soportadas por cada ONU. Tipos de T-CONT que pueden ser asignados a un usuario: Type 1: ancho de banda fijo, para servicios sensibles a retardos y con alta prioridad, tipo VoIP. Type 2 y Type 3: ancho de banda garantizado, para servicios de video y datos con alta prioridad. Type 4: servicio del tipo mejor esfuerzo (best-effort), para servicios de datos tipo internet, de baja prioridad. Type 5: servicios mixtos, todos los tipos de ancho de banda. Cada tipo tiene su propio QoS. Podemos observar la similitud con los servicios MEF indicados en la Tabla 1.

La OLT es la responsable de asignar el ancho de banda de retorno/subida (upstream) en las ONUs. Como el acceso a la red PON es compartido el tráfico de retorno puede colisionar si es transmitido en forma azarosa. Las ONUs pueden estar diseminadas a distintas distancias de las OLTs y el retardo de transmisión es único para cada ONU. Por tanto la OLT mide ese retardo y marca un registro en cada ONU por medio de mensajes PLOAM para equalizar ese retardo respecto de las demás ONUs en la red de acceso. Una vez que el retardo fue cargado en todas las ONUs la OLT transmite concesiones (grants) a cada ONU con la misma distancia virtual de la OLT por medio de la compensación de retardos. La concesión es un permiso para utilizar un intervalo de tiempo definido para las transmisiones de retorno. El mapa de concesiones (grant map) es recalculado dinámicamente cada pocos milisegundos. Ese mapa asigna ancho de banda a todas las ONUs de modo que cada una lo reciba en el tiempo adecuado para su uso. Se utiliza TDMA para gestionar el acceso de retorno y, en un determinado momento, TDMA asigna espacios de tiempo exclusivos a cada ONU para sus transmisiones de retorno. DBA permite que esos espacios de tiempo se expandan o contraigan de acuerdo a la distribución de la carga de tráfico de retorno. Está descripta en la recomendación ITU G.984.[23] donde se especifica el formato de la trama GPON, protocolo MAC, procesos OAM y el método de encriptación.

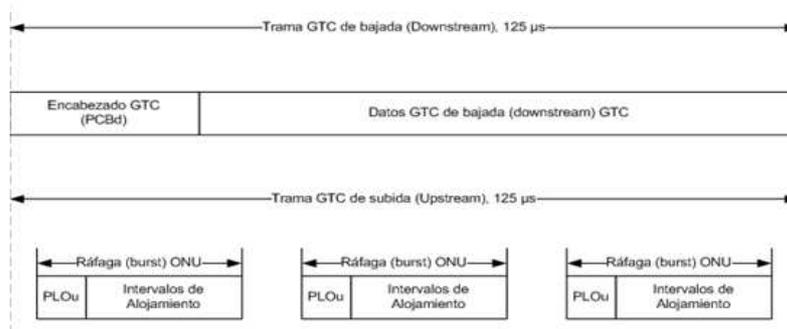


Fig. 4. Trama GTC

4 Objetivos

Presentar un modelo de trabajo simple que permita a los usuarios de las tecnologías de Internet evaluar en forma normalizada la calidad del servicio de los enlaces de comunicaciones, antes de transportar tráfico (RFC2544) o durante el transporte (IEEE 802.1ag e Y.1731). Al contar con un método normalizado es posible realizar posteriormente minería de datos, análisis comparativos y estadísticas sobre una base de información obtenida en forma consistente y equivalente. Es importante tener en cuenta las recomendaciones del RFC6815 [26] ya que el ensayo RFC2544 es disruptivo. Como alternativa al RFC2544 existe el Y.1564 para verificar la activación de servicio en forma no disruptiva[13]. Los atributos evaluados en el modelo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Atributos de rendimiento Y.1731 comparados entre enlaces similares ME y PON

<u>Retardo (Delay – Latency)</u>	One-way Frame Delay Performance. One-way Mean Frame Delay.
<u>Variación</u>	One-way Frame Delay Range One-way Inter-Frame Delay Variation
<u>Pérdida y disponibilidad</u>	One-way Frame Loss Ratio One-way Availability One-way Resilience -High Loss Intervals One-way Resiliency - Consecutive High Loss Intervals <u>One-way Group Availability</u>
<u>Velocidad</u>	Throughput

Estas métricas de la calidad del servicio son indicadores que permiten caracterizar enlaces a nivel de capa 2 y conocer las limitaciones de los mismos para determinar el nivel de cumplimiento del operador respecto de las expectativas del usuario. Los valores obtenidos van más allá de mediciones con carga de tráfico realizadas con ICMP, valores de RTT, BB o BDP en capa 3, que no parametrizan con precisión de microsegundos o nanosegundos un enlace, previo al tráfico de datos o durante el tráfico de datos. Además, al efectuarse el ensayo a nivel de subcapa MAC aumenta la confiabilidad de los resultados respecto de métricas obtenidas a nivel de capa de red o superiores. Este trabajo también compara los resultados de calidad para 2 tecnologías como son PON y ME para anchos de banda B factibles de ser tratados en forma similar, puesto que la primera hace uso de la división pasiva del tráfico (B compartido, recepción abierta de tramas en los CPE) y la segunda hace divisiones activas (B conservado y recepción aislada por CPE). ¿ Por qué es necesario parametrizar con precisión un enlace ME o PON ? Porque de acuerdo a las métricas obtenidas podremos confirmar si el enlace es apto o no para tráficos del tipo A, B, C o D indicados en la Tabla 1, para distintos tamaños de paquetes (de 64 a 9600 octetos). Las aplicaciones actuales de video, voz y datos disponibles para dispositivos fijos o móviles requieren, además, evaluar el comportamiento la red con tráfico de tamaños de paquetes mixtos. También se observa una tendencia a eliminar el soporte de paquetes más pequeños (64 octetos) para evitar una fragmentación excesiva, entre otras razones. En el caso de utilizar IPv6 el mecanismo de MTU Discovery nos lleva a asegurar el tráfico de pa-

quetos grandes en todos los segmentos para evitar que el paquete de menor tamaño defina la trama (recordemos que IPv6 no permite la fragmentación en interfaces intermedias NNI). En la tabla 3 se observan métricas consideradas para este trabajo.

Tabla 3. Métricas normalizadas del MEF objeto de estudio para cada caso

METRICA	UNI ₁ -UNI ₂	UNI ₁ -UNI ₂	Intervalo(T)	Intervalo Parcial Δ	Percentil
FD (ms)	≤ 120	≤ 160	24h	2m	93th
FDR (ms)	≤ 30	≤ 30	24h	2m	93th
MFD (ms)	—	—	—	—	NA
IFDV (ms)	≤ 6	≤ 6	24h	2m	82th
FLR (% de tramas)	≤ 0.12	≤ 0.12	24h	2m	NA
Disponibilidad (% del tiempo)	≥ 99.95	≥ 99.95	24h	2m	NA
Resiliencia (HLI)	≤ 42	≤ 42	24h	2m	NA
Resiliencia C (CHLI)	≤ 4	≤ 4	24h	1m	NA
GA(% del tiempo)	NA	NA	NA	NA	NA

Las métricas pueden obtenerse también con un ensayo disruptivo como el RFC2544 (sin activación de servicio) [25] y con un ensayo no disruptivo con activación de servicio como el ITU Y.1564 [27].

5 Breve análisis de problemas de interoperabilidad encontrados

En este trabajo se ha verificado entre los problemas más usuales de la tecnología PON está la escasa interoperabilidad entre los equipos de distintos fabricantes. Esto significa que diferentes ONU/ONT a nivel de CPE no son reconocidos por las OLTs. Si bien la mayoría de los fabricantes dice cumplir con las recomendaciones de la ITU G.984.x [23] en la práctica eso no ocurre y resulta difícil, que se puedan configurar diferentes ONU/ONTs desde una OLTs por medio de OMCI salvo que la identificación de los modelos y números de serie de las ONU/ONT sean reconocidas. Una alternativa para la configuración es TR069, pero ello requiere de un servidor ACS TR069 accesible por capa 3 desde la ONU/ONT a través de la OLT. Este problema de interoperabilidad está casi ausente al utilizar la arquitectura Metro/Carrier Ethernet pues la mayoría de los fabricantes adoptaron con adecuada precisión las recomendaciones del MetroEthernet Forum CE 1.0 y CE 2.0 (y el reciente CE 3.0).

6 Elección de GPON vs. ME

¿ Por qué puede ser conveniente adoptar GPON en vez de ME ? Porque permite reducir la cantidad de fibra troncal (una fibra óptica puede dividirse para llegar hasta 128 CPEs), los puntos intermedios son pasivos y los equipos en sitios de usuarios son muy económicos. En ME es necesario llegar con un hilo de fibra óptica punto a punto

entre el equipo central de distribución y hasta cada CPE y los punto intermedios son activos, salvo que se utilice CWDM o DWDM, pero a un costo mucho más elevado al utilizar módulos ópticos con longitudes de onda de banda angosta. La desventaja fundamental de GPON es el alcance limitado por la atenuación inducida en los derivadores ópticos (limitada a 20 km al punto más lejano para su versión más difundida) [22][23] y el hecho que se comparte ancho de banda para llegar hasta los CPES. En ME puede entregar al CPE el ancho de banda que desee, limitado solamente por la tecnología de los equipos. GPON tiene problemas de escalabilidad por lo que se suelen combinar ambas tecnologías: ME/CE para troncales y accesos simétricos de alta velocidad GPON para usos generales/domiciliarios. Otro aspecto encontrado en PON es la dificultad de las redes privadas virtuales de capa 3 (Ej: OpenVPN) para operar en modo TAP (MAC) y reconocer el Ethertype 0x8902 de las tramas Ethernet para Y.1731. Esto se ha verificado en este trabajo durante la ejecución del RFC2544 entre equipos tunelizados en modo TAP.

7 Preparación de la maqueta de ensayo

Para este trabajo se han utilizado 5 x equipos mutipuerto (SFP ópticos y eléctricos) ME/Carrier Ethernet 2.0, 1x OLT GPON, 4 x ONT/ONU GPON, 2 x SFP ONU, 2 x SFP OTDR, 4 x SFP 1G Ethernet, bobinas de impulso de fibra óptica de 6 km, splitters 1x4 + 1x8, instrumental de medición (OTDR , OLS, OPM), software para generación y análisis de tráfico (Wireshark, Ostinato, RFC 2544), máquinas virtuales VM sobre 3 laptops, 2 x router Ethernet con OSPF y BGP, 3 cámaras de video IP, rack, cableado, patch panels, etc. Se destaca que es la primera vez que se utilizan módulos SFP OTDR para un modelo de SLA, que permiten obtener una traza de atenuación por reflectometría y medir la pérdida por retorno óptico de una fibra óptica. Sobre las maquetas de ensayo se han ejecutado configuraciones como las descritas en la tabla 4. utilizando tráfico agregado de video IP junto a datos para evaluar el comportamiento de las tramas sensibles a los retardos. Las distancias utilizadas en laboratorio fueron del orden de 6 km de fibra óptica.

Tabla 4. Grupos de aplicaciones de las tecnologías de última milla (FTTx)

A1-Fibra hasta la acometida domiciliaria. FTTH. Arbol pasivo con derivadores.	El usuario puede acceder al CPE (ONT) por medio de una red LAN, desde allí a la OLT para tomar servicios de Datos Internet, VoIP e IPTV. CPE Tipo Unidad para Vivienda Unifamiliar (SFU). Utiliza OMCI para la gestión de ensayos e IEEE802.2ah. C-VLAN para servicios de cliente.
A2-Fibra hasta la cabina telecomunicaciones y CPE comercial (FTTB/FTTC) (Fiber To The building / Fiber To The Cabinet). Arbol pasivo con derivadores.	El usuario puede acceder al CPE (ONT) por medio de una red LAN y desde allí a la OLT para tomar servicios de Datos Internet, VoIP e IPTV. Tipo Unidad SFP ONU/ONT. Utiliza OMCI e IEEE802.3ah. C-VLAN para servicios de cliente.
A3-Fibra hasta hasta la cabina telecomunicaciones y CPE comercial (FTTB-FTTC) (Fiber To The building / Fiber To The Cabinet). Enlace punto a punto.	El usuario accede a la CPE (NID) por medio de una red LAN y desde allí al switch ME/CE para servicios de Datos Internet, VoIP e IPTV. IEEE802.3ah, 802.1ag, Y.1731. S-VLAN y C-VLAN, asignación de servicios QinQ y de cliente. NNI a NNI.

8 Metodología y objetivos del ensayo de SLA esperado vs. Real

El ensayo de calidad de servicio definido como SLA busca determinar:

- Que el ancho de banda disponible es adecuado para los servicios a ejecutar.
- Que los parámetros de servicio fueron correctamente calculados y que los mismos son respetados dentro de los márgenes de error aceptables. (Tablas 1 y 3)
- Que los valores de ancho de banda se mantienen estables a lo largo del tiempo o que las variaciones de los mismos no afectan al servicio en ejecución.

Se generaron reportes normalizados para contar con una prueba objetiva de los puntos anteriores, obtenidos por medio de metodologías normalizadas y factibles de ser repetibles en el tiempo. En este trabajo se eligieron las siguientes herramientas para la generación de reportes de calidad de servicio:

- IEEE 802.1ag, Y.1731 y RFC2544 como metodología de ensayo.
- Generador y colector de tráfico por hardware bajo RFC2544.
- Generador y colector de tráfico por software (Ostinato/Wireshark) para ensayar distintos tipos de tráfico.
- Una red CE y una red PON como infraestructura de transporte, en laboratorio, con control absoluto de la capa 2.
- Enlaces de internet domiciliario para análisis de SLA comparado y utilizando las mismas herramientas sobre túneles configurados en modo puente con transporte de direcciones MAC.

La configuración de los MEP se realizó manualmente sobre cada equipo demarcador de servicio en base a los parámetros sugeridos por el MEF. El MEP es un punto extremo de la entidad a gestionar (en general un puerto de un switch ME) y el MIP es un punto intermedio. Para una explicación detallada ver [20]. A cada MEP se lo identifica por medio de un valor numérico entero asociado a su dirección MAC y se definen conexiones entre todos los MEP y MIP lineales (EPS) o en forma de anillo (ERPS). Por cada uno de los MEP/MIP circulan las tramas 0x8902 es posible trazar todas las conexiones (Link Trace) y generar patrones de señales de testeo de distinto tamaño (bloques de 64 a 9600 octetos) con patrones de 0s, 1s ó 10101010, secuenciados o no. Más adelante se presentan algunas gráficas de los resultados obtenidos sobre enlaces domiciliarios activos y sobre los ensayos sobre redes de laboratorio, que muestran las diferencias de comportamiento.

Tabla 5. Valores de Desviación, Promedios, Mínimos, Máximos, Raíz de Variancia y Mediana para los retardos de las Figuras 11 a 13 (Valores en ms)

Fig	Dev	Prom	Min	Max	Var**1/2	Med
6	196	124	35	2262	180	53
7	159	134	21	2797	211	62
8	6	26	18	114	6	25
9	28	47	32	250	28	38

Para las figs. 6 y 7 (enlaces Ethernet regulares, no ME ni PON) observamos raíces cuadradas de varianzas elevadas lo que implica retardos muy dispersos ocasionados por un tráfico compartido muy variable con picos extremos ocasionados por micro

interrupciones del servicio. Para las figs. 8 y 9 (enlaces PON) observamos un comportamiento más estable de los retardos aunque relativamente elevados para una distancia de 6 km debido a la asignación de espacios de tiempo para la regulación del tráfico. Los picos esporádicos son ocasionados por la saturación de los almacenamientos temporarios. Las tramas variables tienen mayor retardo promedio que las no variables, lo cual se corresponde con lo esperado. Para casi todos los casos los valores superan las recomendaciones del MEF [Tabla 1.]

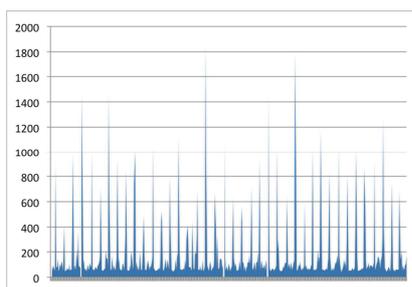


Fig. 6. Traza de retardos sobre enlace domiciliario no tunelizado

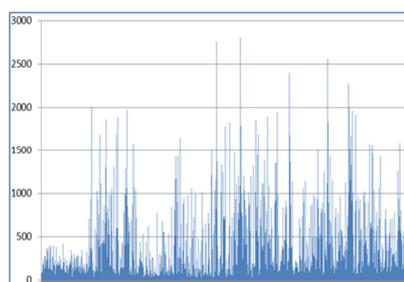


Fig. 7. Traza de retardos tunelizados en enlace domiciliario tramas de 1524 octetos y variables

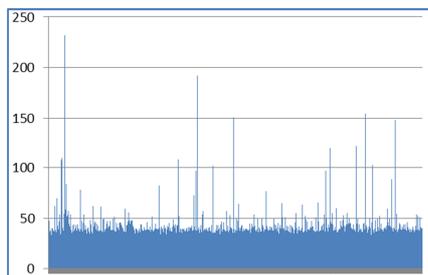


Fig. 8. Traza de retardos no tunelizados tramas variables

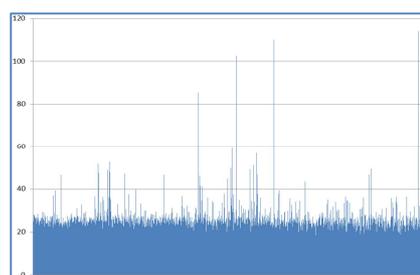


Fig. 9. Traza de retardos no tunelizados para tramas de 1524 octetos

Tabla 6. Resultado de ensayo aplicando los métodos descriptos utilizando RFC2544

Frame Size	Throughput			Delay			DV			Back to Back		
	Port Speed	Tx	Rx	Min	Avg	Max	Min DV	Avg DV	Max DV	Port Speed	Avg Burst	Repeat
	Mbps	f/sec	f/sec	usec	usec	usec	usec	usec	usec	Mbps	frames	
64	100	148809	148809									
128	100	84459	84459	3	3	5	0	0	1	1000	1689189	50
256	100	45289	45289	3	3	4	0	0	0	1000	985797	50
512	100	23496	23496	3	3	5	0	0	1	1000	469924	50
1024	100	11973	11973	3	3	4	0	0	0	1000	239463	50
1280	100	9615	9615	3	3	4	0	0	0	1000	192307	50
1518	100	8127	8127	3	3	4	0	0	0	1000	162548	50

```

***** Throughput Test *****
Throughput configuration:
Trial duration      : 60 seconds
Minimum rate       : 800 permille
Maximum rate       : 1000 permille
Accuracy           : 2 permille
Allowed frame loss : 2 permille

Frame  Appl.  Actual  Actual  Actual  Actual  Tx  Rx  Frame  Status
Size   TxRate TxRate  RxRate TxRate TxRate Frames Frames Loss
[bytes] [Mbps] [Mbps] [Mbps] [fps] [fps] -----
1518   1000.0  923.9   923.9   75095   75095   4505713  4505713  0.0 PASS
9600   1000.0  977.3   977.3   12700   12700   762035   762035   0.0 PASS

***** Latency Test *****
Latency configuration:
Trial duration      : 60 seconds
Delay meas. interval : 1 second
Allowed frame loss  : 2 permille

Frame  Tx  Tx  Rx  Min/Avg/Max  Min/Avg/Max  Status
Size   Rate  Frames  Frames  Delay  Delay Var.
[bytes] [Mbps] -----
1518   923.0  4501138  4501138  64/72/73  0/0/8 PASS
9600   970.1  756402  756402  88/137/138  0/0/49 PASS
    
```

Fig. 10. Resultado de un RFC2544 sobre enlace de Fibra Optica de 6 km para 2 tamaños de tramas. Sobre equipo CPE Standard TN3290 CE 2.0. Valores en microsegundos.

Aquí se observan las diferencias de valores de retardo entre un enlace simétrico ME medido con RFC2544 en condiciones ideales y uno PON con tráfico de datos y video con respecto a los retardos. Los valores máximos (0.073 ms y 0.138 ms) son muy inferiores al de 28 ms obtenido en una de las muestras. De todas formas hay que tener en cuenta que la medición de RFC2544 nos muestra la capacidad máxima que podría entregar un enlace para distintos tamaños de paquetes, no la capacidad efectiva real que involucre procesamiento a distintos niveles. Para este caso con Y.1731 obtenemos da valores más cercanos a los registrados anteriormente. Ver Fig.11.

Delay Measurement State														
	Tx	Rx	Rx Timeout	Rx Error	Av Delay Tot	Av Delay last N	Delay Min.	Delay Max.	Av Delay-Var Tot	Av Delay-Var last N	Delay-Var Min.	Delay-Var Max.	Overflow	Clear
One-way														
F-to-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-to-F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Two-way	12865	12756	0	109	13	17	0	45	2	4	0	36	0	<input type="checkbox"/>

Delay Measurement State														
	Tx	Rx	Rx Timeout	Rx Error	Av Delay Tot	Av Delay last N	Delay Min.	Delay Max.	Av Delay-Var Tot	Av Delay-Var last N	Delay-Var Min.	Delay-Var Max.	Overflow	Clear
One-way														
F-to-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-to-F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Two-way	62263	62263	0	0	70	70	45	103	2	2	0	33	0	<input type="checkbox"/>

Delay Measurement State														
	Tx	Rx	Rx Timeout	Rx Error	Av Delay Tot	Av Delay last N	Delay Min.	Delay Max.	Av Delay-Var Tot	Av Delay-Var last N	Delay-Var Min.	Delay-Var Max.	Overflow	Clear
One-way														
F-to-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-to-F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Two-way	34107	34107	0	0	68	70	46	92	2	1	0	28	0	<input type="checkbox"/>

Fig. 11. Medidas de retardos por medio de Y.1731

9 Conclusiones

Se ha demostrado que la modelización normalizada es factible de realizar con equipamiento común que cumpla con las recomendaciones del IEEE, MEF y la ITU (IEEE 802.1ag, Y.1731, RFC2544, etc.). Este modelo pone al alcance de los usuarios de servicios de comunicaciones un método standard para determinar si el servicio ofrecido es apto para los requisitos de cada aplicación en particular, especialmente aquellas que requieren limitar la variación de retardos. Los valores obtenidos en enlaces domiciliarios basados en enlaces asimétricos por Ethernet y DOCSIS no presentaron métricas adecuadas para asegurar SLA y se alejan de los requisitos de un RFC2544. Los valores más adecuados se obtienen al utilizar Metro Ethernet (variancia leve) o xPON (GPON). Para todos los casos se utilizaron enlaces del orden de 6 km para las pruebas y mediciones. Se ha observado que es necesario incorporar el reconocimiento de tramas OAM en aplicaciones para el tunelizado en modo puente (bridge) o TAP tales como OpenVPN™. El autor no ha encontrado bibliografía que analice o tenga en cuenta este tema. Se demostró la falta de interoperabilidad entre OLTs y ONT/ONUs de distintos fabricantes que afirman cumplir con las recomendaciones de la ITU G.984. Se destaca el ensayo RFC2544 es para evaluar el rendimiento de un enlace bajo exigencias máximas, por lo que no pueden ser realizados en redes en producción ya que pueden ser dañinos para la performance del tráfico. Para concluir, contar con herramientas que permitan modelar la calidad de servicio en tiempo real es un elemento clave para comprender cómo están funcionando las redes y qué se puede obtener de ellas, con certeza.

10 Trabajos Futuros

Ampliar el modelo para ensayos simultáneo en ambientes mixtos ME y PON. Realizar análisis estadístico de los resultados obtenidos. Investigar la propagación de tramas OAM, CCMs, MEPs y MIPs cuando los equipos intermedios no sean de grado ME/CE. Desarrollar este modelo para su uso bajo el protocolo Netconf [30].

Todas las configuraciones de las maquetas y los resultados obtenidos están disponibles para su análisis. Solicitarlos a: javierouret@uca.edu.ar.

Referencias

1. “GPON Fundamentals – Knowledge Base”. Disponible: <https://sites.google.com/site/amitsciscozone/home/gpon/gpon-fundamentals>
2. “GPON: VLANs and GEM Ports - Knowledge Base”. Disponible: <https://sites.google.com/site/amitsciscozone/home/gpon/gpon-vlans-and-gem-ports>
3. IEEE 802.3 Ethernet Working Group. Disponible: <http://www.ieee802.org/3/>
4. Metro Ethernet Networks - A Technical Overview – MEF 2002-2003.
5. Sawzan Al Zahr and Maurice Gagnaire, “An Analytical Model of the IEEE 802.3ah MAC Protocol for EPON-based Access Systems”, Department of Computer Sciences and Networks Telecom Paris, paper, arXiv:1602.04104v1, Feb. 2016.

6. Karamitsos Ioannis and Al-Arfaj Kha , “Bandwidth Allocation DBA (BA-DBA) Algorithm for xPON Networks”, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 50 – No.12, July 2012.
7. Dinesh C. Verma , “Service Level Agreements on IP Networks”, IBM T. J Watson Research Center.
8. W.Wang, D. Ivancovsky,W.Soto, T. Anderson ,A.Ly, R. Rundquist, “DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) Overview”, EFM Interim, October 2001.
9. G3000-08P High-end Multi-service Routing OLT User Manual, GCOM Technologies.
10. SFP ONU Debug Guide, Atrian Communication Technologies, April 2017.
11. Service Level Agreements on IP Networks. Dinesh C. Verma IBM T. J Watson Research Center.
12. Understanding Carrier Ethernet Service Assurance. Part I & II. MEF. 2016.
13. Y.1564. Ethernet service activation test methodology. ITU 2016.
14. Y.1731.Operation, Administration And Maintenance. OAM functions and mechanisms for Ethernet based networks. ITU 2006.
15. “802.1ag - Connectivity Fault Management”. Disponible:
<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ag.html>
16. J. Ouret. Carrier Ethernet 2.0 Y GPON Integración de Tecnologías para Servicios Residenciales y Comerciales. Encuentro Regional de la Telecomunicaciones. Rosario. 2015.
17. IEEE 802.3ah. Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications. Amendment: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks. IEEE Computer Society. 2004.
18. MEF 11. User Network Interface (UNI) Requirements and Framework. MEF 2004.
19. MEF 26.1 . External Network to Network Interface (ENNI) Requirements and Framework. MEF 2012.
20. MEP & MIP. Disponible:
<https://wiki.mef.net/display/CESG/MIP>, <https://wiki.mef.net/display/CESG/MEP>
21. IEEE P802.3ah/D1.9 Disponible:
www.ieee802.org/3/efm/public/mar04/oam/efm_oam_tutorial_2004_03_31.pdf
22. ITU G.983. G.983.1 : Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas. Disponible: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.2/es>
23. ITU G.984. G.984.1 : Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales. Disponible: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>
24. TR-255 GPON Interoperability Test Plan.
Disponible: <https://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-255>
25. IETF. RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices. Disponible: <https://tools.ietf.org/html/rfc2544>
26. IETF. RFC 6815 Applicability Statement for RFC 2544: Use on Production Networks Considered Harmful . Disponible: <https://tools.ietf.org/html/rfc6815>
27. ITU Y.1564 : Ethernet service activation test methodology.
Disponible: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564/en>
28. IETF. RFC 6349. Framework for TCP Throughput Testing.
Disponible: <https://tools.ietf.org/html/rfc6349>
29. MEF Technical Specifications.
Disponible: <http://www.mef.net/resources/technical-specifications>
30. RFC 6241 - Network Configuration Protocol (NETCONF) - IETF Tools
Disponible: <https://tools.ietf.org/html/rfc6241>