

# Pasarela residencial multiservicio con soporte de calidad garantizada para acceso de banda ancha

Francisco Valera<sup>1</sup>, Jaime García<sup>1</sup>, Vitor Pinto<sup>2</sup>, Iván Vidal<sup>1</sup>, Vitor Ribeiro<sup>2</sup>, Carmen Guerrero<sup>1</sup>, Arturo Azcorra<sup>1</sup>  
(Universidad Carlos III de Madrid<sup>1</sup> • Portugal Telecom Inovação<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> Avda. de la Universidad 30, 28911 Leganés, Madrid  
Teléfono: (+34) 916248778 Fax: (+34) 916248749  
Correo Electrónico: fvalera@it.uc3m.es

## Resumen

*Habitualmente se considera que un acceso de banda ancha que proporciona una gran capacidad de transmisión tanto a entornos de negocio como a entornos residenciales, es suficiente como para distribuir servicios avanzados de calidad. Sin embargo ni las redes de acceso están aún lo suficientemente evolucionadas como para soportar todo tipo de servicios (HDTV sobre IP por ejemplo), ni el ancho de banda es el único parámetro que es necesario garantizar para proporcionar servicios de valor añadido.*

*En este artículo se presentan las diferentes experiencias llevadas a cabo con una pasarela residencial habilitada para proporcionar servicios garantizados de 'triple play' a los terminales de los usuarios. Esta pasarela se ha desarrollado en el proyecto europeo de investigación y desarrollo del VI programa marco MUSE (Multiservice Access Everywhere, [www.ist-muse.org](http://www.ist-muse.org)).*

## 1. Introducción

Actualmente, una de las tendencias más mencionadas en el marco de las comunicaciones de red es la que hace referencia a la 'convergencia'. Convergencia desde el punto de vista de los servicios, permitiendo que el audio, el vídeo y los datos se unan en los llamados escenarios 'triple play' y convergencia en las redes, permitiendo combinar en un solo modelo arquitectural tanto redes fijas como redes móviles (e incluso celulares). Y para facilitar dicha convergencia, los proveedores de acceso ofrecen un ancho de banda cada vez mayor a los usuarios.

Aunque es bastante habitual encontrar en entornos residenciales líneas de acceso que soporten entre 1 y 20 Mbps (ADSL, ADSL+2, etc.) los usuarios tienen normalmente ya en sus casas entre 11 y 54 Mbps en sus interfaces inalámbricas o incluso 100 Mbps en las interfaces Ethernet de sus pasarelas residenciales (muchos PCs y ordenadores portátiles tienen ya incorporados adaptadores de red de 10/100/1000 Mbps).

Uno de los objetivos más importantes establecidos actualmente por los proveedores de acceso es precisamente la posibilidad de aumentar el ancho de banda ofrecido a los usuarios finales sin incurrir en un aumento considerable del incremento de los costes de la solución.

Este objetivo se está abordando actualmente estudiando la posibilidad de implantar tecnología Ethernet en la red de acceso, aunque como se ha comprobado, la migración de una tecnología LAN como esa a entornos MAN no está exenta de

problemas y hay numerosos grupos de trabajo desarrollando soluciones que permitan hacer realidad estos objetivos.

Sin embargo, aunque algunas veces se piensa que un acceso de banda ancha, como el que permitiría de forma económica el entorno Ethernet, es suficiente como para proporcionar cualquier tipo de servicio con suficientes garantías, es sólo cuestión de tiempo que los usuarios saturen sus líneas de acceso y todas sus aplicaciones residenciales tengan que compartir la escasez de recursos.

Las aplicaciones P2P (peer to peer) son un ejemplo habitual, y es fácil observar cómo retrasan al resto de aplicaciones cuando empiezan a utilizar de manera continua la interfaz de red para enviar o recibir datos. Además, es importante destacar que el ancho de banda no es en absoluto el único parámetro de calidad de servicio que debe tener garantía, ya que hay otros como el retardo, el jitter, la pérdida de paquetes, etc. que pueden ser también de crucial importancia para aplicaciones con determinados requisitos.

MUSE es un proyecto europeo integrado de investigación y desarrollo sobre redes de acceso de banda ancha cuyo principal objetivo es la especificación y el desarrollo de una solución futura de acceso multiservicio de bajo coste.

Dentro del marco de este proyecto, una de las entidades más importantes a considerar es la pasarela residencial, ya que es la responsable en último término de la entrega de servicios al usuario final. Es responsable de la recepción de los datos que vienen de la red de acceso y, manteniendo la calidad de servicio que se haya especificado,

trasferirlos hacia la red doméstica. Y en sentido contrario, es responsable de enviar tramas desde la red de acceso marcando los flujos de acuerdo a la calidad especificada para que la red les proporcione la calidad requerida.

Este artículo describe los resultados de las diferentes experiencias llevadas a cabo con una pasarela residencial con soporte para calidad de servicio en un entorno de acceso en banda ancha como el que se ha especificado en el proyecto MUSE.

El resto del artículo está organizado como sigue.

La segunda sección está centrada en el proyecto MUSE, definiendo sus principales objetivos y estableciendo el marco de investigación donde se ubicarán las pasarelas residenciales.

La tercera sección detalla la pasarela residencial tanto desde el punto de vista funcional como desde el punto de vista arquitectural, describiendo las soluciones técnicas más importantes adoptadas en la pasarela de cara a ser capaz de proporcionar una distribución de los flujos de servicio con calidad garantizada hasta el terminal del usuario.

La cuarta sección explica las diferentes pruebas que se han llevado a cabo con esta plataforma centrándose fundamentalmente en el entorno de triple play que se configuró durante la fase de pruebas del proyecto y los diferentes resultados que se consiguieron.

La última sección resume las conclusiones más importantes obtenidas a lo largo del artículo y enumera una serie de líneas futuras de investigación.

## 2. Acceso Multiservicio Universal

### 2.1. Proyecto MUSE

El proyecto MUSE (Multiservice Access Everywhere, [1]), es un gran proyecto de I+D sobre acceso en banda ancha que persigue alcanzar una visión conjunta de las redes de acceso y de agregación por parte de las principales entidades participantes en el sector europeo (36 participantes, que incluyen fabricantes, operadores, pequeñas empresas, universidades e institutos de investigación).

El proyecto incluye estudios en las siguientes áreas:

- Arquitectura de redes de acceso y agregación, así como estudios socioeconómicos al respecto.
- Soluciones para primera milla (DSL, acceso óptico).
- Interacción de la red de acceso con las pasarelas residenciales y las redes locales.
- Pruebas de laboratorio.

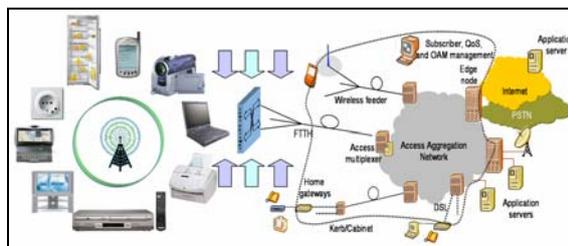


Figura 1. Esquema general del proyecto MUSE

La Fig. 1 muestra la arquitectura general del proyecto con los diferentes escenarios considerados.

MUSE pertenece al Sexto Programa Marco de investigación y desarrollo tecnológico de la Unión Europea y una vez completada la primera fase al final de 2005 se encuentra ahora al principio de la segunda que terminará a final de 2007.

Las soluciones que se propongan serán evaluadas extremo a extremo en prototipos de laboratorio y además se promoverá su correspondiente estandarización.

### 2.2. La pasarela residencial en MUSE

Una de las entidades más relevantes en la arquitectura global de MUSE es la pasarela residencial, tal y como se ve en la Fig. 1.

Esta pasarela se ubicaría en el borde de la infraestructura que el proyecto MUSE está especificando, la red de acceso, y eso significa que debe ser compatible con las diferentes funcionalidades soportadas por esta red con el objetivo de hacerlas compatibles y de extenderlas a la red residencial.

Aunque las especificaciones de MUSE referentes a la red de acceso y a la última milla son flexibles y cubren diferentes posibilidades, el prototipo presentado en este artículo se encuentra integrado en el marco de un subproyecto particular de MUSE centrado en un escenario de banda ancha de fibra hasta la casa (FTTH) de hasta 1 Gbps en el acceso.

Las siguientes son las funcionalidades más relevantes incluidas en el prototipo: autenticación basada en el protocolo IEEE 802.1X, autoconfiguración de los parámetros de red de la pasarela residencial, implementación de los conceptos de MUSE relativos a la calidad de servicio (etiquetado VLAN, priorización basada en marcado IEEE 802.1p/q, diferenciación en base a la clase de servicio, definición de calidad de servicio por flujo, etc.), gestión automática de la pasarela residencial basada en el protocolo TR-069 del DSL forum [3] y gestión automática de bundles de OSGi.

Este artículo muestra las experiencias llevadas a cabo con alguna de estas funcionalidades en el prototipo desarrollado durante la primera fase del

proyecto a lo largo de las dos etapas de pruebas durante la primera mitad de 2006.

La primera prueba muestra un escenario de triple play en el que dos entornos residenciales diferentes se comparan conectándolos a una red de acceso a través de pasarelas distintas y son dotados de la capacidad de acceso a un servicio de vídeo bajo demanda, un servicio de telefonía sobre IP basado en SIP y un servicio de carácter general de transmisión de datos a alta velocidad. Todos estos servicios se probaron con el modelo de calidad de servicio definido en MUSE y la demostración fue realizada en [2].

La segunda prueba es de gestión automática de la pasarela residencial gracias a las posibilidades que da un bundle de OSGi implementado en la pasarela y capaz de interpretar mensajes de gestión TR-069 e interactuar con las diferentes capas de la plataforma desde la capa de red a la capa de servicio. Estas experiencias están fuera del ámbito de este artículo.

En la segunda fase del proyecto MUSE la pasarela residencial adquirirá todavía más importancia ya que gran parte de las nuevas funcionalidades que están siendo especificadas la involucran de manera considerable: convergencia fijo-móvil, roaming de servicios y usuarios, servicios de valor añadido en la pasarela (servidores multimedia, telemedicina, etc.) y entornos multiservicio y multiproveedor.

### 3. Pasarela residencial con soporte para calidad de servicios

#### 3.1. Funcionalidades de la pasarela residencial

Esta sección define las diferentes funcionalidades que han sido implementadas en el prototipo, divididas en cuatro grupos: configuración inicial, operación, configuración manual y configuración automática. Posteriormente se detallarán las funcionalidades de autenticación y calidad de servicio (incluye configuración inicial y operación) ya que son las funcionalidades más importantes desde el punto de vista de la fase de pruebas en este artículo.

##### 3.1.1. Configuración inicial

La lista completa de funcionalidades que interaccionan durante el proceso de inicialización de la pasarela residencial es al siguiente:

- **Detección de hardware:** autodetección del número de interfaces físicas y sobre todo, autodetección de la interfaz que está conectada a la interfaz WAN (conectada al proveedor de acceso).
- **Autenticación:** permite comprobar la identidad de la pasarela residencial antes de autorizar su conexión con el proveedor de

acceso. Este mecanismo se explicará en detalle en las siguientes secciones.

- **Configuración de la interfaz WAN:** la pasarela residencial configura su dirección IP externa con DHCP (igual que la dirección del servidor DNS y su router por defecto).
- **Configuración de las interfaces LAN:** una vez que se ha identificado y configurado la interfaz WAN, el resto de interfaces se configuran usando la información almacenada en un fichero de configuración XML. Cada interfaz LAN se inicializa usando diferentes direcciones privadas IP para crear tantas subredes como interfaces LAN existan.

##### 3.1.2. Funcionalidades de operación

Esta sección describe las diferentes funcionalidades disponibles en el prototipo durante la operación normal del mismo:

- **Firewall:** la pasarela residencial puede ser configurada para discriminar el tipo de tráfico que permite (tanto de subida como de bajada). La configuración por defecto es la típica de prohibir todo el tráfico. La configuración de flujos se puede hacer tanto por un administrador (incluido el propio usuario) como por una aplicación automática.
- **NAPT:** como se ha mencionado anteriormente, los terminales de los usuarios se configuran utilizando DHCP con una dirección IP privada y usando la dirección que la pasarela residencial tiene en esa interfaz LAN como router por defecto. Con este esquema, la utilización del protocolo NAPT es absolutamente necesaria.
- **QoS:** es la funcionalidad más importante a tener en cuenta en una pasarela residencial dentro del entorno que se está considerando. El comportamiento de las características de QoS puede ser configurado utilizando diferentes métodos pero normalmente un administrador (manualmente o mediante un procedimiento automatizado) podría introducir nuevas reglas de flujos asignando una determinada calidad de servicio a un flujo determinado (tanto en la dirección de subida como en la de bajada).
- **(Des)Encapsulación:** dependiendo de la dirección del flujo, la pasarela residencial debe añadir o quitar la cabecera 802.1p/q de la trama Ethernet. La red de acceso de MUSE utiliza esta información para proporcionar calidad de servicio y de la misma forma las tramas que vienen así marcadas deben de ser tratadas adecuadamente de cara a propagar la calidad proporcionada hacia la red residencial.
- **Redirección:** otra posible acción que puede definirse en los flujos es la redirección hacia el nivel de aplicación de tal manera que el flujo pueda ser tratado a ese nivel por el programa correspondiente.

### 3.1.3. *Configuración de la pasarela residencial*

La arquitectura de la pasarela residencial que se describirá posteriormente admite la posibilidad de configurarla de manera muy flexible. Además del mecanismo de configuración manual basado en una interfaz Web, se han implementado también algunas otras alternativas de configuración automática como la configuración mediante el protocolo estándar del DSL Forum TR-069 [3] basado en un intercambio de parámetros SOAP y en la invocación de funciones dentro del marco definido por la especificación TR-098.

Este mecanismo de configuración se ha proporcionado mediante la implementación de un bundle de Java para la plataforma OSGi cuyos detalles están fuera de los objetivos de este artículo.

## 3.2. **Arquitectura de la pasarela residencial**

Todas estas funcionalidades se han estructurado en dos diferentes niveles:

- **Nivel de datos:** responsable de todo el procesamiento de datos, incluidas todas las decisiones de encaminamiento, las funciones de shapping y policing, la clasificación de flujos, etiquetado de tramas con los 'p bits' correspondientes, gestión de colas, etc.
- **Capa de configuración y gestión:** incluye tanto la gestión del nivel de servicio como de nivel de red, la gestión de los diferentes parámetros de calidad de servicio, la funcionalidad del NAT, la clasificación de flujos, etc. Además de estas funciones clásicas de gestión y configuración esta capa es también responsable de interpretar los diferentes protocolos de señalización que configurarán los parámetros de la pasarela como SIP, IGMP, RTCP, etc.

### 3.2.1. *Capa de datos*

La capa de datos (o capa del kernel, desde el punto de vista de la implementación) se ha implementado utilizando la plataforma Click!

Click! [4] es un software de un router modular desarrollado por el MIT, el ICSI y UCLA. Un router Click! es una colección de módulos, llamados elementos, que permiten realizar diferentes funciones como la comunicación de dispositivos, políticas de descarte, tratamiento de tramas o gestión de paquetes.

Con Click! no resulta complicado construir un router con las funcionalidades deseadas: un sencillo fichero de configuración (escrito en un lenguaje de script especial) permite la especificación de las diferentes conexiones a través de los mencionados elementos.

Click! puede ejecutarse en dos modos diferentes. En modo usuario se ejecuta como cualquier aplicación y es capaz de recibir una copia de los paquetes que pasan por el kernel. En el modo kernel, Click! modifica la cadena normal de ejecución del kernel y todos los paquetes de red pasan por Click! antes de pasar al procesamiento habitual del kernel, lo que permite un control completo sobre las tramas de nivel 2. En el caso de que se quieran añadir nuevas funcionalidades, es posible desarrollar nuevos elementos de Click!

### 3.2.2. *Capa de configuración*

La capa de configuración y gestión (o de aplicación desde el punto de vista de la arquitectura) se ha implementado utilizando Java.

El objetivo principal de este nivel de aplicación es el de facilitar el desarrollo de nuevas funcionalidades en la pasarela residencial.

Desarrollar a nivel de kernel (a nivel de Click!) no sólo es una tarea complicada (de programar y de depurar) sino que además hace el desarrollo específico de la plataforma.

Sin embargo hay que considerar al desarrollar esta alternativa el tiempo que se pierde enviando tramas desde el kernel, donde se recibe la trama por primera vez, hasta el nivel de aplicación, donde el correspondiente proceso de señalización se encargará de tratarla y posteriormente enviarlo de nuevo al kernel para transmitirlo.

Y si hay muchos paquetes que deben enviarse a un cierto SP, el retardo que experimentan puede incrementarse notablemente.

Estos detalles se han analizado en [5] y [6] para el prototipo que se ha implementado y se ha concluido que los resultados son perfectamente válidos para una pasarela residencial de banda ancha de hasta 1 Gbps.

La razón fundamental es que los únicos flujos que serán enviados al nivel de aplicación son los flujos de señalización (y no todos ellos) cuyo consumo de recursos comparado con el consumo de los flujos de datos representa una fracción muy reducida.



### 3.3. Autenticación y autoconfiguración

En el proyecto MUSE, la red pretende convertirse en un entorno multi-servicio donde el tipo y el número de servicios suscritos por un determinado usuario puede variar en el tiempo y de cliente en cliente.

Esto significa también que los recursos de red (ej. direcciones IP o ancho de banda) que un usuario está autorizado a utilizar también varían con el tiempo y con los usuarios. Puesto que funciones como el nomadismo también se han considerado, esto significa que una determinada pasarela residencial o persona debe ser reconocida y autenticada en diferentes puntos de la red de acceso. Es por eso que en este entorno los proveedores deberían llevar a cabo rutinas de autenticación tanto hacia dispositivos como hacia personas.

Puesto que la pasarela residencial actúa como interfaz entre la red de acceso y la red residencial su autenticación hacia uno o más proveedores es fundamental. Además, una cierta pasarela residencial está normalmente ligada por contrato a un usuario por lo que la autenticación de usuario también estaría implícita en este mecanismo.

Con estos requisitos, el prototipo desarrollado tiene la capacidad de autenticarse él mismo contra una o más entidades de autenticación ubicadas en la red. Para este propósito se utiliza una combinación del protocolo IEEE 802.1X [8] con el protocolo EAP (*Extensible Authentication Protocol*) [9].

La gran flexibilidad del protocolo 802.1X a la hora de elegir un método particular de autenticación, y el hecho de que permita el transporte de mensajes EAP sobre redes basadas en Ethernet (como las redes de acceso de MUSE) fueron determinantes para esta elección. La Fig. 3 muestra la distribución de las entidades 802.1X en la red de MUSE.

De hecho, aunque tanto el suplicante de 802.1X como el servidor de AAA están configurados para llevar a cabo una autenticación basada en EAP-TLS [10] hay otros mecanismos de autenticación posibles que se pueden configurar (ej. EAP-AKA [11], EAP-MD5, EAP-SIM [12], etc).

Además de la autenticación, algunas características asociadas a la auto-configuración se han añadido también.

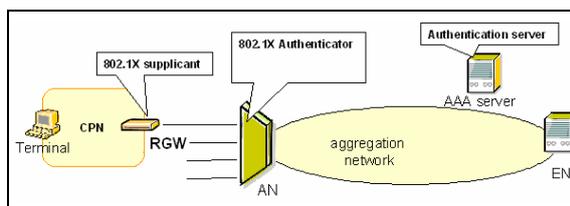


Figura 3. Entidades 802.1X en la red de MUSE

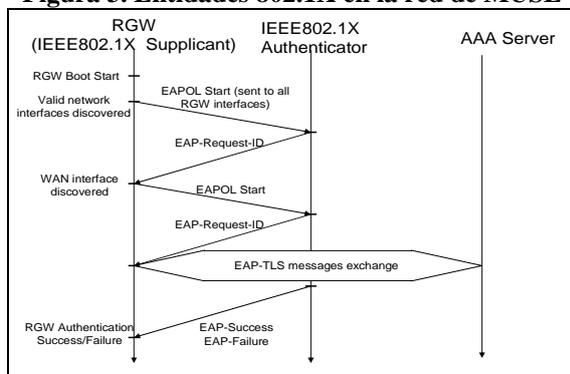


Figura 4. Descubrimiento de interfaz WAN y autenticación

La primera tarea llevada a cabo cuando la pasarela residencial se enciende es la detección de todas las interfaces de red presentes y de esta forma se obtiene una lista de las diferentes interfaces por las que potencialmente llevar a cabo el procedimiento de autenticación. Dicha autenticación se debe llevar a cabo por la interfaz WAN, para lo cual se envía por todas las interfaces detectadas como válidas, un mensaje 802.1X “EAPOL-Start”.

Cuando el autenticador 802.1X presente en la red de acceso de MUSE recibe este mensaje, contesta con un mensaje “EAP-Request-ID” que contiene (en el campo “EAP-Message”) el texto “muse.net” con lo que es posible identificar cuál es la interfaz WAN.

Posteriormente se lanza el proceso de autenticación EAP-TLS a través de dicha interfaz. Un proceso de autenticación fallido detendrá el procedimiento de inicialización mientras que un proceso de autenticación correcto permitirá continuar con la configuración inicial. La Fig. 4 sistematiza todo el proceso.

### 3.4. QoS

Uno de los puntos más importantes a ser considerados cuando se ofrecen servicios a todo tipo de usuarios es la capacidad para garantizar la calidad en la oferta de los mismos.

Esta calidad no sólo significa una determinada cantidad de ancho de banda, tal y como en ocasiones parece sugerirse en los diferentes anuncios de los operadores, y además no debería ser proporcionada exclusivamente hasta el nodo de acceso.

La calidad de servicio extremo a extremo ya se extiende hasta los terminales en el mundo celular

con IMS (*IP Multimedia Subsystem*) y está siendo trasladado a las redes fijas con el apoyo de diferentes entidades como el ETSI TISPAN. En cualquier caso, ningún esquema de calidad de servicio tiene todavía en cuenta la pasarela residencial y no deja de ser cierto que cualquier esquema real extremo a extremo debe involucrar a todas las entidades participantes en la comunicación, desde el terminal hasta el servidor o desde terminal hasta otro terminal, en ambas direcciones.

Esto significa que la pasarela residencial debe ser capaz de interpretar el marcado de paquetes procedente de la red de acceso para priorizar su procesamiento y propagar el marcado hasta la red residencial realizando las traducciones correspondientes. Esto también significa que en sentido contrario (subida), la pasarela debe traducir el esquema de marcado de paquetes usado por los terminales y en el caso de que esta acción no les esté permitida, responsabilizarse ella misma del marcado de los paquetes en función de los parámetros de calidad que se le hayan configurado.

La pasarela residencial debe también considerar que el tráfico interno de la red residencial consume recursos que normalmente no se tienen en cuenta. Tanto el tráfico de subida como el de bajada al ser transmitidos sobre el medio compartido que constituye la red residencial, deben coexistir con los diferentes flujos locales que haya en la casa del usuario.

En el proyecto MUSE, muchos de estos factores se han considerado o están siendo considerados en la segunda fase del proyecto de cara a desarrollar una pasarela residencial como la que se está comentando en este artículo (ver también [7]). Los siguientes bloques pertenecen a la capa de datos de la arquitectura y están principalmente involucrados en la provisión de la calidad de servicio en la pasarela residencial:

- **Clasificación/etiquetado VLAN:** la función de este bloque es la de reconocer los flujos y añadir las etiquetas 802.1p/q para marcar la calidad correspondiente. Esta información (etiquetado de p-bits) puede estar preconfigurada, asignada por el operador o automáticamente configurada por la red (utilizando SIP, TR-069, etc.). Hay un hook directo asociado a este bloque (Fig. 5), puesto que es posible en este momento enviar la trama al nivel de aplicación para que sea tratada por un SP (Proceso de Señalización).
- **Dispatcher:** basado en los p-bits, este módulo introduce el paquete en una de las cuatro posibles colas implementadas.
- **Colas:** en Click!, la implementación de estas colas está basada en diferentes elementos y cada una de ellas representa una clase de servicio diferente.

- **Scheduling:** la gestión de dos o más colas implica necesariamente la utilización de algún algoritmo para extraer paquetes de una cola u otra. En MUSE el algoritmo elegido es PQ (*Priority Queuing*), aunque es posible configurar cualquier otro.
- **Policing:** el objetivo de este bloque es el de limitar el flujo asociado a cada clase de servicio. Cuando se detecta un exceso de tráfico, este bloque puede descartar los paquetes o bien cambiar su etiqueta de clase de servicio.
- **Conformado de tráfico:** esta función es similar a la del bloque de policy pero ahora simplemente se limita la transmisión y su misión no sólo está enfocada al descarte de paquetes. El encolamiento, el policing o el conformado de tráfico, son funciones que pueden ser hechas en el mismo bloque, pero es preferible describirlas como entidades independientes.
- **Desetiquetado VLAN:** elimina la etiqueta 802.1p/q de los paquetes.
- **Conmutación y encaminamiento:** tanto para tráfico de subida como de bajada, este bloque cambia la cabecera MAC adecuadamente. Tramas con direcciones MAC diferentes de la dirección de la pasarela residencial se dejan pasar sin modificar. De otra forma, la dirección IP destino debe tomarse en consideración: cuando el paquete va dirigido a la pasarela residencial se le pasa a la pila TCP/IP. Y si no es así, la dirección MAC destino debe cambiarse con la dirección del terminal y la dirección fuente con la dirección de la pasarela residencial. Aunque estas acciones normalmente las hace el kernel de Linux, puesto que Click! está ubicado antes del kernel todos estos procedimientos deben hacerse de forma manual.
- **CCCP/CSD/SP:** aunque estos módulos están colocados en la capa de aplicación (Fig. 3) están muy vinculados a la capa del kernel. El CCCP es el módulo responsable de centralizar todas las órdenes de reconfiguración y llevarlas a cabo a nivel de kernel. Estas órdenes pueden venir de la interfaz Web, de los módulos de OSGi (TR-069) o desde el CSD. El CSD es el módulo principal de todo el procesamiento de señalización hecho a nivel de aplicación por los SPs. En la pasarela residencial se ha implementado un procedimiento de registro para los SPs permitiendo que los proveedores incorporen soporte específico para un cierto protocolo sin la intervención del usuario final y el responsable de todo este procedimiento es el CSD.

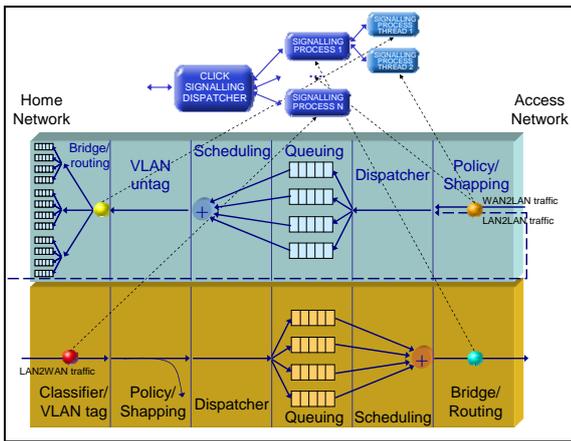


Figura 5. Bloques funcionales en el kernel

## 4. Pruebas de la pasarela residencial

### 4.1. Pruebas de autenticación

#### 4.1.1. Características a probar

En el grupo de definición de la arquitectura de MUSE se especificaron varios requisitos relacionados con la autenticación:

- ¿Qué autenticar?
  - Autenticación básica: sólo se autentifica la Pasarela residencial, los dispositivos detrás de este equipo no se autentican. Este tipo de autenticación se considera obligatoria.
  - Autenticación por servicio: en donde cada aplicación se debe autenticar con el servidor para recibir un cierto servicio. No es obligatoria su implementación.
  - Autenticación por usuario: en situaciones de nomadismo este tipo de autenticación puede ser de gran interés, pero no ha sido considerado como obligatorio.

El prototipo de Pasarela residencial dispone de un mecanismo básico de autenticación.

- ¿Qué método de autenticación se utilizará?
  - 802.1X con métodos EAP tales como: EAP-SIM, EAP-AKA, EAP-TLS, EAP-TTLS, EAP-MD5, etc.
  - PANA con métodos EAP como los mencionados en 802.1X.
  - DHCP opción 90.

Este prototipo de pasarela residencial utiliza 802.1X con EAP-TLS (en la pasarela existe un 802.1X supplicant que soporta otros métodos EAP).

- ¿Quién autentifica? La entidad particular que autentifica la pasarela (el Proveedor de Acceso de Red, el Proveedor de Servicio, etc.) es más o menos transparente desde el punto de vista de la pasarela (lo que le importa a la pasarela es que debe iniciar el proceso desde su interfaz WAN).

#### 4.1.2. Pruebas

Las pruebas se dividieron en tres partes, cada una ideada para probar una parte específica del proceso de inicio de la pasarela residencial.

**Descubrimiento del número de interfaces Ethernet de la pasarela residencial:** el objetivo de estas pruebas era comprobar si las interfaces de la pasarela eran debidamente descubiertas, considerando que las interfaces no conectadas no se consideran válidas. Las pruebas fueron las siguientes:

- Todas las interfaces están conectadas físicamente.
- Ninguna de las interfaces está conectado físicamente.
- El resto de combinaciones posibles.

Time	Source	Destination	Protocol	Info
2.781562	00:13:04:03:2b:d1	00:13:04:03:2b:d1	EAPOL	Start
2.831772	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, Identity [RFC3748]
3.108104	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, Identity [RFC3748]
3.110482	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.115201	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	TLS	Client Hello
3.146849	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	TLS	Server Hello, Certificate, server key exchange
3.147094	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.149368	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	TLS	Server Hello, Certificate, server key exchange
3.150702	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	TLS	Certificate, Client key exchange, Certificate
3.162234	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.162918	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	TLS	Certificate, Client key exchange, Certificate
3.168812	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	TLS	Alert (Level: Fatal, description: unknown CA)
3.168759	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.178970	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	Failure
16.609519	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAPOL	Start
16.609323	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAPOL	Start
16.609276	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAPOL	Start
16.609292	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAPOL	Start
16.609188	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAPOL	Start
66.329502	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, Identity [RFC3748]
66.608337	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, Identity [RFC3748]

Time	Source	Destination	Protocol	Info
0.000000	00:13:04:03:2b:d1	00:13:04:03:2b:d1	EAPOL	Start
0.000028	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, Identity [RFC3748]
2.016212	00:13:04:03:2b:d1	00:13:04:03:2b:d1	EAPOL	Logoff
2.014751	00:13:04:03:2b:d1	00:13:04:03:2b:d1	EAPOL	Start
2.014879	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, Identity [RFC3748]
3.120787	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, Identity [RFC3748]
3.120436	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.115445	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	TLS	Client Hello
3.127189	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.148481	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.150984	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	TLS	Server Hello, Certificate, server key exchange
3.148362	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.169985	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	request, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.174733	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	TLS	Certificate, Client key exchange, Certificate
3.191519	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	TLS	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
3.200990	00:13:04:03:2b:d1	3Com_a1:24:e4	EAP	response, EAP-TLS [RFC2716] [Aboba]
3.203811	3Com_a1:24:e4	00:13:04:03:2b:d1	EAP	Success

Figura 6. Procedimientos de autenticación

**Proceso de autenticación:** el objetivo de esta prueba era comprobar el correcto funcionamiento del 802.1X supplicant implementado en la pasarela residencial. Para ello, tanto el 802.1X supplicant como el servidor de AAA (RADIUS) se configuraron para llevar a cabo una autenticación EAP-TLS. Se probaron los siguientes casos:

- Las credenciales enviadas por el supplicant contienen un certificado no válido (por ejemplo, la Autoridad de Certificación que expidió el certificado no es conocida por el servidor de autenticación). El resultado esperado para esta prueba es el fallo en la autenticación (la pasarela recibirá un mensaje "EAP-Failure") (Fig. 6, parte superior).
- En las mismas condiciones del apartado anterior, comprobar que se intenta una nueva autenticación en los próximos 120 segundos (Fig. 6, parte superior).
- Las credenciales enviadas por el supplicant son correctas. El resultado esperado es que la autenticación sea exitosa (la pasarela debería recibir un mensaje EAP-Success) (Fig. 6, parte inferior).

## 4.2. Pruebas de operación

### 4.2.1. Características a ser probadas

Se define un escenario de triple play con aplicaciones como la de voz sobre IP, vídeo streaming y la transferencia de datos para probar la funcionalidad de los bloques principales del RGW.

Los bloques funcionales de Colas y Scheduling dentro de la pasarela residencial son los principales a ser probados a la hora de garantizar una Calidad de Servicio extremo a extremo. Existen dos conjuntos de bloques diferentes en la arquitectura de la pasarela uno para cada sentido de dirección de tráfico (upstream y downstream) y ambos deben ser comprobados para garantizar esta Calidad de Servicio. Las principales características a ser probadas en esta fase son:

- **Sistema de Colas:** la pasarela implementa cuatro colas, una por cada Clase de Servicio y se extraen tramas de dichas colas siguiendo un esquema de *Priority Queueing*. Esta funcionalidad se probará utilizando diferentes flujos de subida y bajada (asociados a aplicaciones de vídeo streaming, transferencia de ficheros y voz sobre IP).
- **Caja NAPT:** esta característica se comprobará en cada una de las pruebas. En el caso donde un usuario en casa inicia un nuevo flujo de subida (por ejemplo, en navegación Web, o con la transmisión de voz sobre IP) y el bloque NAPT detecta una nueva sesión, éste debe crear una nueva entrada en la tabla NAPT para cambiar el puerto e IP original con el identificador asignado. Además, este bloque debería detectar la finalización de una sesión para eliminar la entrada correspondiente a dicha sesión de la tabla NAPT. Para el tráfico en sentido descendente, este bloque sólo debe cambiar la IP y puerto destino con el guardado en la tabla. En el caso particular de señalización a nivel de aplicación, como es el caso de SIP, se debe añadir un soporte extra para modificar los parámetros a ese nivel ya que el NAPT no afecta a dichos parámetros. Por ejemplo, implementando una pasarela a Nivel de Aplicación (Application Level Gateway -ALG-) podemos eliminar los problemas que estos protocolos tienen al encontrar un NAPT.
- **Funcionalidad Multicast:** los flujos de bajada, por ejemplo en la recepción de vídeo streaming se replicará a todos las interfaces de usuario de la Pasarela residencial seleccionando la opción de multicast en el bloque Clasificador. Cuando un terminal se registra en un grupo multicast utilizando el protocolo IGMP, la pasarela residencial debe procesar esta señalización, grabar el estado de esta suscripción y aceptar el correspondiente flujo multicast recibido en la interfaz WAN y transmitirlo por la interfaz LAN.

- **Señalización:** en este punto se comprobará cómo la pasarela residencial procesa los flujos de señalización y el tiempo extra impuesto por este procesamiento. Este retardo se calculará midiendo el tiempo desde que un paquete entra a la pasarela residencial hasta que la trama es procesada por un SP (Signalling Process). Un ejemplo donde la señalización es relevante es en la voz sobre IP cuando se utiliza SIP (mensajes de Invite, Register, etc.).

La selección de las aplicaciones utilizadas cubren las cuatro Clases de Servicio definidas en el proyecto MUSE (low latency, real time, elastic and best effort). Se han elegido las siguientes aplicaciones:

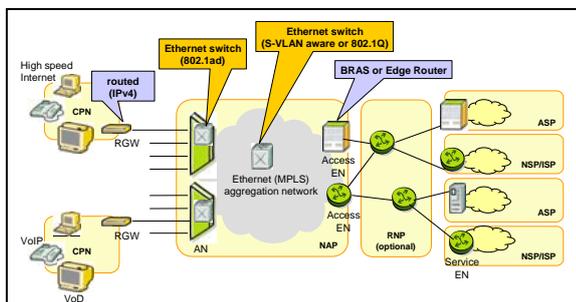
- **Voz sobre IP** como un ejemplo de aplicaciones con requisitos de low latency para los flujos de señalización y de real time para los datos con requisitos de tiempo real. Para la voz sobre IP un punto crucial es el retardo causado por la red debido al rendimiento en el caso de congestión. El requisito de estas aplicaciones es tener muy bajo retardo y jitter.
- **Vídeo streaming** es un ejemplo de aplicación con requisitos de real time. Además, estas aplicaciones pueden generar una considerable cantidad de tráfico por lo que se tendrán dos tipos diferentes: vídeo de baja y alta calidad. Además, se aprovechará este test para probar el unicast y el multicast. Los parámetros que más afectan a este tipo de aplicaciones son el de la tasa de transmisión y el de pérdida de paquetes. Se realizarán dos tipos de pruebas: las cualitativas (pruebas subjetivas que dependen de la percepción de los involucrados en las mismas) y las cuantitativas (medidas objetivas que permiten compararlo con otros escenarios).
- **Transferencia de datos** como ejemplo de aplicaciones con requisitos de Clase de Servicio elastic o best effort. Está muy relacionado con la navegación Web en Internet o con aplicaciones punto a punto y será simulado con la aplicación Iperf [13]. En general, los requisitos de este tipo de aplicaciones son bajos y dependerán del tipo de aplicación. La tasa de transmisión, el retardo y la pérdida de paquetes son los principales parámetros a tener en cuenta en estas aplicaciones.

Una asociación entre estas aplicaciones y los requisitos extremo a extremo de una red (el rendimiento de procesamiento, retardo, pérdida de paquetes y jitter) tiene que ser definida en las pruebas. Los resultados de las pruebas con respecto a la calidad de servicio considerarán cómo anotar y medir la calidad percibida en cada uso y/o escenario: medidas objetivas y medidas subjetivas.

### 4.2.2. Escenario Triple play

Para probar los diferentes parámetros descritos anteriormente, se utilizará el escenario descrito en la

Fig. 7 que muestra el entorno residencial, en la parte izquierda de la figura, con dos Redes de Usuario conectadas a la Red de Acceso del proveedor usando sendas pasarelas residenciales, que pueden estar conectadas al mismo o diferentes Nodos de Acceso.



**Figura 7. Escenario de pruebas de funcionalidad operacional para la Pasarela residencial**

El nodo de acceso debe implementar el estándar 802.1q (como el conmutador 802.1ad de Ethernet en la figura) por lo que debe admitir tramas VLAN entrantes a la pasarela residencial con sus correspondientes p-bits y debe ser capaz de cambiar el formato siguiendo las reglas pre-definidas por la Red de Acceso.

En el otro extremo (en el lado derecho de la figura), las peticiones se recibirán en los diferentes servidores que proveerán el servicio demandado.

Ya que el desarrollo hecho por nuestro grupo de trabajo en MUSE está centrado en la propia pasarela residencial, el resto de la red se encuentra fuera de nuestro objetivo. Sin embargo, para poder realizar pruebas completas extremo a extremo, se necesita emular el funcionamiento de estos equipos, por lo que se decidió implementar las funcionalidades necesarias para estas pruebas.

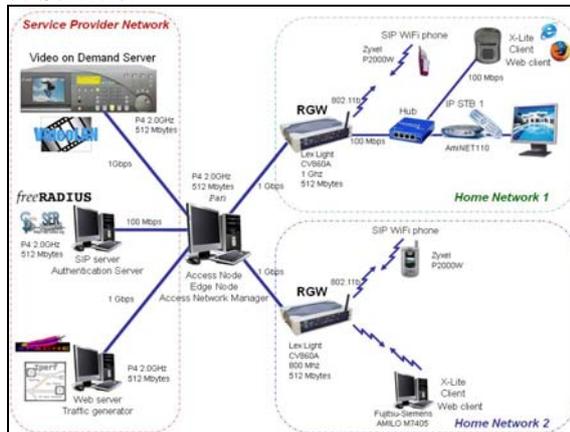
Los servicios de triple play se desplegarán en diferentes entornos residenciales que a su vez serán capaces de comunicarse entre sí. Todo este intercambio de datos se realizará en un marco de calidad de servicio que garantice el tratamiento apropiado de los diferentes flujos para que los clientes no perciban ninguna degradación en el servicio.

Las pruebas de esta completa arquitectura de servicios han sido posibles gracias a las configuración e instalación del escenario de pruebas mostrado en la Fig. 8 (las particularidades de cada equipo se muestran en la propia figura).

Los dos entornos residenciales se conectan a la red del proveedor de acceso el cual a su vez se conecta a la parte de la de Red de Servicios (servidores SIP, de vídeo, acceso a Internet, servicios de autenticación, etc.). Estos entornos residenciales poseen clientes para cada una de estas aplicaciones (navegadores Web y clientes de vídeo bajo demanda en la capa de aplicación) y también la capacidad de

comunicarse entre ellos en un escenario de voz sobre IP utilizando señalización SIP.

Se ha utilizado un sólo equipo que emula el comportamiento de toda la Red de Agregación y la de Acceso el cual es capaz de tratar tramas sin calidad de servicio que entran de la Red de Servicio y añadirles dicha prioridad para ser tratada en la propia red, y lo que es más importante, para que la Pasarela residencial pueda continuar con esa Calidad de Servicio.



**Figura 8. Escenario de pruebas**

#### 4.2.3. Pruebas

##### 4.2.3.1. Pruebas cualitativas

Para estas pruebas se utilizaron tres clases de flujos diferentes en un escenario de triple play donde para la parte de vídeo y audio se utilizó una aplicación de vídeo streaming (usando la aplicación libre VLC [14] para la parte de servidor y cliente) y Voz sobre IP (utilizando la aplicación SER como el proxy SIP [15] y X-Lite como el cliente [16]). Para simular una aplicación con grandes necesidades de ancho de banda (uso intensivo de la navegación Web, FTP o aplicaciones punto a punto) Iperf es ideal para simular tasas constantes de transmisión, en este caso utilizando el protocolo de transporte UDP.

Aunque se utilizaron diferentes tasas para las pruebas de vídeo y datos con el Iperf, en las aplicaciones de voz sobre IP se utilizó un sólo codec que genera un tráfico de 120kbps. Se hizo así ya que éstas son aplicaciones sin grandes requisitos de ancho de banda por lo que no es necesario ir más allá de estas tasas. Se utilizaron dos tipos de codecs diferentes para las pruebas de vídeo: vídeo de baja calidad donde la tasa total necesaria para transmitir el vídeo y el audio es de 2 Mbps (DivX para vídeo y MP3 para el audio) y otro de alta calidad en el que se generan tasas de hasta 5,2 Mbps (MPEG2 para el vídeo y AC3 para el audio).

Todos los experimentos se realizaron durante 30 segundos, reiniciando todos los parámetros cada vez que se iniciaba una nueva prueba. Al final de cada

prueba se recogían los resultados y se anotaban para su posterior tratamiento. Es importante recalcar que debido a la corta duración de cada experimento, la longitud de cada una de las colas (10000 tramas) no es un parámetro relevante por lo que se mantiene invariable para todas las pruebas. El objetivo de estas pruebas es el de demostrar la viabilidad y funcionamiento del sistema de Calidad de Servicio estandarizado en MUSE y desarrollado en este prototipo, y no para obtener los mejores resultados de rendimiento para un determinado escenario.

El programa Iperf se ejecutó desde diferentes servidores para obtener diferentes clases de servicio, aunque siempre se invocó para generar una tasa de 100 Mbps. Es importante hacer notar que en las diferentes pruebas se observó que, en las interfaces de Fast Ethernet el máximo throughput entregado era de unos 95 Mbps (probablemente debido al propio hardware, los drivers de Linux o el propio Iperf) por lo que en el receptor estos valores se dieron por correctos.

En una primera y más sencilla prueba, se generaron dos tipos diferentes de flujos: la señalización SIP y la transferencia de voz utilizando el protocolo RTP. Las pasarelas residenciales se configuraron para marcar el tráfico SIP como low latency (la mejor calidad) mientras que los datos se marcaban como real time (la siguiente mejor calidad). El proceso de registro de los teléfonos SIP se puede considerar casi instantáneo y el retardo inapreciable. En la transmisión de datos (voz) ningún paquete fue descartado en la pasarela residencial y tampoco se apreciaron retardos.

En la siguiente prueba, el objetivo era el de observar el rendimiento de las comunicaciones de voz sobre IP en un escenario de alta carga (introduciendo Iperf), tanto en la parte de señalización como en la propia transferencia de datos (voz). Otra vez, la señalización SIP se marca como low latency y los datos RTP como real time. Los resultados de estas pruebas fueron claros: exactamente iguales que en la prueba anterior cuando no había tráfico de background. En esta misma prueba se hicieron pequeños cambios al ir pasando el tráfico de Iperf de best effort a low latency. Sólo en el caso de Iperf con low latency se comenzaron a apreciar micro cortes en la recepción y un sonido más metálico que sugiere algunas pérdidas de tramas.

La tercera prueba intenta representar un escenario triple play completo (con voz, vídeo de baja calidad e Iperf) donde la información de voz se marca con la alta prioridad, el vídeo utiliza la siguiente calidad en cuanto a prioridad, mientras que Iperf simula una aplicación con grandes requisitos de ancho de banda a la que le iremos variando la calidad en pruebas sucesivas (la más baja al principio cambiando a la misma prioridad que el vídeo de baja calidad y terminando a la misma prioridad que la voz). Con estos tres escenarios diferentes se compara el

rendimiento de las conexiones de vídeo y voz. Los resultados confirman que la voz tiene una tasa de transmisión muy baja por lo que es difícil que se vea afectada en cualquiera de estos escenarios. Cuando Iperf se transmite a baja prioridad, ni el vídeo ni la voz se ven afectados. En el caso de transmitir Iperf a la misma calidad que el vídeo, éste disminuye su rendimiento y comienza a pixelar mientras que no se aprecian cambios en la recepción de la voz. En el último escenario, el vídeo se detiene completamente y el mismo comportamiento metálico y de micro-cortes se aprecia en la voz.

La última prueba repite los escenarios anteriores a excepción de que el vídeo utilizado es de alta calidad. El comportamiento es muy similar al anterior, solo que en el caso de tener Iperf en la misma prioridad que el vídeo, la recepción de éste se hace mucho peor con más pixelado en la pantalla.

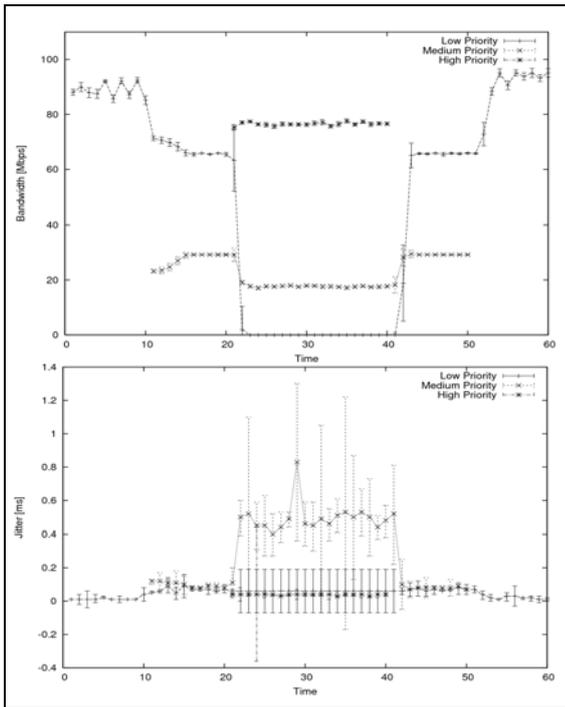
#### 4.2.3.2. Pruebas cuantitativas

El propósito de estas pruebas es ser capaz de determinar la calidad real de los diferentes flujos, centrándose en los parámetros de ancho de banda y jitter, para lo que los resultados cualitativos percibidos en las pruebas anteriores puedan ser medidos.

En el primer escenario, se envían tres flujos Iperf diferentes hacia el mismo usuario para crear un cuello de botella en una interfaz de usuario de la pasarela residencial para comprobar el mecanismo de calidad de servicio implementado. La Tabla 1 recoge los parámetros empleados en esta prueba, incluyendo la tasa de transmisión y el preciso instante en el que los flujos Iperf son lanzados y parados mientras que en la Fig. 9 se recogen los resultados. Como se puede comprobar, durante los primeros diez segundos la tasa de salida sigue a la entrada (con la limitación de los 95 Mbps comentada anteriormente, lo cual es válido para el resto de pruebas). Tan pronto como el flujo de prioridad media comienza, el de baja calidad disminuye su tasa de salida para que el anterior sea servido totalmente.

En el período comprendido entre los 20-40 segundos, los tres flujos comparten la interfaz LAN pero, ya que la pasarela residencial prioriza según la marca de las tramas, el flujo de baja prioridad no es servido y sus tramas se descartan tan pronto la cola de dicha prioridad se llene. Tan pronto el flujo de alta prioridad termina, el flujo de baja prioridad vuelve a ser servido parcialmente. Por lo que respecta al jitter, el área más importante es el comprendido en el período de 20-40 segundos donde hay una gran variación en el jitter de las tramas de prioridad media y algunas variaciones en el flujo de baja prioridad. La razón de esto se debe a que prácticamente todas las tramas de baja prioridad

se pierden por lo que al no recibir tramas, el jitter es bajo. El jitter para el flujo de alta prioridad es inapreciable.

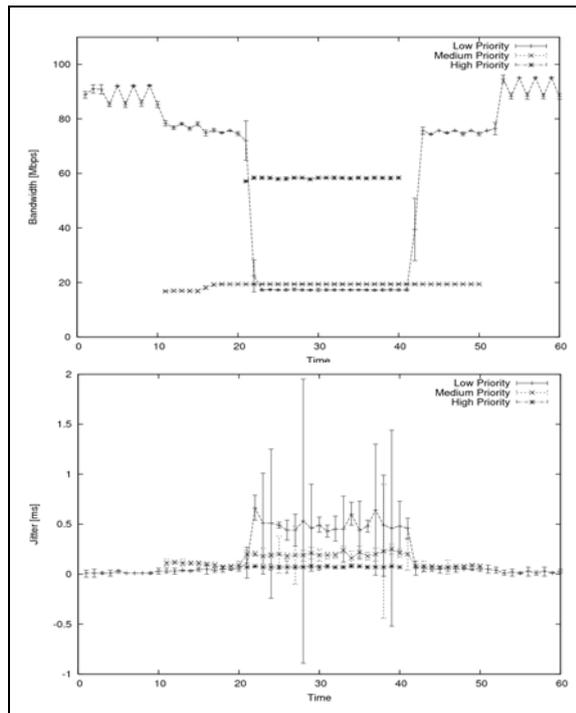


**Figura 9. Resultados de ancho de banda y jitter en la primera prueba**

La Tabla 2 presenta los parámetros de Iperf utilizados en la segunda prueba. El objetivo de esta prueba es mostrar cómo las aplicaciones de baja prioridad utilizan el ancho de banda sobrante si este existe. El resultado en el intervalo de 0-20 segundos es similar a la prueba anterior. El rango clave es el comprendido entre los 20-40 segundos, donde los tres tipos de tráfico comparten el medio.

En este ejemplo, los dos flujos más prioritarios se sirven completamente mientras que el de baja prioridad utiliza el ancho de banda sobrante. El último intervalo de la prueba es similar al ejemplo anterior. Si tenemos en cuenta los resultados del jitter, seguimos teniendo un valor inapreciable para las tramas de alta prioridad y un pequeño jitter para las de prioridad media ya que en este caso todo el tráfico es servido aunque, como es normal, después del de alta prioridad. En este caso, el comportamiento de alto jitter lo sufre el flujo de baja prioridad al ser servido si no existen tramas en las colas más prioritarias.

En la última prueba (Tabla 3) se puede apreciar cómo dos flujos con la misma prioridad comparten el ancho de banda remanente de una forma Round Robin. El resultado es el esperado: en el rango entre 10-30 segundos el flujo con mayor prioridad obtiene todo su tráfico garantizado mientras que los otros dos flujos reducen su salida hasta los 20 Mbps.



**Figura 10. Resultados de ancho de banda y jitter en la segunda prueba**

**Tabla 1. Parámetros de los flujos en la primera prueba**

Prioridad	Rate[Mbps]	Inicio [s]	Fin [s]
Best Effort (Baja)	100	0	60
Real Time (Media)	30	10	50
Low Latency (Alta)	80	20	40

**Tabla 2. Parámetros de los flujos en la segunda prueba**

Prioridad	Rate[Mbps]	Inicio [s]	Fin [s]
Best Effort (Baja)	100	0	60
Real Time (Media)	20	10	50
Low Latency (Alta)	60	20	40

**Tabla 3. Parámetros de los flujos en la tercera prueba**

Prioridad	Rate[Mbps]	Inicio [s]	Fin [s]
Best Effort (Baja)	40	0	40
Best Effort (Media)	40	0	40
Low Latency (Alta)	60	10	30

## 5. Conclusiones

Este artículo presenta el prototipo de pasarela residencial desarrollado y probado dentro del proyecto europeo MUSE para el acceso Ethernet en redes FTTH de banda ancha.

Esta pasarela residencial está diseñada para formar parte de un entorno con calidad de servicio extremo a extremo como el especificado en el proyecto MUSE y las características principales del prototipo son:

- El prototipo de esta pasarela residencial es capaz de autoconfigurarse independientemente del hardware y configuración de red.
- El procedimiento de autenticación basado en el estándar IEEE 802.1X es muy flexible y permite utilizar varios métodos de autenticación.
- La pasarela residencial ofrece una API muy flexible para la configuración/administración del mismo lo cual posibilita realizar esta función de diferentes formas como son la configuración vía Web, utilizando el estándar TR-069 del DSL Forum o mediante SIP (estas son las implementadas aunque se pueden integrar otras).
- Las capacidades de calidad de servicio incluidas en la pasarela residencial permite extender el marcado de IEEE 802.1p/q utilizado en la red de acceso de MUSE hacia la red del usuario y es capaz de tratar diferentes flujos de acuerdo a dicho marcado.
- La pasarela residencial es capaz de marcar los diferentes flujos de subida con la calidad de servicio apropiada.
- El prototipo de la pasarela residencial incorpora un ALG para solventar el problema del paso del NAT para las tramas de señalización SIP.

Estas características han sido probadas y los diferentes resultados se han mostrado en este artículo, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo.

Para la segunda fase de este proyecto (MUSE finalizará en diciembre de 2007), se proponen diferentes mejoras que están siendo estudiadas: integración de la Pasarela residencial en un escenario TISPAN-NGN, roaming de servicios y usuarios, convergencia fijo-móvil, servicios de valor añadido dentro de la Pasarela residencial (servidor de vídeo) o administrada por la Pasarela (e-care), etc.

## 6. Agradecimientos

Este artículo ha sido parcialmente financiado por el proyecto europeo MUSE (IST-026442).

## 7. Referencias

- [1] MUSE. Multimedia Access Everywhere. European Union 6th Framework Programme for Research and Technological Development. <http://www.ist-muse.org>
- [2] Demo of Triple Play Services with QoS in a Broadband Access Residential Gateway. F. Valera, J. García, C. Guerrero, V. Pinto and V. Ribeiro. IEEE Infocom 2006. Barcelona (Spain)
- [3] DSL Forum TR-069: CPE WAN Management Protocol, May 2004
- [4] The Click! modular router project. <http://www.read.cs.ucla.edu/click/>
- [5] QoS Management in Fixed Broadband Residential Gateways. C. Guerrero, J. Garcia, F. Valera, and A. Azcorra. IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia Networks and Services. MMNS 2005 (Oct 2005), Barcelona (Spain)
- [6] Designing a broadband residential gateway using Click! modular router. H. Gascón, D. Díez, J. García, F. Valera, C. Guerrero and A. Azcorra. IFIP EUNICE (Networked applications) 2005 (Jul 2005), Madrid (Spain).
- [7] Modeling of the Residential Gateway. A. de Smedt, H. Balemans, F. Valera and A. Nikolaidis. Broadband Europe 2005. Bordeaux (France). <http://www.bbeurope.org>
- [8] IEEE Std 802.1X™- 2004, 802.1 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks
- [9] IETF RFC 3748, June 2004. Extensible Authentication Protocol (EAP)
- [10] IETF RFC 2716, October 1999. PPP EAP-TLS Authentication Protocol
- [11] IETF RFC 4187, January 2006. Extensible Authentication Protocol Method for 3rd Generation Authentication and Key Agreement (EAP-AKA)
- [12] IETF 4186, January 2006. Extensible Authentication Protocol Method for Global System for Mobile Communications (GSM) Subscriber Identity Modules (EAP-SIM)
- [13] Iperf: The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool. <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
- [14] VLC: VídeoLAN Client. <http://www.videolan.org/vlc/>
- [15] SER: SIP Express Router. <http://www.iptel.org/ser/>
- [16] X-Lite. SIP Software Phone. <http://www.xten.com>