

# Procedimiento para implementar QoS en la capa de acceso en redes de próxima generación enfocado en el servicio de voz

Procedure for applying QoS mechanisms in NGN's access layers, for voice services

**Juan Pablo Arango B.**

*jparango@emcali.com.co*

**Luis Alberto Portilla A.**

*luportil@emcali.net.co*

*Empresas Municipales de Cali, Colombia*

**Juan Carlos Cuéllar Q.**

*jcuellar@icesi.edu.co*

*Universidad Icesi, Cali-Colombia*

.....  
*Fecha de recepción: Abril 17 de 2013*

*Fecha de aceptación: Mayo 21 de 2013*

## **Palabras clave**

PSTN; NGN; VoIP; ATM; UBR;  
CBR; xDSL.

## **Keywords**

PSTN; NGN; VoIP; ATM; UBR;  
CBR; xDSL.

**Colciencias  
tipo 1**

## **Resumen**

En la actualidad, todos los servicios convergen en una Red de Próxima Generación [NGN]. Asimismo, las exigencias de calidad de servicio [QoS], por los requerimientos de los usuarios, son más estrictas, lo que hace necesario plantear procedimientos de QoS que garanticen una operación eficaz en el transporte de los servicios más críticos y de tiempo real –como la voz–, garantizando la disminución de los problemas de latencia, jitter, pérdida de paquetes y eco. Los operadores de Telecomunicaciones deben aplicar las regulaciones emitidas por la Comisión de Regulación de Comunicaciones de Colombia [CRC] y ajustarse a las recomendaciones Y.1540 y Y.1541 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT]. Este documento presenta un procedimiento para aplicar mecanismos de QoS en una NGN en el acceso xDSL con el fin de mantener un nivel de QoS en Voz sobre IP (VoIP) que permita su provisión, con eficiencia económica y técnica, en favor tanto del cliente, como del operador de telecomunicaciones.

## **Abstract**

Currently all services converge into a Next Generation Network and considering that today the requirements about quality of service are more stringent because of the same user requirements, it is necessary to propose a procedure of QoS to ensure an efficient operation of transporting the most critical services and real time; as the voice, ensuring the reduction of latency, jitter, packet loss and Eco. The CRC (Regulatory Commission of Communications) in Colombia applies the provisions of QoS for they can be used by telecommunications operators and they must be conform to the recommendations Y.1540 and Y.1541 ITU-T (International Telecommunication Union). The aim of this paper is to present a procedure for applying QoS mechanisms in NGN network in xDSL access in order to maintain quality of service in Voice over IP (VoIP), which allows economic and technically efficient provision of VoIP for customer and the telecommunications operator.

## I. Video en 3D

El servicio de voz ha migrado progresivamente desde las Redes Telefónicas Públicas Conmutadas [PSTN, por *Public Switched Telephone Network*] a infraestructura de Red de Próxima Generación (NGN, por *Next Generation Network*), obligando a los proveedores de servicios a garantizar, al *nuevo* servicio de voz, la misma calidad que se prestaba sobre las redes PSTN tradicionales. Con base en esto, el artículo presenta los resultados de un trabajo realizado sobre tres escenarios de prueba, con el fin de proponer un procedimiento para implementar calidad de servicio (QoS) en la capa de acceso xDSL, para el servicio de Voz, de tal manera que las empresas de servicios de telecomunicaciones tenga un factor diferenciador –fundamental en un mercado cada vez más competitivo– y logren la entrega de dicho servicio con un nivel de QoS acorde con los estándares de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y los requerimientos de la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) –ente regulador que sigue de cerca la evolución de la QoS en Colombia, para satisfacción de los usuarios.

El artículo contiene: en la Sección II, las recomendaciones UIT-T Y.1540 –que define parámetros que permiten especificar y evaluar la calidad de funcionamiento (UIT-T, 2011a)– y UIT-T Y.1541 –que especifica los valores de calidad de funcionamiento de IP aceptables para cada uno de los parámetros de calidad de funcionamiento definidos en la Recomendación UIT-T Y.1540–, presenta los criterios específicos de la voz sobre tecnologías xDSL y aspectos relacionados con la capa ATM, la responsable de transferir la información en forma de celdas, funcionalidad que se encuentra entre el DSLAM y el CPE (UIT-T, 2011b); en la sección III se desarrolla el análisis de resultados de las pruebas de tres escenarios de laboratorio, lo que conlleva a determinar un escenario sugerido y de mejores resultados para, con base en ello, establecer un procedimiento detallado en la Sección IV, teniendo en cuenta las colas y los mecanismos de programación PQ; el artículo cierra con la presentación de las conclusiones.

## II. Conceptos básicos

Hoy día los operadores de telecomunicaciones han migrado los servicios que funcionan en redes de conmutación de circuitos a redes de conmutación de paquetes o NGN. Esta estructura lleva consigo servicios de la PSTN, tráfico de aplicaciones de Internet y todo tipo de servicio de protocolo IP.

Técnicamente, el principal obstáculo en la convergencia ha sido la QoS, porque el mecanismo más utilizado en la redes NGN es *Best Effort*, cuya funcionalidad es asignar una cierta capacidad de canal a todos los usuarios, *de la mejor manera posible*, sin hacer verdaderos compromisos en cuanto a la tasa de transferencia o el retardo de los

paquetes; como esto no es realmente eficaz, ni mucho menos significativo, las empresas de telecomunicaciones con NGN deben desarrollar procedimientos y parámetros de QoS que influyan en la buena prestación de servicios, principalmente el de voz sobre IP (VoIP).

La oficina de estandarización de la UIT (UIT-T) tiene dos recomendaciones de importancia – UIT-T Y.1540 y UIT-T Y.1541–, que hablan de los parámetros comunes de QoS y de los mecanismos de red específicos de QoS sobre una base de terminal a terminal.

Los accesos xDSL tienen dos alternativas para la transmisión de los paquetes voz: VoATM y VoIP. El protocolo ATM tiene ventajas debido a que cuenta con mecanismos propios que garantizan la calidad de servicio. En protocolo IP no proporciona garantía de QoS en su forma tradicional, lo que obliga a los operadores de telecomunicaciones a emplear mecanismos para garantizar la eficiencia del servicio de voz.

### **A) Recomendación ITU-T Y.1540**

La recomendación UIT-T Y.1540 define los parámetros que se pueden utilizar para especificar y evaluar el rendimiento de la velocidad, la precisión, la fiabilidad y la disponibilidad de la transferencia de paquetes IP, por medio de una comunicación de datos. Los parámetros pueden ser empleados en caracterizar el flujo IP extremo a extremo y los diferentes puntos de la red (UIT-T, 2011a).

Esta recomendación es utilizada por los operadores de telecomunicaciones en la planificación, el desarrollo y la evaluación de servicios que puedan transportarse en una red IP, con el objetivo de satisfacer las necesidades de los usuarios que requieren de un manejo adecuado de sus servicios contratados.

La recomendación define unas métricas que posteriormente se traducen en los llamados parámetros NP (*Network Performance*), métricas que se definen a continuación:

- » *Delay (latencia o retardo)*. Es el tiempo o lapso necesario para que un paquete (mensaje) de información, se transfiera y llegue de un extremo –transmisor– al otro –receptor–, de la comunicación.
- » *Jitter*. Es la variación del retardo en cortos períodos de tiempo, teniendo en cuenta la posición ideal en el tiempo de una señal digital a través de una red.
- » *Pérdida de paquetes*. Corresponde a la probabilidad promedio de que uno o más paquetes que viajan por la red sean descartados y no alcancen su destino.
- » *Throughput*. Es el volumen de datos o la capacidad de un sistema para transferir información entre dos nodos, a través de la red, en un período de tiempo determinado.

### **B) Recomendación ITU-T Y.1541**

En esta recomendación se describen las clases de QoS de red definidas, indicando una combinación específica de límites en los valores de la calidad de funcionamiento. De esta manera se incluyen directrices de uso de cada clase de QoS de red.

**Tabla 1.** Parámetros de Calidad de funcionamiento que determinan la QoS en NGN (UIT-T, 2011b)

Parámetro de calidad de funcionamiento de la red	Tipo de objetivo de calidad de funcionamiento de la red	Clases de QoS					
		Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5 sin especificar
IPTD	Límite superior sobre el IPTD medio (Nota 1)	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1 s	U
IPDV	Límite superior sobre el cuantil $1 - 10^{-3}$ de IPTD menos el IPTD mínimo (Nota 2)	50 ms	50 ms	U	U	U	U
IPLR	Límite superior sobre la probabilidad de pérdida de paquetes	$1 \times 10^{-3}$	U				
IPER	Límite superior	$1 \times 10^{-4}$	U				

Para garantizar un óptimo servicio de VoIP se debe trabajar con las siguientes clases (UIT-T, 2011b):

- » *Clase 0: Aplicaciones en tiempo real muy interactivas.* Se caracterizan por ser altamente sensibles al retardo y al *jitter*. El retardo medio máximo es 100 ms, el *jitter* debe ser menor a 50 ms, la tasa de pérdidas inferior a  $10^{-3}$  y la tasa de errores menor a  $10^{-4}$ . Esta clase incluye aplicaciones como VoIP y videoconferencia.
- » *Clase 1: Aplicaciones en tiempo real.* Se caracterizan por ser sensibles al retardo y al *jitter*, pero no requieren de parámetros tan rígidos como la Clase 0. El retardo medio máximo es 400 ms, el *jitter* debe ser menor a 50 ms, la tasa de pérdidas inferior a  $10^{-3}$  y la tasa de errores menor a  $10^{-4}$ . Esta clase incluye aplicaciones como VoIP y videoconferencia con una calidad menor percibida en los extremos.

En general el objetivo principal de las redes NGN es proporcionar una calidad equivalente a la PSTN brindando servicios tradicionales de voz y otros servicios auxiliares como fax, módem, entre otros. Por otro lado, para el caso del servicio VoIP, se debe tener en cuenta que se tienen tres tipos diferentes de flujos de datos: paquetes de voz, señalización y operaciones & mantenimiento. Estos componentes tienen diferentes necesidades de QoS las cuales, si son satisfechas correctamente, brindarán una buena calidad en la experiencia del usuario.

### **C. Transporte de ATM sobre xDSL**

Para el transporte de ATM sobre xDSL, los canales serán independientes a cualquier velocidad de bits en un múltiplo entero de 32 kbit/s, hasta un total máximo de la capacidad determinada por el proceso de inicio. Además, para cada canal la tasa de bits, en direcciones ascendente y descendente, se puede ajustar independientemente de las demás (Broadband Forum, 2001).

**Tabla 2.** Guía para las clases de QoS sobre protocolo IP (UIT-T, 2011b)

QoS Class	Applications (examples)	Node mechanisms	Network techniques
0	Real-time, jitter sensitive, high interaction (VoIP, VTC)	Separate queue with preferential servicing, traffic grooming	Constrained routing and distance
1	Real-time, jitter sensitive, interactive (VoIP, VTC)		Less constrained routing and distances
2	Transaction data, highly interactive (Signaling)	Separate queue, drop priority	Constrained routing and distance
3	Transaction data, interactive		Less constrained routing and distances
4	Low loss only (short transactions, bulk data, video streaming)	Long queue, drop priority	Any route / path
5	Traditional applications of default IP networks	Separate queue (lowest priority)	Any route / path

La capa ATM es responsable por la transferencia de la información en forma de celdas a través de la red. Para ello realiza una serie de funciones: multiplexación/demultiplexación de celdas usando los campos VPI (*Virtual Path Identifier*) y VCI (*Virtual Channel Identifier*), y generación y extracción de cabeceras de las celdas (Telefónica, 2008).

### 1) Capa de Adaptación ATM

La ITU-T clasificó diferentes servicios y definió, de acuerdo con las clases de servicios, cinco tipos de ATM Adaptation Layer [AAL] (ver Figura 1).

Sin embargo, en la capa AAL están definidos cuatro tipos de servicio, en función de los parámetros de velocidad, sincronización y conexión, que relacionan el origen con el destino. Las cuatro clases de servicio AAL, denominados A, B, C y D, se resumen en la tabla 3.

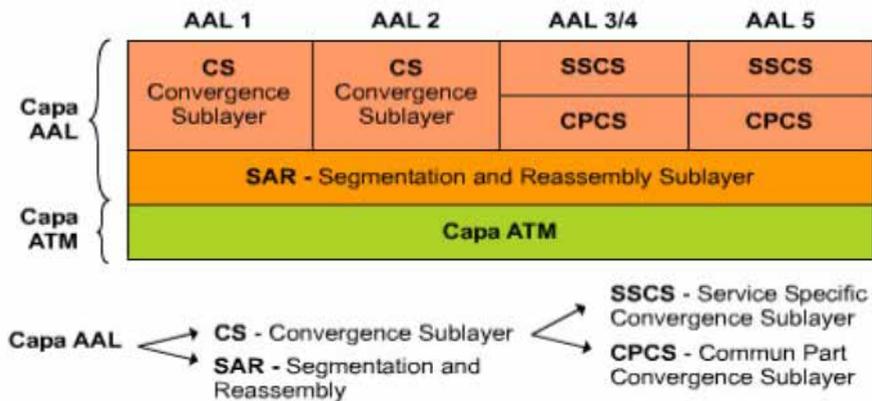


Figura 1. Tipos AAL (Alcatel, 2005)

**Tabla 3.** Servicios ofrecidos por la capa de adaptación (Telefónica, 2008)

	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
<b>Temporización entre usuarios</b>	<b>Requerido</b>		<b>No Requerido</b>	
Velocidad de Acceso	Constante		Variable	
Modo de Conexión	Orientado a Conexión		Sin Conexión	
Capa de Adaptación	AAL-1	AAL-2	AAL 3/4-5	AAL-5

### **D) Arquitectura de servicios de QoS y tráfico en ATM**

La arquitectura de servicios que provienen de la capa ATM consiste en las siguientes seis categorías de servicio: constant bit rate [CBR]; real-time variable bit rate [Rt-VBR]; non-real-time variable bit rate [Nrt-VBR]; unspecified bit rate [UBR]; available bit rate [ABR]; y guaranteed frame rate [GFR] (ATM Forum, 1999).

Estas categorías de servicio se relacionan con las características de tráfico y requisitos de QoS de acuerdo con el comportamiento de red. Las categorías de servicio ATM se definen utilizando los parámetros que especifican la calidad de servicio (QoS) garantizada, como:

- » Peak-to-peak CDV [Cell Delay Variation] o variación del Retardo de Celda de pico a pico;
- » MaxCTD [Maximum Cell Transfer Delay] o Retardo Máximo de Transferencia de Celda; y
- » CLR [Cell Loss Ratio] o tasa de pérdida de celdas.

De esta manera los datos enviados por el usuario a través de las conexiones es definido por los siguientes parámetros de tráfico: PCR, tasa de pico de celdas, la velocidad máxima a la cual una conexión puede generar tráfico, expresada en celdas/segundo; CDVT, tolerancia máxima del CDV, es decir, jitter máximo aceptable; SCR, velocidad media de transmisión (velocidad sostenible a largo plazo); MBS, número máximo de celdas que pueden ser enviadas a la velocidad de pico; MFS, número máximo de celdas que pueden formar una trama; y MCR, velocidad mínima aceptable en el tráfico de celdas (ATM, 1999).

### **E) Prioridad de pérdida de celda (Cell loss priority).**

El bit de prioridad de pérdida de celda [CLP] es un campo de 1 bit en el encabezado de la celda ATM que indica la prioridad relativa de la celda. Puede utilizarse en momentos de congestión para descartar celdas con prioridad baja y mantener las celdas con prioridad alta. Las celdas con bit 0 en CLP (CLP = 0) son de alta prioridad y las celdas con bit 1 en CLP (CLP = 1) son de baja prioridad. A veces, los dispositivos xDSL monitorean ambos tipos de flujos de celdas con un identificador "CLP 0 + 1" (Alcatel, 2005).

Durante la congestión se puede utilizar una técnica llamada *tagging* para cambiar el valor del bit de CLP. Dependiendo de los parámetros del contrato de tráfico, la congestión puede causar que el dispositivo xDSL pueda cambiar el flujo de celda CLP = 0 a CLP = 1,

cambiando inmediatamente, en consecuencia, su estado de alta a baja prioridad. Sin embargo el contrato de tráfico puede causar que la celda pueda ser rechazada (Alcatel, 2005).

Cada circuito virtual, sea una *Virtual path connection* o una *Virtual Channel Connection*, tiene un contrato de tráfico definido. Este contrato incluye una descripción del tipo de tráfico que utilizará el circuito, la clase de servicio esperado en él y un descriptor de tráfico que cuantifica la tasa de celdas permitidas. La Tabla 4 muestra el flujo de celda(s) marcada(s) o vigilada(s) por los parámetros PCR, SCR y MBS, para cada descriptor de tráfico (Alcatel, 2005).

Tabla 4. Tráfico marcado para cada paquete del descriptor de tráfico (Alcatel, 2005)

Traffic Descriptor	Peak Cell Rate (PCR) Check	Sustained Rate (SCR) Check	Maximum Burt Size (MBS) Check
NoCLPNoSCR	CLP=0+1	Not Checked	Not Checked
CLPNoTagNoSCR	CLP=0+1 and CLP=0	Not Checked	Not Checked
CLPtagNoSCR	CLP=0+1 and CLP=0	Not Checked	Not Checked
NoCLPSCR	CLP=0+1	CLP=0+1	CLP=0+1
CLPNoTagSCR	CLP=0+1	CLP=0	CLP=0
CLPtagSCR	CLP=0+1	CLP=0	CLP=0

## F) Voz Sobre xDSL (VoDSL)

xDSL es un término genérico para la gran variedad de tecnologías pertenecientes a DSL [*Digital Subscriber Line*]. Existen gran variedad de tecnologías pertenecientes a xDSL; una de las mejores formas de categorizarlas es con relación a los métodos que usan para codificar sus datos. Algunos de los tipos de xDSL, son: ADSL [*Asymmetric Digital Subscriber Line*], ADSL(G.lite), ADSL<sub>2</sub>, ADSL<sub>2</sub>-RE, ADSL 2+, SHDSL [*High Bit-Rate Digital Subscriber Line*], VDSL (*Very High Bit-Rate DSL*) y VDSL<sub>2</sub>+. Broadband Forum (s.f., p.2), presenta la tabla comparativa entre el tipo de xDSL y la máxima capacidad de velocidad.

La Figura 2 muestra una configuración de red utilizando el conocimiento de las tecnologías involucradas en el acceso xDSL de la voz en la parte de ATM y la paquetización de la voz sobre IP (VoIP).

En el DSLAM, el tráfico voz que va hacia el CPE se transporta sobre protocolo de encapsulamiento AAL1 [UIT-T 363.1 (1996)] y AAL2 [ITU-T 363.2 (2000)]. De esta manera, se conecta a la red IP por medio del agregador. Todo el tráfico de voz que viene de los diferentes circuitos virtuales [VC] se transporta a través de la red IP y es controlado por el *softswitch*; en el caso de que un cliente de voz necesite llamar a un abonado de la PSTN –o viceversa– este tráfico inmediatamente se transporta por el gateway de troncal y señalización. La Tabla 6 presenta la relación de los tipos de AAL con las categorías de servicio ATM, mostrando dónde la voz tiene el mejor uso.

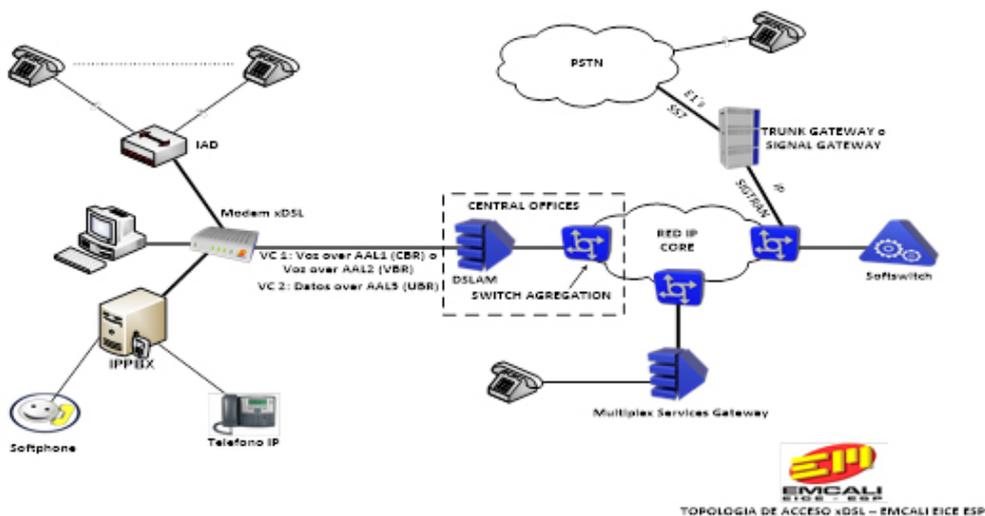


Figura 2. Arquitectura de voz sobre ATM en acceso xDSL

Tabla 4. Relación de tipos de AAL a las categorías de servicios ATM (Cisco, 2005)

AAL Type	ATM Service Category	Application
AAL0 <sup>1</sup>	(Not applicable)	Cell relay over MPLS
AAL1	CBR	Voice
AAL2	rt-VBR	Compressed voice (allows for silent periods) or compressed video; Voice over ATM (VoATM).
AAL3/4 <sup>2</sup>	ABR, UBR	No longer used
AAL5	ABR, CBR, nrt-VBR, rt-VBR, UBR	Data

### G) Arquitectura de red basada en Ethernet para la agregación de xDSL

Las actuales arquitecturas xDSL son capaces de soportar altas velocidades de bit/s para servicios que requieren QoS, multicast u otros servicios limitantes en el ambiente del core ATM. Con tecnología Ethernet, en la agregación de xDSL se genera un mecanismo de transporte que soporta altas velocidades de conexión basada en paquetes IP, con QoS, simplificación de aprovisionamiento, multicast y redundancias, de manera eficiente. De esta manera, la red de agregación está basada en Ethernet en el Access node o DSLAM y el *broadband network gateway*, que están equipados con interfaces Ethernet capaces de virtualizar redes con VLAN tagging. Esta etiqueta se define en el estándar IEEE 802.1Q (2011).

Por lo tanto, en una arquitectura de servicios múltiples los circuitos virtuales [VC] son aprovisionados entre el nodo de acceso (DSLAM) y la RG (Residential Gateway). Las RG tienen la posibilidad de asignar diferentes tráficos a los diferentes VC. En tal caso, de acuerdo con la Figura 3, el tráfico generalmente es enviado sin etiqueta

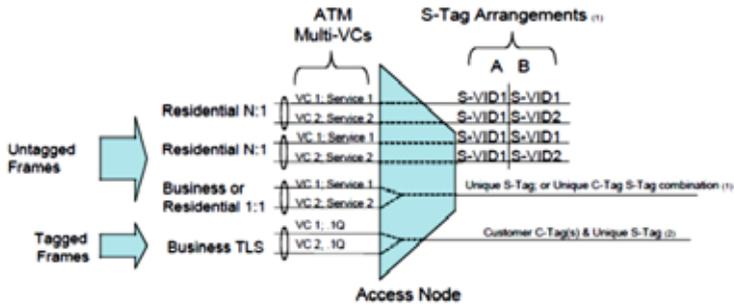


Figura 3. Arquitectura de múltiples VCs (Cohen, & Shrum, 2006)

(*untagged*) al puerto correspondiente del nodo del acceso, para así ser asignado a una VLAN y darle una prioridad según el servicio.

**H) Cola y mecanismo de programación en los DSLAM**

En la Figura 4 se observa que los DSLAM soportan ocho colas de prioridad en la tarjeta principal de control y son compatibles con los métodos de programación de PQ, WRR, WRR-Max-Delay. En la Figura 5 estos dispositivos de acceso soportan cuatro colas de prioridad en la tarjeta de servicio soportada con el método de programación de PQ.

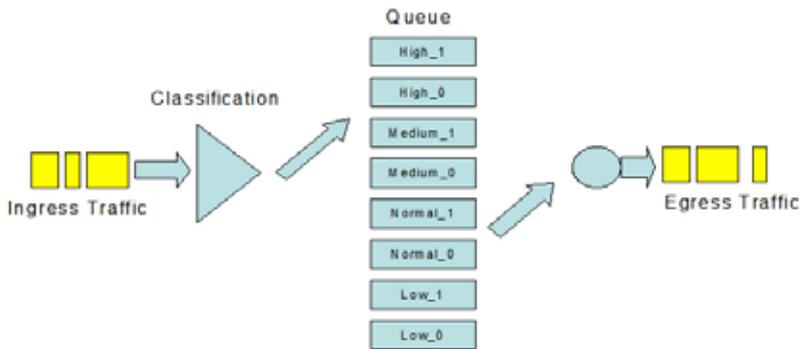


Figura 4. Programación de colas en la tarjeta principal de control (Huawei, 2005)

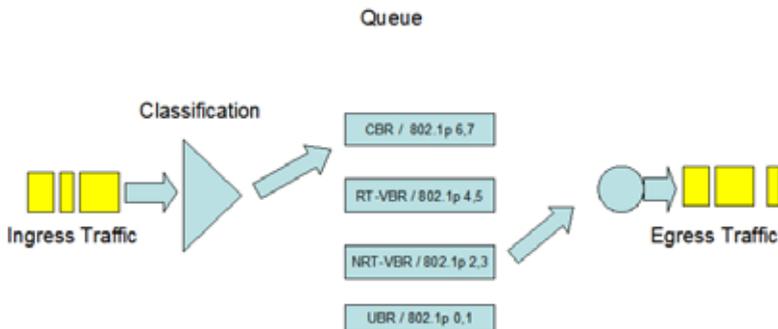


Figura 5. Programación de colas en la tarjeta servicio (Huawei, 2005)

- » *PQ (Priority queue)*. En el modo de prioridad cola los paquetes se transmiten de mayor a menor prioridad. Así, en el momento que haya congestión, los paquetes con mayor prioridad se transmiten primero (Cuellar, 2009).
- » *WRR (Weighted round robin)*. En este modo se establece un valor de ponderación para cada cola (de mayor a menor,  $w_7, w_6... w_0$ ). Dicho valor de ponderación indica la proporción de recursos; así, la cola de prioridad baja obtiene un ancho de banda determinado con la desventaja de obtener servicio en un tiempo largo (Cuellar, 2009).
- » *WRR-Max-Delay (weighted round robin maximum delay)*. En este modo, si el tiempo de espera de los paquetes de mayor prioridad excede el retardo máximo, el paquete se transmite directamente.

### III. Escenarios de pruebas y análisis de datos

Para definir el procedimiento para ofrecer QoS se implementaron tres escenarios de prueba para el servicio de VoIP en redes xDSL, que ejemplifican a una red de acceso xDSL formada por un segmento de red Ethernet en el lado del agregador, lado usuario y la parte ATM entre el CPE (ADSL) y el puerto. En lo que respecta a este planteamiento, se adoptará un procedimiento que proporcionará un efecto global en la calidad de funcionamiento del servicio VoIP en accesos xDSL, que determinará el grado de satisfacción de los usuarios. La adopción de este procedimiento está basada en aspectos de la recomendación UIT-T G.1000 (2001), que permite determinar los problemas relacionados con la calidad de servicio en la última milla xDSL y cuantificar el problema desde diversos puntos de vista.

Sin embargo se establece cuatro puntos de vista que representan el enfoque de QoS para las necesidades del servicio que desarrolla la UIT-T (2001): necesidades de QoS del cliente; ofertas de QoS del proveedor de servicio planificada y esperada; QoS conseguida u ofrecida; y calificación de la QoS en las encuestas de cliente.

#### A) Procedimiento y consideraciones previas.

La Figura 6, que ilustra el procedimiento, muestra los principales elementos para la obtención de los parámetros de NP (*Network Performance*) desde los requerimientos de QoS de los usuarios/clientes de VoIP de acceso xDSL.

Las necesidades de QoS de los usuarios/clientes es el punto de partida; ellas son transformadas en parámetros de QoS ofrecido por el operador de telecomunicaciones, los que, a su vez, son transformados en parámetros de funcionamiento relacionados con el DSLAM y parámetros de funcionamiento relacionados con la experiencia del cliente. Los parámetros relacionados con el DSLAM son transformados a parámetros de NP (y se les asignan valores objetivos). De esta manera el funcionamiento de QoS alcanzado por el DSLAM es obtenido de la experiencia del cliente. En la Figura 6 se describen brevemente los pasos para la implementación de QoS en accesos xDSL, en una red NGN.

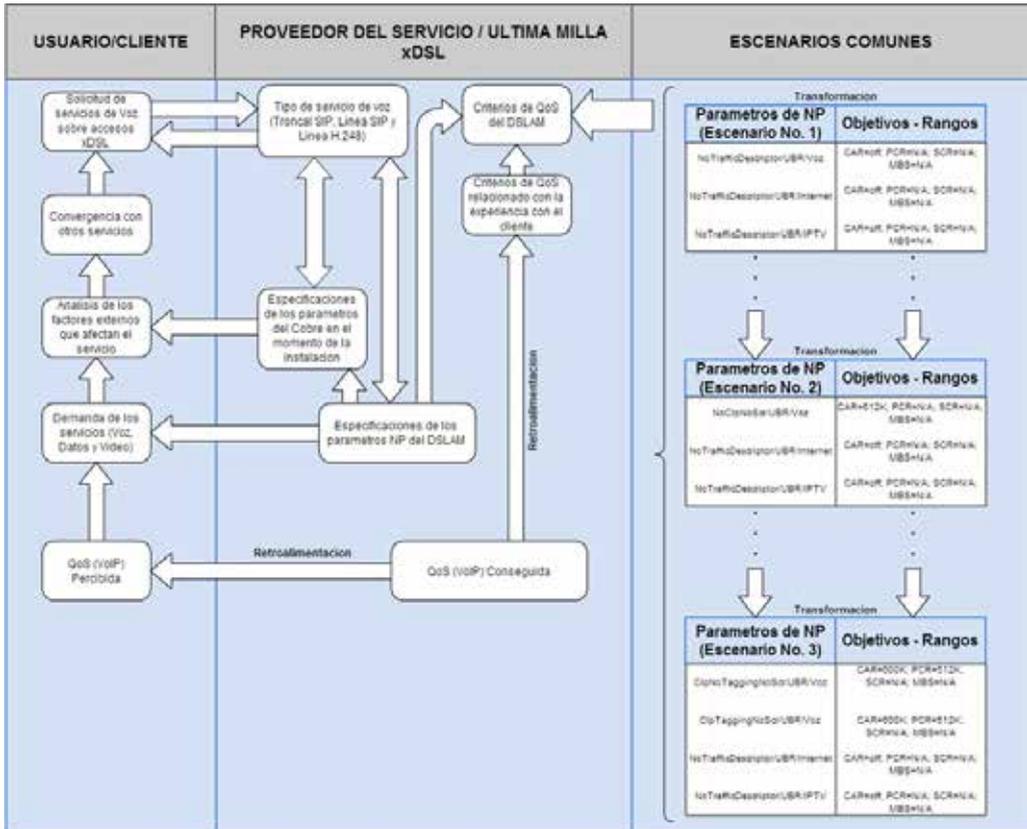


Figura 6. Procedimiento para implementar QoS en xDSL

Para definir el procedimiento de QoS se realizó una serie de pruebas de laboratorio con tres escenarios para el servicio de VoIP en redes xDSL (ver Figura 7), que ejemplifica una red de acceso xDSL formada por un segmento de red Ethernet en el lado del agregador, lado usuario y la parte ATM entre el CPE (ADSL) y el puerto.

Con base en los datos obtenidos y su análisis, se definió el procedimiento paso a paso, que le permite a un operador de telecomunicaciones emplearla en todos los segmentos residenciales, pymes y grandes clientes. De este modo no habría la necesidad de un acceso por servicio, sino que tendrá un ahorro en puertos xDSL y pares telefónicos con la instalación de múltiples servicios por un mismo acceso.

**B) Escenarios de prueba**

Los escenarios de pruebas se relacionan con modos de configuración, de la siguiente manera:

- » *Escenario 1* (modo normal). La VLAN de voz, internet y IPTV se mapea al pvc correspondiente sin aplicar políticas ni QoS.
- » *Escenario 2* (modo con políticas). La VLAN de voz, internet y IPTV se mapea al pvc correspondiente con la condición de aplicar políticas de ancho de banda para cada servicio, pero sin aplicar QoS.

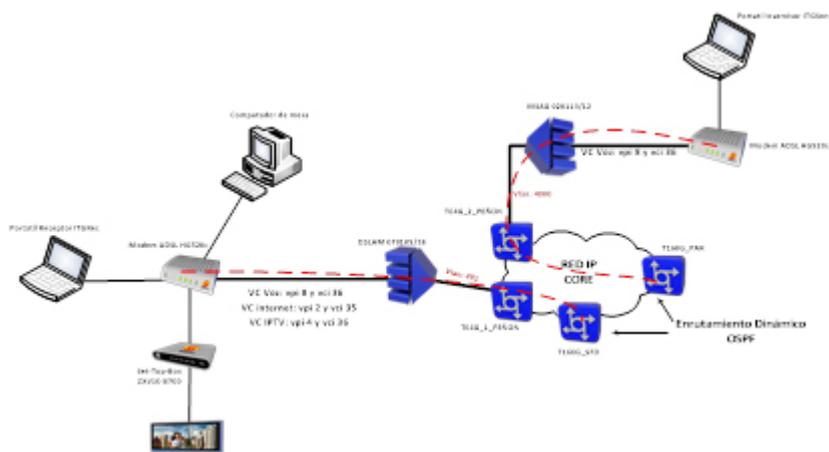


Figura 7. Topología de laboratorio acceso ADSL

» *Escenario 3* (modo con políticas y QoS). La *VLAN* de voz, internet y IPTV se mapea al *pvc* correspondiente, se aplican las políticas de ancho de banda y también se aplica *QoS* con prioridad de colas (PQ).

Para inyectar tráfico a cada escenario se utilizó el D-ITG (*Distributed Interne Traffic Generator*) versión 2.8.0-rc1 (Dainotti, Botta, & Pescapè, 2012), un generador de tráfico libre que proporciona una funcionalidad mediante la cual se guardan archivos con información estadística sobre los resultados, llamados archivos de *logs*. Estos archivos se almacenan en un servidor de *logs* definido previamente en el computador conectado al Modem ADSL; gracias a ello se obtienen las medidas que se van analizar.

La información recogida en los archivos de *logs* se visualiza mediante la misma herramienta D-ITG versión 2.8.0-rc1, para obtener los archivos *.dat*, que contienen la información sobre el caudal, el retardo, el jitter y los paquetes perdidos, de la información enviada.

### 1) Pruebas: escenario 1

Se comenzó trabajando con el Escenario 1, el más básico en el sentido de que sólo se configuraron las tablas de tráfico con categoría de servicio *UBR*; es decir, no tuvo ninguna prioridad para los servicios de voz, datos y video. El ancho de banda asignado entre la tarjeta ADSL y el CPE tuvo congestión total en el momento en que estos servicios entraron a competir por el canal. La prueba propuesta para este escenario se presenta en la Tabla 7.

La prueba en modo de Best Effort, en el acceso ADSL del DSLAM, demostró que el servicio de VoIP se vio muy afectado en el momento en que se utilizó IPTV e Internet, dado que el caudal ATM con múltiples flujos en diferentes circuitos virtuales tiende a competir por el canal.

## 2) Pruebas: escenario 2

A diferencia del caso anterior, se aplicó la tabla de tráfico con políticas de ancho de banda CAR (Committed Access Rate), que permite reservar un ancho de banda específico al tránsito de la voz, dejando a los demás servicios en igualdad de condiciones, entre ellos.

La prueba realizada con una a cinco llamadas simultáneas es igual a la realizada en el escenario 1, con la diferencia de que aquí la VoIP tiene reservado un ancho de banda de 512 Kbps. Los flujos que se generaron desde el transmisor hasta el receptor, fueron analizados, obteniendo los siguientes datos, de acuerdo con la Tabla 8.

Con el caudal de voz aplicando políticas de tráfico CAR, se nota una mejoría en el delay, que fue sensible en el escenario 1 con respecto al jitter y la pérdida de paquetes. De este modo el delay, el jitter y la pérdida de paquetes están por debajo de los parámetros de clase 1, de acuerdo con los límites superiores de la Tabla 8.

## 3) Pruebas: escenario 3

Se aplicaron dos tipos de descriptores de tráfico comunes para la categoría de servicio CBR sugerida en esta implementación. En el DSLAM se tiene tablas de tráfico con la función de probar el comportamiento del flujo de voz en la saturación de la interfaz ADSL.

Los descriptores de tráfico *CLPNoTaggingNoSCR* y *CLPNoTaggingNoSCR* trabajan sobre ATM, aunque por defecto se aplica un CAR para garantizar un ancho de banda estable en el circuito virtual 8/36. De la misma manera, el CLP activado tendrá dos funcionalidades; como  $CLP = 0$ , para el primer balde, y como  $CLP = 0 + 1$  para el segundo balde, llamado también *Leaky Bucket*.

Con el mecanismo *CLPNoTaggingNoSCR* se garantizamos el modo de PQ o prioridad de colas al tráfico de voz, es decir; estos flujos transmitirán primero que los otros flujos. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

El caso de tagging en el descriptor de tráfico *CLPTaggingNoSCR* simplemente es igual al otro; la única diferencia es el balde de PCR 0 donde tiene la posibilidad de cambiar algún flujo de alta prioridad a baja prioridad sumándose con el flujo que venía con  $CLP = 1$ . Aunque en comparación con el descriptor de tráfico *CLPNoTaggingNoSCR*, fue realmente igual y el flujo de voz se sostuvo en los parámetros establecidos de la clase 0 de la recomendación UIT Y.1541 (2011b). Los resultados se muestran en la Tabla 10.

Finalmente, los datos de las Tablas 9 y 10 muestran como esta implementación de QoS con prioridad de cola (PQ) presenta unos parámetros de certificación de alta calidad en el ofrecimiento del flujo de VoIP hacia el usuario. Al proporcionar un ancho de banda reservado con políticas (CAR) al tráfico de voz logra que este servicio tenga un caudal fijo para transmisión del lado ATM, entre la interfaz ADSL y el CPE.

Con respecto al mecanismo de PQ (prioridad de colas) que se utilizó en la implementación del escenario 3 se deduce que la categoría de servicio CBR (*Constant Bit Rate*) se utilizó el número 7 como la más alta prioridad para servicios de tiempo real como la VoIP.

Tabla 7. Análisis de tráfico de voz en el acceso xDSL con Best Effort

Aplicación evaluada: VoIP sobre xDSL (clase 1, convencional))	Una (1) llamada VoIP sobre xDSL	Una (2) llamada VoIP sobre xDSL	Una (3) llamada VoIP sobre xDSL	Una (4) llamada VoIP sobre xDSL	Una (5) llamada VoIP sobre xDSL	Una (5) llamada VoIP sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)							
Parámetro	Límite Superior (LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)		
IPTTD (ms)	400	1890,5	1490,5	2402,4	2002,4	2988,1	2588,1	3622,3	3223,3	4248	3448	7076,6	6676,6
IPDV (ms)	50	3,74	(-46,23)	3,59	(-46,41)	3,27	(-46,73)	2,96	(-47,04)	2,84	(-47,16)	3,5	(-47,16)
IPLR (%)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	(-0,72)	19,63	18,63
IPER	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8. Análisis de tráfico de voz en el acceso xDSL con CAR

Aplicación evaluada: VoIP sobre xDSL (clase 1, convencional)	Una (1) llamada VoIP sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (2) llamada VoIP sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (3) llamada VoIP sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (4) llamada VoIP sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (5) llamada VoIP sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)						
Parámetro	Límite Superior (LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)
IPTTD (ms)	400	201,6	(-198,4)	205,1	(-194,9)	214,9	(-185,1)	221,3	(-178,7)	228,3	(-171,7)
IPDV (ms)	50	1,44	(-48,56)	1,38	(-48,62)	1,28	(-48,72)	1,00	(-49)	0,94	(-49,06)
IPLR (%)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IPER	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 9. Análisis de tráfico de voz en el acceso xDSL con PQ (CLPNoTaggingNoSCR)

Aplicación evaluada: VoIP sobre xDSL (clase 1, conversacional)		Una (1) llamada sobre parrilla de canales (IPTV)	Una (2) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (3) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (4) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (5) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)					
Parámetro	Límite Superior (LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)				
IPTD (ms)	100	24,3	(-75,7)	14,4	(-85,6)	20,5	(-79,5)	25,3	(-74,7)	30,4	(-69,6)
IPDV (ms)	50	1,42	(-48,58)	1,97	(-48,63)	1,24	(-48,76)	1,03	(-48,97)	0,93	(-49,07)
IPLR (%)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IPER	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 10. Análisis de tráfico de voz en el acceso xDSL con PQ (CLPNoTaggingNoSCR)

Aplicación evaluada: VoIP sobre xDSL (clase 1, conversacional)		Una (1) llamada sobre parrilla de canales (IPTV)	Una (2) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (3) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (4) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)	Una (5) llamada sobre xDSL con la parrilla de canales (IPTV)					
Parámetro	Límite Superior (LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)				
IPTD (ms)	100	39,5	(-60,5)	43,6	(-56,4)	47,9	(-52,1)	53,8	(-46,2)	57,7	(-42,3)
IPDV (ms)	50	1,44	(-48,56)	1,98	(-48,62)	1,27	(-48,73)	1,56	(-48,44)	0,81	(-49,19)
IPLR (%)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IPER	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La utilización de la herramienta de evaluación de desempeño D-ITG fue capaz de calcular los retardos de ida (OWD por *One Way Delay*) y de ida-y-vuelta (RTT, por *Round Trip Time*), la tasa de pérdida de paquetes, el jitter y el throughput, parámetros que determinan, por las pruebas realizadas en el escenario 3 –de acuerdo con la configuración realizada en los diferentes dispositivos que intervienen en él– que el procedimiento aplicado en este escenario permite garantizar QoS al servicio de VoIP.

#### **IV. Procedimiento para ofrecer QoS en operadores de telecomunicaciones en acceso xDSL**

Analizando los resultados obtenidos en cada escenario de laboratorio se concluyó que el escenario 3 es el que mantiene los parámetros de QoS dentro de los rangos establecidos por la recomendación Y.1541 (2011). Con base en esto, el procedimiento que se describe a continuación corresponde al proceso necesario para lograr la configuración y el buen funcionamiento de dicho escenario, según se describió en la sección anterior. Se toma como ejemplo el equipo DSLAM como modelo general para todos los operadores de telecomunicaciones que presten servicios convergentes sobre accesos xDSL en redes NGN. A continuación se recomiendan seis pasos importantes para la parametrización NP del DSLAM de acuerdo con la Figura 6:

- » *Paso 1.* Crear la VLAN del servicio y luego colocar en modo Tagged en la interfaz Uplink que interconecta al switch agregador. Este puerto Uplink, en general, está en modo TRUNK para la conexión de múltiples VLAN de servicios. En la Interfaz xDSL se configura en modo UnTagged o modo Access.
- » *Paso 2.* Después de la configuración del paso 1, en la interfaz xDSL se procede con el mapeo de los circuitos virtuales VPI y VCI a la VLAN del servicio. Esta configuración se hace directamente en la interfaz. A partir de esta configuración se debe tener en cuenta que el VPI y VCI queden activos. La recomendación técnica para este paso es que el operador de telecomunicaciones debe dejar en modo *disable* los PVC [*Path Virtual Circuit*] que no estén mapeados a las VLAN del servicio. Se trata, desde luego, de garantizar que no se transmita tráfico indeseado al acceso xDSL.
- » *Paso 3.* Este es de gran importancia para las capacidades de ancho de banda del acceso xDSL. El operador de telecomunicaciones, antes de crear el *profile*, debe analizar qué tipo de servicio contrató el usuario; por ejemplo: cantidad de líneas, ancho de banda de Internet y plan de televisión (básico/estándar o Premium HD). Teniendo en cuenta lo anterior se procede con la creación del *profile* para el puerto xDSL, aunque esta configuración varía de acuerdo con el tipo de xDSL (ADSL 2 *plus*, VDSL y VDSL 2 *plus*), dado que ésta familia de accesos xDSL maneja anchos de bandas distintos.
- » *Paso 4.* Con base en el paso anterior, se debe asignar el *profile* en la interfaz xDSL. Esto se hace en modo de configuración del dispositivo y después ingresar

en el puerto xDSL. Para rectificar el funcionamiento del *profile* se debe instalar el Modem xDSL en el usuario y observar cuáles son el *downstream* y *upstream* que llegan al usuario. Cabe señalar que estos parámetros pueden cambiar por la distancia, la señal a ruido (S/N) y la atenuación.

- » *Paso 5.* En él, se deben configurar las tablas de tráfico para el servicio de VoIP. El operador de telecomunicaciones debe tener en cuenta qué ancho de banda va asignar para la VoIP—de acuerdo con la cantidad de líneas que el usuario contrató—. Paralelamente, se fija la categoría de servicio (como CBR [*Constant Bit Rate*] y rt-VBR [*Real-Time Variable Bit Rate*]) de acuerdo con la necesidad del cliente. De igual manera, se configuran los descriptores de tráfico, con una categoría de servicio específica y un tipo de prioridad de 0 a 7.
- » *Paso 6.* Una vez se completa la configuración de las tablas de tráfico del paso 5, se asigna a cada circuito virtual la tabla de tráfico (*traffic table*) o consecutivo (index) que fijo el DSLAM del operador de telecomunicaciones. Cabe señalar que en una misma interfaz xDSL se pueden determinar diferentes tablas de tráfico por servicio, con la posibilidad de manejar prioridades en las colas.

## Conclusiones

Los servicios de voz tradicionales (telefonía pública básica conmutada [*POTS*]), que usan redes de conmutación de circuitos, son plataformas que garantizan una alta calidad de servicio (QoS) en comparación con las redes NGN o IP. Sin embargo, los avances tecnológicos permitieron la prestación del servicio de voz sobre redes IP, lo cual se ajusta a la necesidad de convergencia de servicios. Por lo tanto, es importante que estas nuevas plataformas permanezcan dentro del marco de los indicadores de QoS de la POTS que normaliza la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC). Los operadores de telecomunicaciones que han migrado sus redes de voz a redes de próxima generación (NGN) no deben aplicar arquitecturas basadas en mejor esfuerzo (*Best Effort*), sino ajustarse a los parámetros de QoS que brindan las NGN, de tal manera que se continúe cumpliendo con los parámetros regulatorios establecidos por la CRC, entre otras, con la Resolución CRC 2353 de 2010.

Evidentemente, en la red NGN se presenta congestión en la última milla, basada en acceso xDSL, dado que, al integrar tecnologías IP con ATM, se requieren tratamientos para manejar cualquier tipo de flujo con prioridad de tráfico al servicio de VoIP. Para aplicar mecanismos de QoS se requiere priorizar paquetes con los requerimientos de retardo y jitter que establecen las recomendaciones y los reportes técnicos de la ITU para una red IP.

El procedimiento propuesto permite que, cualquier operador de telecomunicaciones con NGN que opere con redes xDSL, pueda brindar un acuerdo de nivel de servicio explícito (*Service Level Agreement* [*SLA*]) a todos sus usuarios.

Se presenta una procedimiento, con base en investigación, implementación y

pruebas, que garantiza ventajas en cuanto a la provisión de servicios de VoIP sobre redes xDSL enfocados en usuarios residenciales y comerciales. Además, permite extender la integración de múltiples servicios hacia el usuario final y aportar mayor valor a las empresas operadoras de telecomunicaciones, con reducción en el número de quejas al soporte técnico y mejores datos estadísticos de percepción de la calidad de experiencia de los usuarios, a partir de una mayor (alta) confiabilidad del servicio.<sup>SMT</sup>

## Referencias bibliográficas

- Alcatel (2005). Managing Cell Switching Modules (CSMs). Recuperado de <ftp://ftp.uni-duisburg.de/Hardware/Alcatel/OmniSwitch/UserManual-3.2/CH13.pdf>
- ATM Forum (1999). *Traffic Management Specification* v.4.1. [AF-TM-0121.000]. Recuperado de <http://www.broadband-forum.org/ftp/pub/approved-specs/af-tm-0121.000.pdf>
- Broadband Forum (2001). ATM transport over ADSL recommendation (update to TR-017) [DSL Forum TR-042]. Recuperado de <http://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-042.pdf>
- Broadband Forum (s.f). *DSL technology evolution* [ppt]. Recuperado de [http://www.broadband-forum.org/downloads/About\\_DSL.pdf](http://www.broadband-forum.org/downloads/About_DSL.pdf)
- Cisco (2005). Cisco 7200 series design library: ATM traffic management. San José, CA: Cisco. Disponible en [http://www.cisco.com/en/US/docs/routers/7200/design/ATM-traffic\\_management\\_guide/atmtrafc.pdf](http://www.cisco.com/en/US/docs/routers/7200/design/ATM-traffic_management_guide/atmtrafc.pdf)
- Cohen, A., & Shrum, E. (2006, abril). *Migration to Ethernet Based DSL Aggregation* [DSL Forum TR-101]. Recuperado de <http://datatracker.ietf.org/documents/LIAISON/file468.pdf>
- Comisión de regulación de las Telecomunicaciones (2010, febrero 9). Resolución CRC 2353 de 2010. Diario Oficial No. 47.618. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional
- Cuéllar, J. (2009). Algoritmos de planificación en redes de paquetes. *Sistemas y Telemática*, 7(14), 91-107
- Dainotti, A., Botta, A., Pescapè, A. (2012). A tool for the generation of realistic network workload for emerging networking scenarios, *Computer Networks (Elsevier)*, 56(15), 3531-3547
- Huawei Technology (2005). MA5600 ACL & QoS technology, Shenzhen, China: Huawei
- IEEE (2011). *IEEE 802.1Q - Virtual lans* [en línea]. Recuperado de <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1Q.html>
- Telefónica (2008). *ADSL. Instalación, configuración y mantenimiento*. Málaga, España: Telefónica.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones - sector de Normalización [UIT-T]. (1996). *Recomendación UIT-T I.363.1*. Ginebra, Suiza: UIT
- Unión Internacional de Telecomunicaciones

- sector de Normalización [UIT-T].  
(2000). *Recomendación UIT-T I.363.2*.  
Ginebra, Suiza: UIT

Unión Internacional de Telecomunicaciones

- sector de Normalización [UIT-T].  
(2001). *Recomendación G.1000*. Ginebra,  
Suiza: UIT

Unión Internacional de Telecomunicaciones

- sector de Normalización [UIT-T].  
(2005). *Recomendación UIT-T Y.2001*.  
Ginebra, Suiza: UIT

Unión Internacional de Telecomunicaciones

- sector de Normalización [UIT-T].  
(2011). *Recomendación ITU-T Y.1541*.  
Ginebra, Suiza: UIT

## ***Currículum vitae***

### **Juan Carlos Cuéllar Quiñonez**

Ingeniero Electricista egresado de la Universidad del Valle, Especialista en Redes y Servicios Telemáticos de la Universidad del Cauca, Especialista en Redes y Comunicaciones de la Universidad Icesi. Maestría en Telecomunicaciones en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Actualmente se encuentra desarrollando sus estudios de doctorado en telemática en la Universidad del Cauca. Profesor de tiempo completo en la Universidad Icesi y coordinador del Departamento de Ciencias Físicas y Tecnológicas y las actividades en el Laboratorio de Redes y Comunicaciones. Sus áreas de interés QoS y QoE en Redes de Próxima Generación (NGN) y configuración de dispositivos de interconectividad.

### **Juan Pablo Arango Bernal, MGIT(c).**

Ingeniero electrónico de la Universidad de San Buenaventura (Cali, Colombia), Especialista en Redes y Comunicaciones de la Universidad Icesi (Cali, Colombia), Maestría en Gestión Informática y Telecomunicaciones de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Actualmente se encuentra desarrollando sus estudios en la Maestría en Administración [MBA] de la Universidad Icesi. Trabaja en las Empresas Municipales de Cali [Emcali] como Coordinador de Soluciones Empresariales en la Unidad Estratégica de Negocio Telecomunicaciones. Su áreas de interés son el apoyo a proceso de diseño y proyectos que involucren Tecnologías de la Información y Comunicaciones en las organizaciones o compañías, conforme con los requerimientos establecidos por el cliente, y la configuración de dispositivos de interconectividad.

### **Luis Alberto Portilla Agreda, MGIT (c).**

Ingeniero sistemas de la Universidad Mariana (Pasto, Colombia), Especialista en Redes y Comunicaciones de la Universidad Icesi (Cali, Colombia), Maestría en Gestión Informática y Telecomunicaciones de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Trabaja en las Empresas Municipales de Cali [Emcali] como Profesional de Soluciones Telemedia Empresarial en la Unidad Estratégica de Negocio Telecomunicaciones. Su interés profesional se centra en implementación de proyectos de comunicaciones acorde con las necesidades empresariales.