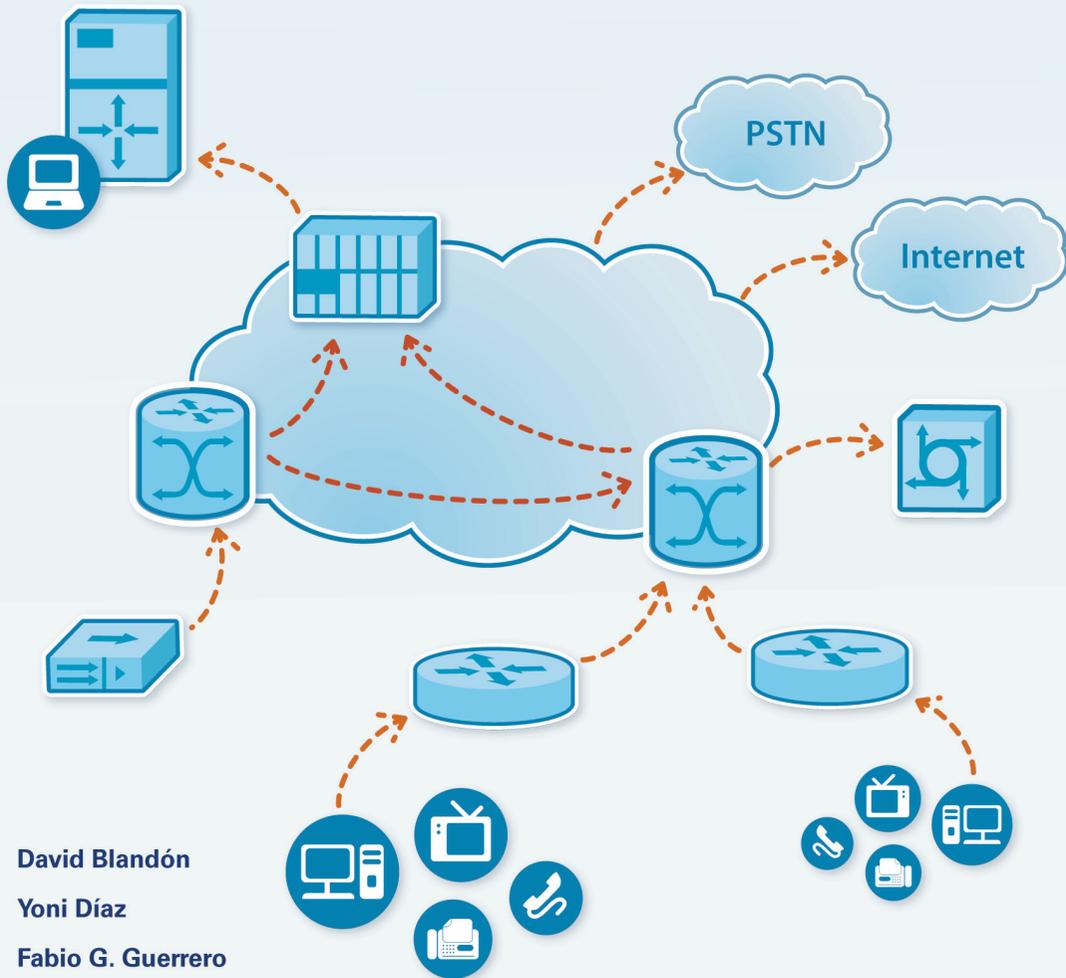


Medición de la calidad del servicio en Redes de Próxima Generación en Colombia



David Blandón

Yoni Díaz

Fabio G. Guerrero

Juan Carlos Cuellar

Andrés Navarro C.

Caterine Ochoa A.

Medición de la calidad del servicio en Redes de Próxima Generación en Colombia

David Blandón

Emcali

Yoni Díaz

Universidad del Valle

Fabio G. Guerrero

Universidad del Valle

Juan Carlos Cuellar

Universidad ICESI

Andrés Navarro C.

Universidad ICESI

Caterine Ochoa A.

CINTEL



Centro de Investigación de las Telecomunicaciones - CINTEL

Medición de la calidad del servicio en Redes de Próxima Generación en Colombia.

© *David Blandon*

© *Yoni Diaz*

© *Fabio G. Guerrero*

© *Juan Carlos Cuellar*

© *Andrés Navarro C.*

© *Caterine Ochoa A.*

ISBN 978-958-99522-1-4

Primera edición, diciembre de 2010

Centro de Investigación de las Telecomunicaciones - CINTEL

Diseño y diagramación

Iván Abadía

El contenido de esta publicación no compromete el pensamiento de la Institución, es responsabilidad absoluta de sus autores.

Este libro no podrá ser reproducido en todo o en parte, por ningún medio impreso o de reproducción sin permiso escrito del título del Copyright.

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

ABREVIATURAS USADAS EN EL TEXTO

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
AG	<i>Access Gateway</i>
AMR	<i>Adaptive MultiRate speech codec</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BRAS	<i>Broadband Remote Access Server</i>
CCRP	<i>Call/Connection Control Reference Point</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CINTEL	<i>Centro de investigación de las telecomunicaciones</i>
COPS	<i>Common Open Policy Service</i>
D-ITG	<i>Distributed Internet Traffic Generator</i>
DCME	<i>Digital Circuit Multiplication Equipment</i>
DECT	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>
DNS	<i>Domain Name System</i>
DSCP	<i>Differentiated services code-point</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DST	<i>Destination host</i>
EL	<i>Exchange link</i>
Emcali	<i>Emcali E.I.C.E., E.S.P.</i>
ER	<i>Error Ratio</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
GPL	<i>General Public License</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communication</i>
GUI	<i>Graphical user interface</i>
IAD	<i>Integrated Access Device</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IDT	<i>Inter Departure Time</i>
IGMP	<i>Internet Group Management Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPDR	<i>IP packet duplicate ratio</i>
IPDV	<i>IP Packet Delay Variation</i>
IPER	<i>IP Packet Error Ratio</i>
IPLR	<i>IP Packet Loss Ratio</i>
IPRE	<i>IP packet transfer reference events</i>
IPRR	<i>IP packet reordered ratio</i>
IPSLBR	<i>IP packet severe loss block ratio</i>
IPTD	<i>IP Packet Transfer Delay</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ITU-T	<i>ITU - Telecommunication Standardization Sector</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MP	<i>Measurement point</i>

MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i>
MSAG	<i>Multi-service access gateway</i>
NCRP	<i>Network Control Reference Point</i>
NGN	<i>Next Generation Network</i>
NS	<i>Network sections</i>
NSE	<i>Network section ensemble</i>
NSIS	<i>Next Steps In Signalling</i>
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i>
PIA	<i>Percent IP service availability</i>
PIU	<i>Percent IP service unavailability</i>
PS	<i>Packet Size</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RACF	<i>Resource and Admission Control Functions</i>
RACS	<i>Resource and Admission Control Subsystem</i>
RAE	<i>Real Academia Española</i>
RIP	<i>Routing Information Protocol</i>
RIPPR	<i>Replicated IP Packet Ratio</i>
RSVP	<i>Resource ReserVation Protocol</i>
SCRP	<i>Switch Control Reference Point</i>
SDU	<i>Service Data Unit</i>
SG	<i>Signaling Gateway</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SPDF	<i>Service Policy Decision Functions</i>
SPR	<i>Spurious Packet Ratio</i>
SRC	<i>Source Host</i>
SS	<i>ServerSocket</i>
SS7	<i>Signaling System 7</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TCP-IP	<i>Transmission Control Protocol - Internet Protocol</i>
TE	<i>Terminal Equipment</i>
TG	<i>Trunking Gateway</i>
TISPAN	<i>Technical Committee Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking</i>
ToS	<i>Type of Service</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
UAM	<i>Unidad de Acceso Multiservicio</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
UNI	<i>User-to-Network Interface</i>
VLAN	<i>Virtual LAN</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
VTC	<i>Video TeleConferencing service</i>
WAG	<i>Wireless Access Gateway</i>
WB-AMR	<i>WideBand - Adaptive MultiRate speech codec</i>
WIMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

Índice

	<i>Pag.</i>
Introducción	11
Capítulo 1. Marco de Referencia	15
1 Recomendación ITU-T Y.1540.....	17
1.1. Alcance.....	17
1.2. Modelo estratificado por capas de calidad de funcionamiento de servicio IP.....	18
1.3. Modelo de Calidad de Funcionamiento de Servicio IP Genérico.....	20
1.3.1. Componentes de Red.....	20
1.3.2. Enlaces de central y secciones de red.....	22
1.3.3. Puntos de Medición y secciones medibles.....	23
1.3.4. Eventos de referencia de transferencia de paquetes IP (IPRE, <i>IP packet transfer reference events</i>).....	24
1.4. Parámetros de calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes IP.....	26
1.4.1. Poblaciones de interés.....	26
1.4.2. Flujo de paquetes (<i>Packet Flow</i>).....	27
1.4.3. Retardo de transferencia de paquetes IP (IPTD, <i>IP packet transfer delay</i>).....	27
1.4.4. Tasa de errores en los paquetes de protocolo Internet (IPER, <i>IP packet error ratio</i>).....	30
1.4.5. Tasa de pérdida de paquetes de protocolo Internet (IPLR, <i>IP packet loss ratio</i>).....	30

1.4.6. Tasa de paquetes de protocolo Internet espurios	30
1.4.7. Tasa de paquetes reordenados (<i>IP packet reordered ratio</i> , IPRR)	30
1.4.8. Tasa de bloques de paquetes IP con muchas pérdidas (<i>IPSLBR, IP packet severe loss block ratio</i>)	31
1.4.9. Tasa de paquetes duplicados (<i>IPDR, IP packet duplicate ratio</i>)	31
1.4.10. Tasa de paquetes replicados (<i>RIPPR, replicated IP packet ratio</i>)	31
1.4.11. Parámetros relacionados con el flujo	31
1.5. Disponibilidad de Servicio IP	32
1.5.1. Función de disponibilidad de servicio IP	32
1.5.2. Parámetros de disponibilidad de servicio IP	35
2. Recomendación Y.1541	35
2.1. Alcance	35
2.2. Objetivos de calidad de funcionamiento de la red	37
2.2.1. Discusión general de QoS	37
2.2.2. Trayecto de referencia para la QoS de UNI a UNI	37
2.2.3. Clases de QoS de red	39
2.2.3.1. Naturaleza de los objetivos de calidad de funcionamiento de red	41
2.2.3.2. Intervalos de evaluación	42
2.2.3.3. Tamaño del paquete para la evaluación	42
2.2.3.4. Calidad de funcionamiento no especificada (sin límites)	43
2.2.3.5. Discusión de los objetivos de IPTD	43
2.2.3.6. Directriz sobre la utilización de clase	44
2.2.3.7. Clases provisionales de QoS	45
3. Especificación Técnica ETSI TS 185 001	46
3.1. Conceptos de Calidad de Servicio	46
3.2. Requerimientos de calidad de servicio en redes de próxima generación	47
3.3. Relación entre Clases de QoS	47
3.4. Requerimientos de arquitectura QoS	48
Capítulo 2. Red de Emcali y parámetros de medición de QoS	49
1. La red de próxima generación de Emcali - Telecomunicaciones	49
2. Parámetros de calidad de servicio a medir	50
2.1. Componentes del modelo	52
2.2. Relación entre clase QoS y tipos de tráfico NGN	53

Capítulo 3. Procedimiento para la medición de los parámetros de evaluación de NGN QoS	55
1. Servicios en una red de próxima generación.....	57
2. Herramientas disponibles para prueba en redes IP.....	57
3. Procedimientos de medida de calidad de servicio en redes de próxima generación.....	61
3.1. Técnicas de medida.....	61
3.2. Metodología para la medición de calidad de servicio.....	61
3.3. Metodología – Uso del D-ITG.....	64
4. Aplicación práctica de la metodología.....	67
4.1. Medición de parámetros de QoS en la NGN de Emcali.....	67
4.2. Análisis de resultados.....	71
4.3. Valoración de la calidad de servicio de acuerdo a los parámetros medidos en la red.....	72
Capítulo 4. Toma de medidas de QoS aplicadas a tráfico: conversacional, streaming e interactivo	73
1. Red de Pruebas.....	74
2. Mediciones de calidad de servicio.....	76
2.1. Tráfico Streaming.....	77
2.1.1. Difusión de Video.....	77
2.1.2. Difusión de radio.....	79
2.2. Tráfico conversacional.....	82
2.3. Tráfico interactivo.....	86
Conclusiones	91
Referencias bibliográficas	95

LISTA DE FIGURAS

#	<i>Título</i>	<i>Pag.</i>
1	Alcance de la Recomendación ITU-T Y.1540.....	18
2	Modelo estratificado por capas de calidad de funcionamiento de servicio IP.....	19
3	Componentes de red IP.....	21
4	Conectividad de una red IP.....	23
5	Eventos de referencia de transferencia de paquetes IP.....	25
6	Eventos de retardo de transferencia de paquetes IP. Transferencia ‘extremo a extremo’ de un paquete IP.....	28
7	Variación del retardo de paquetes IP entre dos puntos.....	29
8	Ilustración del orden de arribo.....	31
9	Trayecto de referencia “UNI a UNI” para los objetivos QoS de la red.....	38
10	Conceptos Genéricos de QoS.....	46
11	Esquema General de la NGN de EMCALI.....	50
12	Abstracción de los parámetros a medir en una NGN, para determinar QoS.....	51
13	Tipos de medición de QoS.....	53
14	Arquitectura general de una red de telecomunicaciones.....	62
15	Encapsulamiento de protocolos en TCP/IP.....	63
16	Funcionamiento a nivel de protocolos del D-ITG.....	64
17	Captura de protocolos y estadísticas de transmisión de las aplicaciones a las que se medirá la QoS.....	65
18	Forma de operación del D-ITG.....	66
19	Operación del D-ITG ante la presencia de conmutación a nivel 2.....	67
20	Captura del tráfico de audio streaming tomada con el Ethereal.....	68
21	Arquitectura de pruebas en la NGN de Emcali Telecomunicaciones E.S.P.....	71
22	Red utilizada para realizar las mediciones de prueba.....	75
23	Estadísticas de carga IP de uno de los equipos del Core de la red en el momento de realización de las pruebas.....	76
24	Protocolos que intervienen en una comunicación extremo a extremo en la NGN de Emcali.....	76
25	Medidas de QoS para IPTV.....	78
26	Medidas de QoS para difusión de audio.....	81
27	Medidas de QoS para llamadas telefónicas IP.....	84
28	Medidas de QoS para sesiones de juego en línea.....	88

LISTA DE TABLAS

#	Título	Pag.
1	Función de disponibilidad de servicio IP.....	33
2	Definiciones de clases de QoS de las redes IP y objetivos de calidad de funcionamiento de la red.....	40
3	Directriz para las clases QoS IP.....	44
4	Clases provisionales de QoS. Definición y objetivos de calidad de funcionamiento.....	45
5	Relación entre clases.....	47
6	Clasificación de servicios en una red NGN.....	56
7	Clasificación de servicios para evaluar la QoS en una NGN.....	57
8	Herramientas de medida de QoS.....	58-60
9	Parámetros relevantes para la medida de QoS aplicada al servicio de audio streaming de Emcali.....	71
10	Parámetros medidos y valores de referencia (<i>Audiostreaming</i>).....	72
11	Medidas de QoS para IPTV.....	77
12	Medidas de QoS para difusión de audio.....	80
13	Medidas de QoS para llamadas telefónicas IP.....	83
14	Medidas de QoS para sesiones de juego en línea.....	87
C1	Parámetros de calidad de funcionamiento, objetivos de calidad y valor referencial, según la Clase de QoS.....	92
C2	Relación entre Clases y Tipo de Tráfico.....	92
C3	Clasificación de servicios para evaluar la QoS en una NGN.....	93

Introducción

En Colombia se ha iniciado la migración de la infraestructura de las redes de los operadores de telecomunicaciones, para ofrecer los servicios de voz y datos bajo una infraestructura unificada sobre el protocolo de Internet (Internet *Protocol*, IP).

En el contexto clásico de la red telefónica pública conmutada (*Public Switched Telephone Network*, PSTN), medir la calidad del servicio se reduce a trabajar con los codecs (codificador-decodificador) adecuados, porque el principio de conmutación de circuitos permite garantizar el desempeño adecuado de las conexiones. En cambio, en las redes de próxima generación o redes multi-servicios (*Next Generation Network*, NGN), es necesario actualizar y ampliar los conceptos de medición de calidad del servicio, para incorporar aspectos propios a ellas, que por definición operan bajo el principio de transmisión de paquetes, donde el desempeño no está garantizado de antemano.

La medición de la calidad del servicio (*Quality of Service*, QoS) es un tema de importancia para todas las partes relacionadas con un servicio: los usuarios, el ente regulador (en el caso colombiano, la Comisión de Regulación de las Telecomunicaciones), y los operadores de telecomunicaciones.

Para los usuarios es importante saber que el nivel de servicio que reciben corresponde al monto que pagan por tenerlo. Para el regulador, es impor-

tante definir de forma precisa los criterios de QoS que los operadores que usen NGN deben cumplir, y evitar eventuales abusos en la provisión de banda ancha, cuando decidan hacer deliberadamente más lenta la transmisión de ciertos tipos de tráfico (ej. archivos grandes de vídeo que usen protocolos peer-to-peer), bajo el argumento de que dicho tipo de tráfico está congestionando sus redes.

Para los operadores es importante conocer la calidad del servicio que están entregando a sus clientes, tanto para estar en capacidad de aplicar correctivos cuando no se esté cumpliendo con los objetivos establecidos por el regulador, como para hacer de su nivel de servicio un elemento distintivo o factor de competencia.

Los proveedores de servicios deberían además estar obligados a divulgar la QoS, velocidad de datos y precios, de forma transparente. En un escenario así, conocer con exactitud los parámetros definidos por el regulador, va a garantizar un marco de referencia uniforme para todos.

En este contexto surge el proyecto “Medición de la calidad del servicio en Redes de Próxima Generación en Colombia”. El proyecto se ubica en el “estrato de servicios”, por lo tanto, no es de su interés el estudio de las provisiones de QoS de las tecnologías específicas usadas por los operadores en el “estrato de transporte”. Está orientado a la evaluación de los parámetros de QoS para el usuario final. Presume que los operadores son responsables de hacer las provisiones necesarias en sus redes, para cumplir con los objetivos de QoS del estrato de servicio.

Este es un proyecto de investigación de índole académica desarrollado en el marco de las actividades del Grupo de Expertos Nacionales en redes de próxima generación, realizado con la participación de Emcali, E.I.C.E., E.S.P., (Emcali), La Universidad Icesi y La Universidad del Valle, con el apoyo económico del Centro de Investigación de las Telecomunicaciones (Cintel), implementado en 2008. Su objetivo fundamental es aprender a realizar mediciones confiables de QoS en NGN, bajo los parámetros que han establecido los procesos de normalización a nivel mundial, para su aplicación futura en proyectos de mayor envergadura.

Aunque el proyecto se realiza con la participación de Emcali y usa su infraestructura, no se trata, de ninguna manera, de una evaluación de su red, pues como se indica en el Capítulo IV, Sección 1, en las mediciones propias

de este proyecto se realizaron en un Red de Pruebas, configurada con límites claros, al interior de la NGN de Emcali.

Este documento presenta los resultados del proyecto. Está dividido en cuatro capítulos: Marco de referencia; Red de Emcali y parámetros de medición de QoS; Procedimiento para la medición de los parámetros de evaluación de NGN QoS; y Toma de medidas de QoS aplicadas a tráfico: conversacional, streaming e interactivo; y una sección de conclusiones.(1)

Capítulo 1.

Marco de referencia

Una función esencial del “Sector de Normalización de las Telecomunicaciones, de la Unión Internacional de la Telecomunicaciones (*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*, ITU-T), es la elaboración de paquetes de “recomendaciones”, que son compendios de normas que definen el funcionamiento de las redes de telecomunicaciones a nivel mundial. Estas normas, aunque no tienen carácter vinculante, por su alta calidad, representan un estándar internacional de amplia aceptación.

ITU-T agrupa sus recomendaciones en 23 categorías. La categoría Y “Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación”, incluye, entre otras, las recomendaciones: Y.1540 “*Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet - Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes de protocolo Internet*” y Y.1541 “*Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet*”.

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (*European Telecommunications Standards Institute*, ETSI), tiene una labor similar. Es reconocida por la Unión Europea como una organización de generación de estándares para esa región. Su labor, consiste en producir normas, también llamadas Especificaciones Técnicas (TS), para tecnologías de comunica-

ción e información. Como ocurre en el caso de ITU-T, estas normas, por su nivel de calidad, trascienden su ámbito original e inciden a nivel mundial.

En su estructura, el *Technical Committee Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN)* se encarga de establecer, entre otros, TS relacionadas con redes de próxima generación. La especificación técnica ETSI TS 185 001, *Next Generation Network (NGN) - Quality of Service (QoS) Framework and Requirements*, es de su autoría.

Estos tres documentos conforman el marco de referencia de este proyecto. El texto que se presenta en este capítulo, extracta fragmentos que el grupo de investigadores considera de mayor relevancia para este proyecto.

El documento base usado para la revisión de las Recomendaciones Y.1540, y Y.1541, es su última versión en español (12/2002 y 02/2006, respectivamente). El extracto, en su caso, se realizó de manera textual, para evitar influir, con la edición o la traducción, en su interpretación. En este proceso cabe una salvedad: se incorporaron apartes traducidos de la Recomendación Y.1540 (11/2007), que corresponde a una actualización aún no traducida al idioma español.

En el caso de la Especificación ETSI TS 185 001, por no existir una versión oficial en español, el extracto se preparó tomando como documento base a su última versión oficial en inglés, V1.1.1 (2005/11). En esta caso, tanto la selección de apartes, como su traducción y edición, es responsabilidad del grupo a cargo del proyecto.

Para efectos prácticos, en todos los casos:

- Se suprimió la numeración original de los documentos, porque su cruce con la numeración de este documento podía inducir a errores en la lectura. Esto aplica inclusive para los cuadros y figuras. Sin embargo, en estos últimos, en todos los casos, al citar la fuente, se indica el número que le corresponde en el respectivo documento original.

- Se respetó la traducción, en su ortografía y composición, aún en los casos en los que el texto utiliza expresiones no aceptadas por la Real Academia Española (RAE). Sin embargo, cuando estas expresiones no corresponden a palabras de uso común en el sector, se ha incluido una nota del editor con la palabra en idioma español o inglés más usada.

1. Recomendación ITU-TY.1540

1.1. Alcance

«Esta Recomendación define parámetros que se pueden utilizar para especificar y evaluar la calidad de funcionamiento en cuanto a velocidad, exactitud, seguridad de funcionamiento y disponibilidad de la transferencia de paquetes IP del servicio de comunicación de datos con protocolo Internet (IP, Internet *Protocol*). Los parámetros definidos se aplican al servicio IP de extremo a extremo, punto a punto, y a tramos de la red que proporcionan, o contribuyen, a la prestación de ese servicio de conformidad con las referencias normativas especificadas en la cláusula 2. El transporte sin conexión es un aspecto diferenciador del servicio IP que se considera en esta Recomendación.

A los efectos de esta Recomendación, servicio IP de extremo a extremo se refiere a la transferencia de datagramas IP generados por el usuario (a los que en esta Recomendación se denomina paquetes IP) entre dos computadores principales de extremo especificados por sus direcciones IP completas.[...]

La utilización prevista de los parámetros de calidad de funcionamiento Y.1540 es la planificación y la oferta del servicio IP internacional. Entre los usuarios a los que va dirigida la presente Recomendación figuran los proveedores de servicios IP, los fabricantes de equipos y los usuarios de extremo. Esta Recomendación puede ser utilizada por los proveedores de servicios para planificar, desarrollar y estimar un servicio IP que satisfaga las necesidades de los usuarios en materia de calidad de funcionamiento; por los fabricantes de equipos como fuente de información respecto a esa calidad de funcionamiento que influirá en el diseño de los equipos; y por los usuarios de extremo para evaluar la calidad del servicio IP.

En la figura 1 se muestra de manera resumida el alcance de esta Recomendación. Los parámetros de calidad de funcionamiento del servicio IP se definen sobre la base de eventos de referencia de transferencia de paquetes IP que se pueden observar en puntos de medición (MP, *measurement points*) asociados con fronteras funcionales y jurisdiccionales. A efectos de comparabilidad y exhaustividad, la calidad del servicio IP se considera en el contexto de la matriz de calidad de funcionamiento de 3×3 definida en la Rec. UIT-T I.350. En dicha matriz se identifican tres funciones de comuni-

cación independientes del protocolo: acceso, transferencia de información de usuario y desvinculación. Cada función se considera con respecto a tres aspectos del funcionamiento en general (o “criterios de calidad de funcionamiento”): velocidad, exactitud y seguridad de funcionamiento. Un modelo de dos etapas asociado proporciona la base para la descripción de la disponibilidad del servicio IP.

[...] En esta Recomendación, la función de transferencia de información de usuario ilustrada en la figura 1 se refiere al intento de transferir cualquier paquete IP, con independencia de su tipo o contenido».(2: 1)

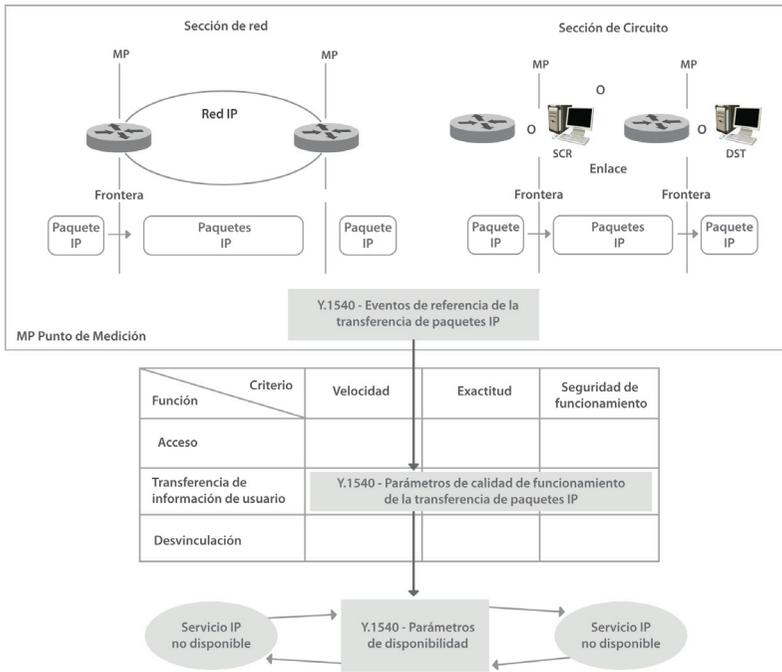


Figura 1. Alcance de la Recomendación ITU-T Y.1540(2: 2)

1.2. Modelo estratificado por capas de calidad de funcionamiento de servicio IP

«La figura 2 ilustra la naturaleza estratificada por capas de la calidad de funcionamiento de un servicio IP. La calidad de funcionamiento proporcionada a los usuarios del servicio IP depende de la calidad de funcionamiento de otras capas:

- Capas inferiores que proporcionan (vía “enlaces”) transporte con conexión o sin conexión que soporta la capa IP. Los enlaces se terminan en puntos en los que los paquetes IP son reenviados (es decir, en “encaminadores (*routers*, N. del E.), “SRC” y “DST”) y por ello no tienen significado de extremo a extremo. En los enlaces pueden intervenir diferentes tipos de tecnología, por ejemplo, ATM, retransmisión de tramas, SDH, PDH, RDSI y líneas arrendadas. Puede haber varias capas de protocolos y servicios por debajo de la capa IP, y éstos, en último extremo, utilizan diversos tipos de medios físicos.

- La capa IP que proporciona transporte sin conexión de datagramas IP (es decir, paquetes IP). La capa IP tiene significado de extremo a extremo para un determinado par de direcciones IP de origen y destino. Ciertos elementos de los encabezamientos de los paquetes IP pueden ser modificados por las redes, pero los datos de usuario IP no pueden ser modificados en la capa IP ni por debajo de ella.

- Capas superiores, soportadas por el IP, que posibilitan más aún las comunicaciones de extremo a extremo. Las capas superiores pueden incluir, por ejemplo, TCP, UDP, FTP, RTP y HTTP. Las capas superiores podrán modificar y mejorar la calidad de funcionamiento de extremo a extremo proporcionada en la capa IP». (2: 5)

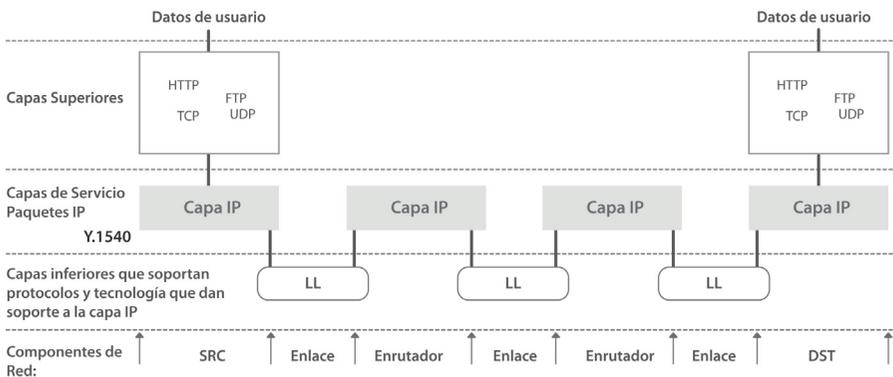


Figura 2. Modelo estratificado por capas de calidad de funcionamiento de servicio IP(2: 6)

1.3. Modelo de Calidad de Funcionamiento de Servicio IP Genérico

«En esta cláusula se define un modelo de calidad de funcionamiento de servicio IP genérico. El modelo se compone sobre todo de dos tipos de secciones: enlaces de central y secciones de red. Dichas secciones, que se definen en 5.2, proporcionan los bloques de construcción con los que se puede representar cualquier servicio IP de extremo a extremo. Todos los parámetros de calidad de funcionamiento definidos en esta Recomendación se pueden aplicar a la transferencia unidireccional de paquetes IP por una sección o un conjunto concatenado de secciones.

La cláusula 5.4 especifica el conjunto de eventos de referencia de transferencia de paquetes IP en el que se basa la definición de los parámetros de calidad de funcionamiento. Los eventos de referencia se derivan de, y son coherentes con, definiciones pertinentes de servicios IP y protocolos. En la cláusula 5.5 se utilizan esos eventos de referencia para enumerar los resultados posibles cuando se entrega un paquete en una sección». (2: 6)

1.3.1. Componentes de Red

«**Computador principal (Host N. del E.):** Computador que se comunica utilizando los protocolos Internet. Un computador principal aplica funciones de encaminamiento (es decir, funciona en la capa IP) y puede implementar funciones adicionales que incluyan protocolos de capa superior (por ejemplo, el TCP en un computador principal de origen o destino) y protocolos de capa inferior (por ejemplo, ATM).

Encaminador: Computador principal que permite la comunicación entre otros computadores principales reenviando los paquetes IP en base al contenido de su campo de dirección de destino IP.

Computador principal de origen (SRC, source host): Computador principal y dirección IP completa en donde se originan los paquetes IP de extremo a extremo. Por lo general, un computador principal puede tener más de una dirección IP, sin embargo, un computador principal de origen constituye una única asociación con una sola dirección IP. Los computadores principales de origen originan también protocolos de capa superior (por ejemplo, TCP) cuando se implementan tales protocolos.

Computador principal de destino (DST, destination host): Computador principal y dirección IP completa en donde se terminan los paquetes IP de

extremo a extremo. Por lo general, un computador principal puede tener más de una dirección IP, sin embargo, un computador principal de destino constituye una única asociación con una sola dirección IP. Los computadores principales de destino terminan también protocolos de capa superior (por ejemplo, TCP) cuando se implementan tales protocolos.

Enlace (*link*, N. del E.: Conexión punto a punto (física o virtual) utilizada para transportar paquetes IP entre un par de computadores principales. No incluye parte alguna de los computadores principales ni ningún otro computador principal; funciona por debajo de la capa IP. Un enlace podría ser, por ejemplo, una línea arrendada, o podría implementarse a modo de conexión lógica por una red Ethernet, una red de retransmisión de tramas, una red ATM o utilizando cualquier otra tecnología de red que funcione por debajo de la capa IP. La figura 3 muestra los componentes de red que interesan en el servicio IP entre un SRC y un DST. Los enlaces, que podrían ser conexiones de marcación, líneas arrendadas, anillos o redes, se indican mediante líneas entre computadores principales. Los encaminadores se muestran en forma de círculos y tanto el SRC como el DST se representan en forma de triángulos». (2: 6,7)

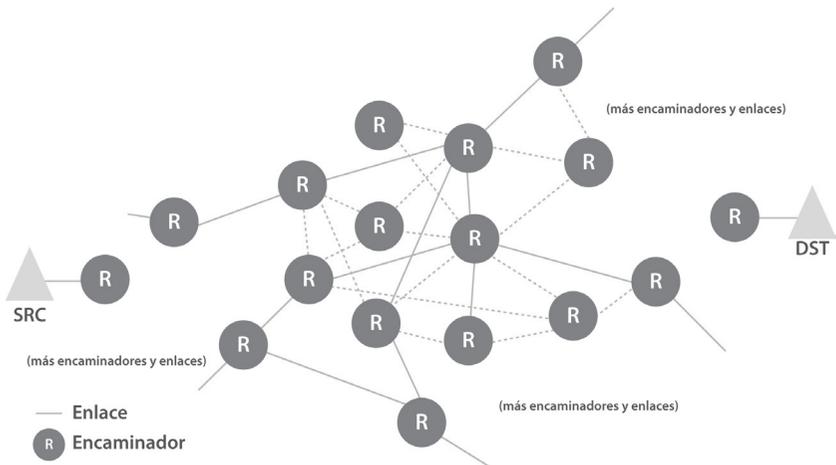


Figura 3. Componentes de red IP(2: 7)

1.3.2. Enlaces de central y secciones de red

«**Enlaces de central (EL, *exchange link*)**: Enlace que conecta:

1) un computador principal de origen o destino a su computador principal adyacente (por ejemplo, un encaminador) posiblemente en otra jurisdicción a veces denominada enlace de acceso, enlace de ingreso o enlace de egreso; o 2) un encaminador de una sección de red con un encaminador de otra sección de red. Se señala que la responsabilidad respecto a un enlace de central, su capacidad y su calidad de funcionamiento son compartidas normalmente por las partes conectadas. [...]

Sección de Red (NS, *Network Section*): Conjunto de computadores principales unidos por todos sus enlaces de interconexión que juntos proporcionan una parte del servicio IP entre un SRC y un DST, y están bajo una única responsabilidad jurisdiccional (o colaborativa). Algunas secciones de red constan de un solo computador principal sin enlaces de interconexión. Las NS de origen y las NS de destino son casos particulares de secciones de red. Pares de secciones de red están conectadas por enlaces de central.

[...] Cualquier conjunto de computadores principales interconectados por enlaces podría considerarse como una sección de red. Sin embargo, a los efectos (futuros) de atribución de la calidad de funcionamiento IP, será importante centrarse en el conjunto de computadores principales y enlaces que están bajo una única responsabilidad jurisdiccional (o colaborativas) (por ejemplo, un ISP o un NSP). Dichos computadores tienen normalmente el mismo identificador de red en sus direcciones IP. Por lo general, tienen sus propias reglas de encaminamiento interno. Los procesos globales y las políticas locales dictan las opciones de encaminamiento a destinos fuera de esta sección de red (a otra NS vía enlaces de central). Las fronteras de estas secciones de red son normalmente encaminadores que aplican los protocolos de pasarela exterior IP.

Sección de red de origen: NS que incluye el SRC dentro de su responsabilidad jurisdiccional. En algunos casos, el SRC es el único computador principal dentro de la NS de origen.

Sección de red de destino: NS que incluye el DST dentro de su responsabilidad jurisdiccional. En algunos casos, el DST es el único computador principal dentro de la NS de destino.

La figura 4 ilustra la conectividad de red que interesa en el servicio IP

entre un SRC y un DST. En los bordes de cada NS, encaminadores pasarela reciben y envían paquetes a través de enlaces de central. (2: 7-8)

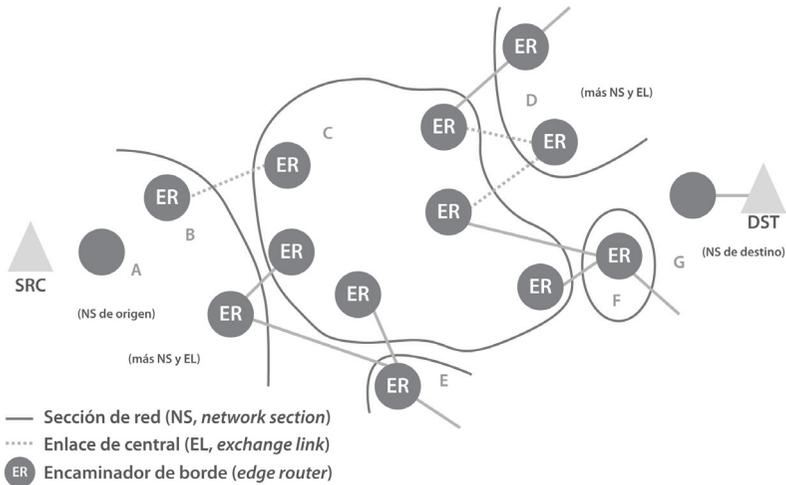


Figura 4. Conectividad de una red IP(2: 8)

1.3.3. Puntos de Medición y secciones medibles

«**Puntos de medición (MP, measurement point)**: Frontera entre un computador principal y un enlace adyacente en donde pueden observarse y medirse eventos de referencia de calidad de funcionamiento. De conformidad con la Rec. UIT-T I.353, los protocolos Internet normalizados se pueden observar en puntos de medición IP. La Rec. UIT-T I.353 contiene más información sobre los MP para servicios digitales.

[...] Una sección o una combinación de secciones es medible si está limitada por un conjunto de puntos de medición (MP). En esta Recomendación son medibles las siguientes secciones.

Sección básica: Puede ser un EL (*exchange link*, N. del E.), una NS (*network section*, N. del E.), un SRC o un DST. Las secciones básicas están delimitadas por puntos de medición (MP).

La calidad de funcionamiento de cualquier EL o NS se puede medir en relación con cualquier servicio IP de extremo a extremo unidireccional dado. Los MP de ingreso son el conjunto de MP cruzados por paquetes de

ese servicio cuando entran en la sección básica. Los MP de egreso son el conjunto de MP cruzados por paquetes de ese servicio cuando salen de la sección básica.

Red con protocolo Internet de extremo a extremo (*End-to-end IP network*, N. del E.): Conjunto de EL y NS que proporcionan el transporte de paquetes IP transmitidos de un SRC a un DST. Los MP que limitan la red IP de extremo a extremo son los MP del SRC y el DST.

La calidad de funcionamiento de una red IP de extremo a extremo se puede medir en relación con cualquier servicio IP de extremo a extremo unidireccional dado. El MP de ingreso es el MP cruzado por paquetes de ese servicio cuando entran en la red de extremo a extremo en el SRC. El MP de egreso es el MP cruzado por paquetes de ese servicio cuando salen de la red de extremo a extremo en el DST.

Conjunto de secciones de red (NSE, *network section ensemble*): Un NSE es cualquier subconjunto conectado de NS junto con todos los EL que las interconectan. El término “NSE” se puede utilizar para referirse a una sola NS, dos NS o cualquier número de NS y el EL que las conecta. Pares de NSE distintos están conectados por enlaces de central. El término “NSE” se puede utilizar también para representar toda la red IP de extremo a extremo. Los NSE están delimitados por puntos de medición (MP).

La calidad de funcionamiento de cualquier NSE dado se puede medir en relación con cualquier servicio IP de extremo a extremo unidireccional. Los MP de ingreso son el conjunto de MP cruzados por paquetes de ese servicio cuando entran en ese NSE. Los MP de egreso son el conjunto de MP cruzados por paquetes de ese servicio cuando salen de ese NSE». (2: 9)

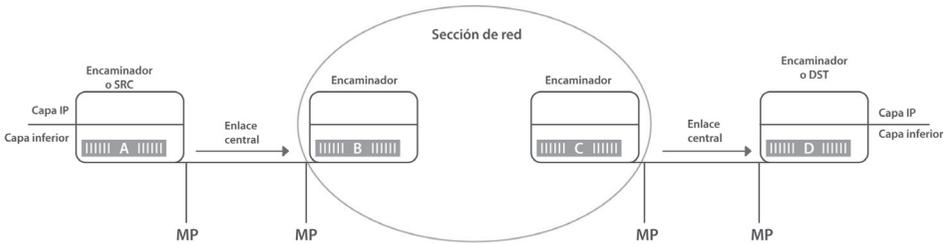
1.3.4.Eventos de referencia de transferencia de paquetes IP (IPRE, *IP packet transfer reference events*)

«En el contexto de esta Recomendación, las definiciones que siguen se aplican en un servicio IP de extremo a extremo especificado. Los términos definidos se ilustran en la figura 5.

Un evento de transferencia de paquetes IP ocurre cuando:

- un paquete IP cruza un punto de medición (MP); y
- se aplican procedimientos IP normalizados al paquete para verificar la validez de la suma de control del encabezamiento; y

- los campos de dirección de origen y destino del encabezamiento del paquete IP representan las direcciones IP del SRC y el DST previstos.



Nota 1 - Eventos de salida IP para paquetes A y C

Nota 2 - Eventos de entrada IP para paquetes B y D

Figura 5. Eventos de referencia de transferencia de paquetes IP (2: 10)

NOTA – El encabezamiento de un paquete IP contiene información como por ejemplo el tipo de servicio (ToS, *type of service*) o el punto de código de los servicios diferenciados (DSCP, *differentiated services code-point*). Queda en estudio establecer en qué medida esa información puede afectar a la calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes.

Los eventos de referencia de transferencia de paquetes IP se definen sin tener en cuenta la fragmentación de los paquetes. Dichos eventos ocurren cada vez que un paquete IP cruza cualquier MP con independencia del valor contenido en la “bandera de más fragmentos”.

Se definen cuatro tipos de evento de transferencia de paquetes IP:

Evento de entrada de paquete de protocolo Internet en un computador principal: [...] ocurre cuando un paquete IP cruza un MP entrando en un computador principal (encaminador de NS o DST) desde el EL conectado.

Evento de salida de paquete de protocolo Internet de un computador principal: [...] ocurre cuando un paquete IP cruza un MP saliendo de un computador principal (encaminador de NS o SRC) hacia el EL conectado.

Evento de ingreso de paquete de protocolo Internet en una sección básica o en un conjunto de secciones de red: [...] ocurre cuando un paquete IP cruza un MP de ingreso entrando en una sección básica o un NSE.

Evento de egreso de paquete de protocolo Internet de una sección básica o en un conjunto de secciones de red: [...] ocurre cuando un paquete IP cruza un MP de egreso saliendo de una sección básica o un NSE.

NOTA 1 – Los eventos de entrada y salida de paquetes IP se presentan siempre, respectivamente, entrada en y salida de un computador principal. Los eventos de ingreso y egreso de paquetes IP representan ingreso en y egreso de una sección o un NSE. Para ilustrar este punto, se señala que un ingreso en un EL crea un evento de salida del computador principal precedente, mientras que un ingreso en una NS es un evento de entrada porque, por definición, una NS tiene siempre computadores principales en sus extremos.

NOTA 2 – Para efectuar mediciones en la práctica, no es preciso observar los eventos de referencia de transferencia de paquetes IP en la pila de protocolos IP del computador principal. El momento en que ocurren esos eventos de referencias se puede aproximar, en cambio, observando los paquetes que cruzan una interfaz física asociada. La interfaz física deberá estar, no obstante, tan cerca como sea posible del MP deseado. Cuando los eventos de referencia se supervisan en una interfaz física, el momento en que ocurre un evento de salida de un computador principal se aproxima por la observación del primer bit del paquete IP que sale del computador principal o del equipo de prueba. El momento en que ocurre un evento de entrada en un computador principal se aproxima por la observación del último bit del paquete IP que entra en el computador principal o en el equipo de prueba». (2: 9-11)

1.4. Parámetros de calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes IP

«Esta cláusula define un conjunto de parámetros de calidad de funcionamiento de la transferencia de información de paquetes IP utilizando los resultados de la transferencia de paquetes IP [...]. Los parámetros se pueden estimar sobre la base de las observaciones efectuadas en los MP que limitan la sección básica o el NSE sometido a prueba.»[...] (2: 16)

1.4.1. Poblaciones de interés: «La mayoría de los parámetros de calidad de funcionamiento se definen en conjuntos de paquetes llamados poblaciones de interés. Para el caso extremo a extremo, la población de interés es normalmente el conjunto total de paquetes que se envía de un SRC a un DST. Los puntos de medición en el caso extremo a extremo son el MP del SRC y el DST.

Para una sección básica o un NSE en relación con un par SRC y DST determinado, la población de interés en un MP de ingreso permisible particular es el conjunto de paquetes enviados del SRC al DST que se encaminan entrando en la sección básica o el NSE a través de ese MP específico. Esto es lo que se llama el caso de ingreso específico.

La población de interés total para una sección básica o un NSE en relación con un par SRC y DST determinado es el conjunto total de paquetes del SRC al DST que se entregan entrando en la sección o el NSE a través de cualquiera de sus MP de ingreso permisibles. Esto es lo que se llama el caso independiente del ingreso.

Cada uno de estos parámetros de calidad de funcionamiento IP se define sin hacer referencia a un determinado tipo de paquetes (ToS, DSCP, protocolo, etc.). La calidad de funcionamiento diferirá según el tipo de paquetes y cualquier declaración a propósito de la calidad de funcionamiento medida deberá contener información sobre qué tipo o tipos de paquetes se incluyeron en la población». (2: 16)

1.4.2. Flujo de paquetes (*Packet Flow*): es un conjunto de paquetes asociados a un *stream* -orientado o no a una conexión dada-, que comparten: direcciones *host* de fuente (SRC) y destino (DST), clase de servicio e identificador de sesión (ej. números de puerto de un protocolo de capa superior). Un flujo de paquetes es el ejemplo más común de poblaciones de interés. (3: 16)

1.4.3. Retardo de transferencia de paquetes IP (IPTD, *IP packet transfer delay*): «[...] se define para todos los resultados paquetes satisfactorios y con errores a través de una sección básica o un NSE. El IPTD es el tiempo ($t_2 - t_1$) que transcurre entre la ocurrencia de dos eventos de referencia de paquetes IP correspondientes, evento de ingreso $IPRE_1$ en el momento t_1 y evento de egreso $IPRE_2$ en el momento t_2 , siendo

$(t_2 > t_1)$ y $(t_2 - t_1) \leq T_{\text{máx}}$. Si el paquete se fragmenta dentro del NSE, t_2 es el momento en que se produce el evento de egreso correspondiente final. El retardo de la transferencia de paquetes IP de extremo a extremo es un retardo unidireccional entre el MP del SRC y el DST, como se ilustra en la figura 6.» (2: 16).

1.4.3.1. Retardo medio de transferencia de paquetes de protocolo Internet: «[...] es la media aritmética de los retardos de la transferencia de paquetes IP de una población de interés.» (2: 17)

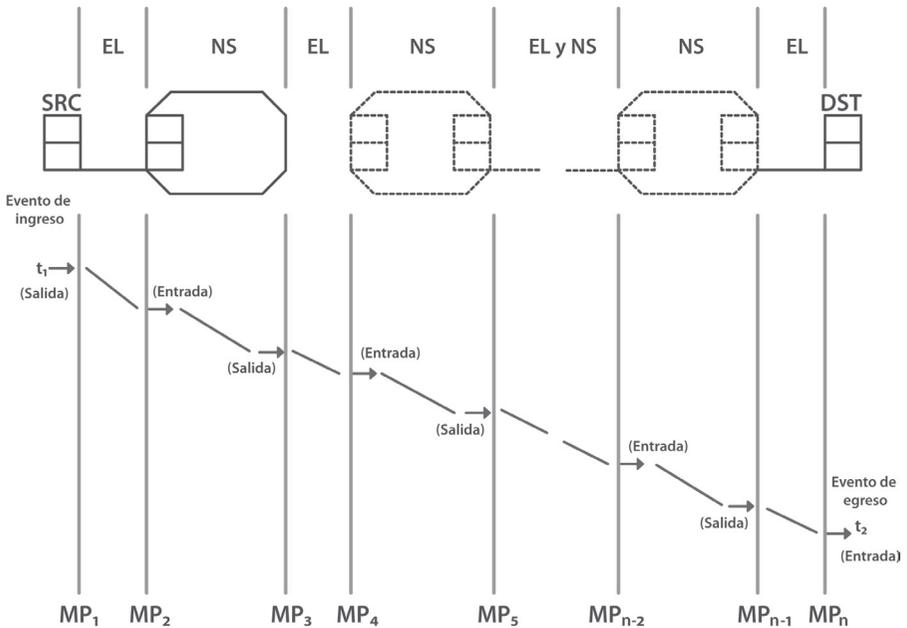


Figura 6. Eventos de retardo de transferencia de paquetes IP. Transferencia ‘extremo a extremo’ de un paquete IP(2: 17)

1.4.3.2. Retardo mínimo de transferencia de paquetes IP: el menor valor de retraso en la transmisión de paquetes IP, de todos los valores de retraso de la población de interés. Incluye el retardo en la propagación y el retardo por encolamiento, común a todos los paquetes. Sin embargo, este parámetro puede no representar el mínimo retardo teórico en los caminos entre los MP. (3: 16)

1.4.3.3. Mediana del Retardo de transferencia de paquetes IP: es el percentil 50 de la distribución de frecuencia de los retrasos en la transferencia de paquetes IP de un población de interés (3: 16)

1.4.3.4. Variación del retardo de paquetes IP entre 2 puntos de extremo a extremo: «[...] Las aplicaciones en modo serie (*streaming*, N. del E.) podrían utilizar información sobre la gama total de variación del retardo IP para evitar la infrautilización o el desbordamiento de la memoria tampón (*buffers*, N. del E.). Las variaciones del retardo IP provocarían el aumento de los umbrales del temporizador de retransmisión TCP y quizás den lugar

también a que se retarden las retransmisiones de paquetes o se retransmitan paquetes innecesariamente.

La variación del retardo de paquetes IP entre dos puntos de extremo a extremo se define en base a las observaciones de llegadas de paquetes IP correspondientes en los MP de ingreso y egreso (por ejemplo, MP_{DST} MPSRC). Dichas observaciones caracterizan la variabilidad del esquema de eventos de referencia de llegada de paquetes IP en el MP de egreso con referencia al esquema de eventos de referencia correspondientes en el MP de ingreso.

La variación del retardo de paquetes entre dos puntos (v_k) para un paquete IP k entre el SRC y el DST es la diferencia entre el retardo de transferencia de paquetes IP absoluto (x_k) del paquete y un retardo de transferencia de paquetes IP de referencia definido, $d_{1,2}$, entre esos mismos MP [...]:

$$v_k = x_k - d_{1,2}.$$

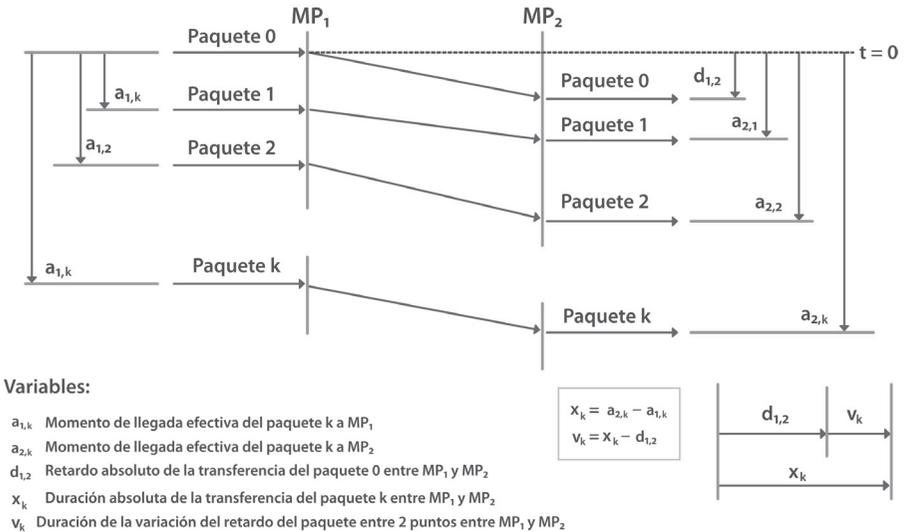


Figura 7. Variación del retardo de paquetes IP entre dos puntos.(2: 18)

El retardo de transferencia de paquetes IP de referencia, $d_{1,2}$, entre el SRC y el DST es el retardo de transferencia de paquetes IP absoluto que tiene el primer paquete IP entre esos dos MP.

Valores positivos de la IPDV entre dos puntos corresponden a retardos de transferencia de paquetes IP superiores a los que tiene el paquete IP de referencia; valores negativos de la IPDV entre dos puntos corresponden a retardos de transferencia de paquetes IP inferiores a los que tiene el paquete IP de referencia. La distribución de las IPDV entre dos puntos es idéntica a la distribución de los retardos de transferencia de paquetes IP absolutos desplazados en un valor constante igual a $d_{1,2}$.» (2: 17-18)

Uso del mínimo retardo como base para la variación de retardo:

Como se ilustra en la figura 7 la variación de retardo de un paquete individual se define como la diferencia entre la variación experimentada por el paquete y la variación de referencia o variación nominal. La referencia preferida (usada en Y.1541 en los objetivos del parámetro IPDV) es el mínimo retraso de la población de interés. Su uso asegura que todas las variaciones se reportarán con valores positivos, simplificando así reportar el rango de la variación (el máximo valor de la variación es igual al rango). (3: Sec.6.2.4.1)

1.4.4. Tasa de errores en los paquetes de protocolo Internet (IPER, IP packet error ratio): «[...] es la relación entre el total de resultados paquete IP con errores y el total de resultados transferencia de paquete IP satisfactoria más los resultados paquete IP con errores en una población de interés.»(2: 19)

1.4.5. Tasa de pérdida de paquetes de protocolo Internet (IPLR, IP packet loss ratio): «[...] es la relación entre el total de resultados paquete IP perdido y el total de paquetes IP transmitidos en una población de interés.»[...] (2: 19)

1.4.6. Tasa de paquetes de protocolo Internet espurios: «[...] en un MP de egreso es el número total de paquetes IP espurios observados en ese MP de egreso durante un intervalo de tiempo especificado dividido por la duración del intervalo de tiempo (equivalente al número de paquetes IP espurios por segundo de servicio)1.»(2: 19) ¹

1.4.7. Tasa de paquetes reordenados (IP packet reordered ratio, IPRR): es la relación entre el total de paquetes reordenados que resultan y el total de

¹ Puesto que previsiblemente los mecanismos que generan paquetes IP espurios tienen poco que ver con el número de paquetes IP transmitidos a través de las secciones sometidas a prueba, este parámetro de calidad de funcionamiento no se expresa como una relación, sólo como una tasa

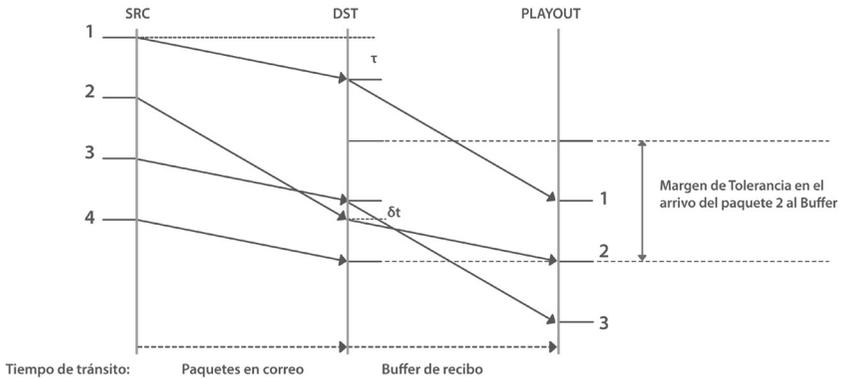


Figura 8. Ilustración del orden de arribo(2: 31)

paquetes que son transferidos exitosamente, en una población de interés. La figura 8 ilustra un paquete fuera-de-orden que resulta del paquete 2 y una tolerancia hipotética en su tiempo de arribo, con un *buffer* de emisión que puede restablecer el orden. (3: 19)

1.4.8. «Tasa de bloques de paquetes IP con muchas pérdidas (IPSLBR, IP packet severe loss block ratio): [...] es la relación entre los resultados bloques de paquetes IP con muchos errores y el número total de bloques en una población de interés.

NOTA – Mediante este parámetro se pueden determinar múltiples cambios de trayectos IP debidos a actualizaciones de encaminamiento, también conocidas como variación de ruta, que causa una degradación importante en la mayoría de las aplicaciones de usuario». [...] (2: 20)

1.4.9. Tasa de paquetes duplicados (IPDR, IP packet duplicate ratio): es la relación entre el total de paquetes duplicados resultantes y el total de paquetes transmitidos exitosamente, menos los paquetes duplicados resultantes, en una población de interés. (3: 19)

1.4.10. Tasa de paquetes replicados (RIPPR, replicated IP packet ratio): es la relación entre el total de paquetes replicados resultantes y el total de paquetes transmitidos exitosamente, menos los paquetes replicados resultantes, en una población de interés. (3: 19)

1.4.11. Parámetros relacionados con el flujo: «[...] conviene caracterizar la calidad de funcionamiento entregada por las secciones en términos de parámetros relacionados con el flujo o el caudal (*throughput*, N. del E.) que

evalúan la capacidad de las redes o secciones IP de llevar cantidades de paquetes IP. Hay que tener en cuenta que un parámetro que caracterice el caudal de una aplicación IP no necesariamente será una estimación precisa de la cantidad de recursos disponibles para esa aplicación; esto es así porque los protocolos de capa superior a la IP (por ejemplo, el TCP) también influyen en el caudal habido.

En la presente versión de esta Recomendación, se recomienda que los parámetros relacionados con el flujo o el caudal cumplan los siguientes requisitos:

1) Un parámetro que caracterice el caudal ofrecido a un servicio IP deberá poner en relación la cantidad de paquetes IP transportados de manera satisfactoria por una red o sección IP con la cantidad de parámetros IP que fueron entregados en esa red o sección.

2) Los parámetros relacionados con el caudal deberán aplicarse a una red IP de extremo a extremo y al transporte IP a través de un EL, una NS o un NSE.

Algunos parámetros relacionados con el flujo o el caudal tratan de caracterizar la capacidad de caudal de una red IP, es decir, las posibilidades que tiene la red de mantener una determinada tasa de transferencia de paquetes IP. Se recomienda que cualquiera de esos parámetros cumpla los siguientes requisitos adicionales:

1) Deberá describir el esquema del tráfico ofrecido a la red o sección IP, ya que la capacidad de la red o sección IP de entregar de manera satisfactoria esos paquetes depende de dicho esquema de tráfico.

2) La tasa a la que se ofrece el tráfico no deberá ser superior a la capacidad (en bits por segundo) del enlace que conecta las secciones sometidas a prueba con las secciones de destino no sometidas a prueba.

3) En cualquier declaración individual sobre la calidad de funcionamiento del caudal deberá indicarse el tipo de paquetes IP de que se trata. [...] (2: 20)

1.5. Disponibilidad de Servicio IP

1.5.1. Función de disponibilidad de servicio IP

«La función de disponibilidad de un servicio IP se basa en un umbral de la característica IPLR.

El servicio IP está disponible de extremo a extremo si la IPLR de ese caso de extremo a extremo es inferior al umbral c_1 definido en la tabla 1.

Criterio de interrupción	Umbral
$IPLR > c_1$	$c_1 = 0,75$
<p>NOTA – El valor de 0,75 de c_1 se considera provisional y queda en estudio. También se han propuesto los valores de 0,9 y 0,99 para c_1. Ahora bien, actualmente la mayoría de las causas de indisponibilidad parecen provenir de fallos en los que la tasa de pérdidas es fundamentalmente del 100%, y los periodos de indisponibilidad que acompañan a esos fallos duran más de cinco minutos. Cuando las redes IP soportan múltiples calidades de servicio, quizá convenga considerar valores diferentes de c_1 para los diferentes servicios. En ese caso, se han sugerido valores de c_1 entre 0,03 y 0,2 (obtenidos a partir de la resiliencia de los codificadores vocales diferentes) para los servicios que ofrecen clase 0 o clase 1 Rec. UIT-T Y.1541 y un c_1 de 0,75 para la clase 5.</p> <p>El umbral c_1 sólo se ha de utilizar para determinar cuando los recursos de la red IP son (temporalmente) incapaces de soportar un servicio útil de transferencia de paquetes IP. El valor de c_1 no deberá considerarse como una indicación de la característica IPLR ni como un objetivo adecuado de IPLR para cualquier aplicación IP. Los objetivos de calidad de funcionamiento establecidos a propósito de la IPLR deberán excluir todos los periodos de indisponibilidad del servicio, es decir, todos los intervalos de tiempo en los que la $IPLR > c_1$.</p>	

Tabla 1. Función de disponibilidad de servicio IP (2: 21)

Respecto a un par de SRC y DST determinado, una sección básica o un NSE están disponibles para el caso independiente del ingreso, si la IPLR de ese par es inferior al umbral c_1 , medido en todos los MP de ingreso permisibles.

Respecto a un par de SRC y DST determinado, una sección básica o un NSE están disponibles para el caso de ingreso específico, si la IPLR de ese par es inferior al umbral c_1 , medido a partir de un MP de ingreso permisible.

NOTA 1 – Desde la perspectiva de las operaciones, será posible medir y/o supervisar la disponibilidad a partir de un MP de ingreso específico y utilizar a continuación esa información para establecer deducciones sobre la disponibilidad con independencia del ingreso.

NOTA 2– La relación cuantitativa entre la disponibilidad de un servicio IP de extremo a extremo y la disponibilidad del servicio IP de la sección básica o el NSE sigue siendo objeto de estudio.

Si el criterio de interrupción indicado [...] se cumple (es decir, la IPLR su-

pera su umbral), el servicio IP está en el estado de indisponibilidad (sufrir una interrupción). El servicio IP está en el estado de disponibilidad (ausencia de interrupción) si no se cumple el criterio de interrupción. El número mínimo de paquetes que se deberán utilizar para evaluar la función de disponibilidad del servicio IP es M_{av} . (El valor de M_{av} queda en estudio. Cuando en las pruebas de disponibilidad se utiliza tráfico generado por el usuario extremo, se ha sugerido un valor de M_{av} igual a 1000 paquetes.) La duración mínima del intervalo de tiempo durante el cual se ha de evaluar la función de disponibilidad del servicio IP es T_{av} . (T_{av} se ha fijado provisionalmente en cinco minutos. El estudio ha demostrado que este valor es coherente con los límites prácticos impuestos al funcionamiento de la capa IP. La supervisión de la calidad de funcionamiento de capas inferiores y de los fallos en los elementos de red puede permitir determinar indisponibilidades inminentes en un menor plazo y aplicar las medidas correctivas).

NOTA 3— Se prevé que el criterio de interrupción basado en la IPLR caracterice de manera satisfactoria la disponibilidad del servicio IP. Sin embargo, la disponibilidad del servicio IP también podría tener en cuenta una calidad de funcionamiento severamente degradada por lo que se refiere a la IPER y/o la tasa de paquetes IP espurios. La inclusión de parámetros de decisión de disponibilidad adicionales y sus correspondientes umbrales queda en estudio.

NOTA 4 – Esta definición unidireccional de disponibilidad viene motivada por el hecho de que los paquetes IP atraviesan a menudo del SRC al DST rutas muy diferentes de las que atraviesan del DST al SRC. Si, desde la perspectiva de un usuario de la red IP, se necesita una definición de disponibilidad bidireccional, dicha definición se puede derivar fácilmente a partir de la presente definición unidireccional.

Se pretende que esta definición de disponibilidad de servicio IP sea aplicable tanto al tráfico IP generado por el usuario de extremo (es decir, el flujo normal de paquetes IP entre el SRC y el DST) como al tráfico generado por aparatos y sistemas de prueba. En cualquier caso, el origen del tráfico IP deberá estar documentado cuando se notifiquen los resultados relativos a la disponibilidad. Dicha documentación deberá incluir los tipos específicos de paquetes utilizados en cada sentido del flujo.

El tráfico generado de manera específica para probar el estado de disponibilidad deberá limitarse de tal modo que no provoque una congestión. La

congestión podría afectar a otro tráfico y/o podría aumentar de manera significativa la probabilidad de que se superara el criterio de interrupción. [...]» (2: 21-22)

1.5.2. Parámetros de disponibilidad de servicio IP

«**Porcentaje de indisponibilidad de servicio de protocolo Internet (PIU, percent IP service unavailability):** Porcentaje del tiempo de servicio IP programado total (porcentaje de intervalos T_{av}) que se clasifica como periodo indisponible utilizando la función de disponibilidad de servicio IP.

Porcentaje de disponibilidad de servicio de protocolo Internet (PIA, percent IP service availability): Porcentaje del tiempo de servicio IP programado total (porcentaje de intervalos T_{av}) que se clasifica como periodo disponible utilizando la función de disponibilidad de servicio IP.

$$PIU = 100 - PIA$$

NOTA – Puesto que la IPLR aumenta normalmente al aumentar la carga ofrecida del SRC al DST, la probabilidad de que se rebase el umbral $c1$ aumenta al aumentar la carga ofrecida. Por consiguiente, los valores del PIA probablemente sean menores cuando la demanda de capacidad entre el SRC y el DST sea mayor. [...]» (2: 22)

2. Recomendación Y.1541

2.1. Alcance

«En esta Recomendación se especifican los valores de calidad de funcionamiento IP de la red (UNI-UNI) para cada uno de los parámetros de calidad de funcionamiento definidos en la Rec. UIT-T Y.1540. Los valores de calidad de funcionamiento específicos varían en función de la clase de QoS de la red. En esta Recomendación se definen ocho clases de QoS de red, de las cuales dos son provisionales. Esta Recomendación se aplica a los trayectos internacionales de redes IP (UNI-UNI). Las clases de QoS de red definidas aquí tienen por objetivo establecer las bases de los acuerdos entre los usuarios de extremo y los proveedores de servicios de red, y entre los proveedores de servicio. Las clases continuarán utilizándose cuando los acuerdos estáticos den paso a las peticiones dinámicas soportadas por los protocolos de especificación de QoS.

Las clases de QoS definidas aquí soportan una gama de aplicaciones extremadamente amplia, entre las que se encuentran las siguientes: la telefo-

nía de conversación, las conferencias multimedia, el vídeo digital y la transferencia interactiva de datos. Otras aplicaciones pueden requerir clases nuevas o revisadas, pero si se desea introducir nuevas clases, se debe tener en cuenta que la implementación sea factible y que su número sea pequeño para que las implementaciones puedan acomodarse en las redes mundiales.

Los objetivos de QoS son aplicables principalmente cuando las velocidades del enlace de acceso sean equivalentes a la T1 o E1, y superiores. Para esta limitación se considera que el tiempo de serialización de los paquetes IP está incluido en la definición de retardo de transferencia de paquetes IP (IPTD, *IP packet transfer delay*) y que las velocidades de acceso inferiores a T1 pueden producir tiempos de serialización superiores a 100 ms para paquetes con una cabida útil de 1500 octetos. Además, esta Recomendación requiere efectivamente la instalación de mecanismos de QoS de red sobre dispositivos de acceso a fin de lograr el objetivo de la variación del retardo de paquetes IP (IPDV, *IP packet delay variation*), especialmente cuando la velocidad de acceso es reducida (por ejemplo, T1). Los diseños de red pueden tener velocidades de acceso inferiores si:

- 1) Los planificadores de red comprenden la repercusión del tiempo de serialización adicional sobre la interfaz usuario-red (UNI, *user-network interface*) sobre el objetivo UNI para el IPTD.
- 2) Los mecanismos de QoS restringen la contribución del acceso a la IPDV, y se cumple el objetivo UNI a UNI para la IPDV. El objetivo actual de la IPDV es necesario para lograr una alta calidad de funcionamiento de la aplicación, como se muestra claramente en los apéndices III y VII.

En esta Recomendación se presentan las clases de QoS de red necesarias para soportar categorías QoS orientadas a los usuarios. Siendo así, esta Recomendación es coherente con el marco de trabajo general para la definición de la calidad de los servicios de comunicaciones en la Rec. UIT-T G.1000, y con las categorías QoS multimedia de usuario de extremo necesarias para soportar las aplicaciones de usuario dadas en la Rec. UIT-T G.1010.

NOTA - En esta Recomendación se utilizan parámetros definidos en la Rec. UIT-T Y.1540 que se pueden utilizar para caracterizar el servicio IP suministrado utilizando el protocolo IPv4; queda pendiente para un estudio ulterior su aplicabilidad o extensión a otros protocolos (por ejemplo Ipv6).»(4: 2)

2.2. Objetivos de calidad de funcionamiento de la red

«En esta cláusula se discuten objetivos para la calidad de funcionamiento de transferencia de información del usuario de los servicios IP públicos. Estos objetivos se establecen en términos de los parámetros de calidad de funcionamiento de capa IP definidos en la Rec. UIT-T Y.1540. En el cuadro 1 (corresponde a la Tabla 1 en la sección 2.2.3 de este documento, N. del E.) se presenta un resumen de los objetivos junto con sus notas generales asociadas. Todos los valores del cuadro 1 son estables.[...]»(4 : 7)

2.2.1. Discusión general de QoS

«Las definiciones de clases QoS dadas en el cuadro 1 presentan límites en la calidad de funcionamiento de red entre las interfaces usuario-red (UNI). Mientras que los usuarios (y las redes individuales) no excedan la especificación de capacidad acordada o el contrato de tráfico, y se disponga de un trayecto (como se define en la Rec. UIT-T Y.1540), los proveedores de servicio de red deberán soportar colaborativamente estos límites UNI a UNI durante la vida útil del flujo.

En la práctica la QoS de red ofrecida a un flujo dado dependerá de la distancia y la complejidad del trayecto cursado. A menudo será mejor que los límites incluidos en las definiciones de clase QoS en el cuadro 1.

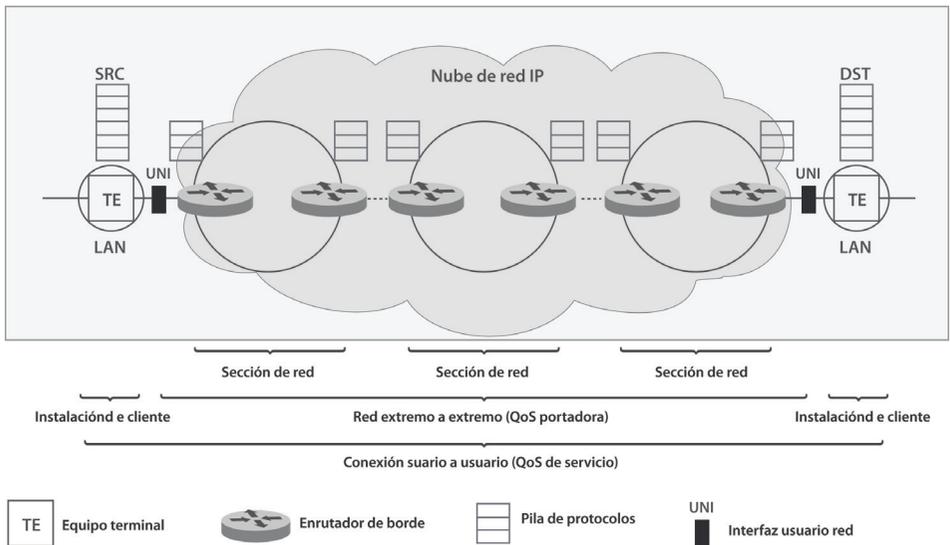
Es posible implementar los acuerdos de clase QoS estáticos asociando marcas de paquetes (por ejemplo, bits de precedencia de tipo de servicio o punto de código Diff-Serv) con una clase específica.

Se encuentran en estudio los protocolos para soportar las peticiones QoS dinámicas entre los usuarios y los proveedores de servicios de red, y entre los proveedores de servicios de red. Cuando se implementen estos protocolos y los sistemas de soporte, los usuarios o las redes podrán solicitar y recibir diferentes clases de QoS flujo por flujo. En esta modalidad, se podrán comunicar, evaluar y acusar recibo (o rechazar, o modificar) de las distintas necesidades de calidad de funcionamiento de los diferentes servicios y aplicaciones». (4: 7)

2.2.2. Trayecto de referencia para la QoS de UNI a UNI

“Cada paquete en un flujo sigue un trayecto específico. Se puede considerar que cualquier flujo (con uno o más paquetes en un trayecto) que satisfaga los objetivos de calidad de funcionamiento de esta cláusula cumple totalmente con las Recomendaciones normativas de la Rec. UIT-T Y.1541.[...]”

Se definen los objetivos de calidad de funcionamiento de UNI a UNI para los parámetros de calidad de funcionamiento IP que corresponden a los eventos de referencia de transferencia de paquetes IP (IPRE, *IP packet transfer reference events*). En la figura 9, los objetivos de calidad de funcionamiento IP UNI a UNI se aplican de la interfaz usuario-red a la interfaz usuario-red. El trayecto de red IP UNI a UNI incluye el conjunto de secciones de red (NS, *network sections*) y los enlaces interredes que proporcionan el transporte de los paquetes IP transmitidos de la UNI, en el lado SRC, a la UNI en el lado DST; los protocolos inferiores, incluida la capa IP (capa 1 a capa 3), también pueden considerarse parte de una red IP. Las secciones de red (NS) (definidas en la Rec. UIT-T Y.1540) son sinónimos de los dominios de operador, y pueden incluir arquitecturas de red de acceso IP como se describe en las Recs. UIT-T E.651 e Y.1231. El trayecto de referencia de la figura 9 es una adaptación del modelo de calidad de funcionamiento Y.1540.



Nota. El equipo de instalación del cliente (área sombreada) se muestra sólomente para propósitos ilustrativos

Figura 9. Trayecto de referencia UNI a UNI para los objetivos QoS de la red. (4: 8)

La instalación de cliente incluye todos los equipos terminales (*TE, terminal equipment*), tales como un computador principal y cualquier encaminador o LAN presentes. Algunas aplicaciones serán utilizadas solamente por una persona. Es importante observar que las especificaciones para el TE y la conexión usuario a usuario están fuera del alcance de esta Recomendación. Los encaminadores de borde que se conectan al equipo terminal se conocen también como pasarelas de acceso.

Los trayectos de referencia tienen los siguientes atributos:

- 1) Las nubes IP pueden soportar las conexiones usuario a usuario, conexiones usuario a computador principal, y otras variaciones de punto extremo.
- 2) Las secciones de red se pueden representar como nubes con encaminadores de extremo en sus bordes, y cierta cantidad de encaminadores interiores con diversas funciones.
- 3) El número de secciones de red en un trayecto determinado puede depender de la clase de servicio ofrecida, junto con la complejidad y la extensión geográfica de cada sección de red.
- 4) El alcance de esta Recomendación permite una o más secciones de red en un trayecto.
- 5) Las secciones de red que soportan los paquetes en un flujo pueden modificarse durante su vida.
- 6) La conectividad IP se extiende a través de fronteras internacionales, pero no sigue los convenios de la conmutación de circuitos (por ejemplo, es posible que no haya pasarelas identificables en una frontera internacional si se utiliza la misma sección de red en ambos lados de la frontera)». (4: 7-8)

2.2.3. Clases de QoS de red

«En esta cláusula se describen las clases de QoS de red definidas actualmente. Cada clase de QoS de red crea una combinación específica de límites en los valores de la calidad de funcionamiento. En esta cláusula se incluyen directrices sobre hasta cuándo se podría utilizar cada clase de QoS de red, pero no se obliga a utilizar ninguna en particular en ningún contexto especial.

Parámetro de calidad de funcionamiento de red.	Tipo de objetivo de calidad de funcionamiento.	Clases de QoS					
		0	1	2	3	4	5 no especificada
IPTD	Límite superior en el IPTD medio	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1s	U
IPDV	Límite superior en el cuantil $1 - 10^{-3}$ de IPTD menos el IPTD mínimo	50 ms	50 ms	U	U	U	U
IPLR	Límite superior en la probabilidad de pérdida de paquetes	1×10^{-3} (nota 4)	1×10^{-3} (nota 4)	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	U
IPER	Límite superior	1×10^{-4}					U

Nota. “U” significa no especificado o sin límites.

Notas generales:

Los objetivos se aplican a las redes IP públicas. Se considera que los objetivos son alcanzables en las implementaciones de red IP comunes. El compromiso del proveedor de servicios de red ante el usuario es tratar de entregar los paquetes de modo que se alcancen cada uno de los objetivos aplicables. La gran mayoría de los trayectos IP que ofrecen conformidad con la Rec. UIT-T Y.1541 deberían satisfacer estos objetivos. Para algunos parámetros, la calidad de funcionamiento en trayectos más cortos y/o menos complejos puede ser significativamente mejor.

Se sugiere un intervalo de evaluación de un minuto para IPTD, IPDV e IPLR, y en todos los casos se debe registrar el intervalo con el valor observado. Cualquier minuto observado debe cumplir esos objetivos.

Los proveedores de servicios de red pueden decidir ofrecer compromisos de calidad de funcionamiento mejores que los de estos objetivos.

“U” significa “no especificado” o “sin límites”. Cuando la calidad de funcionamiento relativa a un parámetro particular se identifica como “U”, el UIT-T no establece objetivo para este parámetro y se puede ignorar cualquier objetivo Y.1541 por defecto. Cuando se establece el objetivo para un parámetro como “U”, la calidad de funcionamiento con respecto a ese parámetro puede, a veces, ser arbitrariamente deficiente.

NOTA 1 - Cuando los tiempos de propagación sean muy largos no se cumplirán objetivos de bajo retardo extremo a extremo. En éstas y algunas otras circunstancias, que todo proveedor experimentará, tarde o temprano, no siempre se podrán cumplir los objetivos de IPTD en las clases 0 y 2 y, en su lugar, se podrán utilizar los objetivos para el IPTD del cuadro 1 que representan clases de QoS factibles. Los objetivos de retardo de una clase no impiden que un proveedor de servicios de red ofrezca servicios con compromisos de retardo más cortos. De acuerdo con la definición de IPTD en la Rec. UIT-T Y.1540, se incluye el tiempo de inserción del paquete en el objetivo IPTD. En esta Recomendación se sugiere un campo de información de paquetes máximo de 1500 octetos para la evaluación de estos objetivos.

NOTA 2 - La definición del objetivo de IPDV (definido en la Rec. UIT-T Y.1540) es la variación del retardo de paquetes IP entre dos puntos. Véanse la Rec. UIT-T Y.1540 y el apéndice II para obtener información detallada sobre la naturaleza de este objetivo. A efectos de planificación, el límite sobre el IPTD medio puede tomarse como límite superior del IPTD mínimo y, por consiguiente, el límite sobre el cuantil $1 - 10^{-3}$ se puede obtener sumando el IPTD medio y el valor de la IPDV (por ejemplo, 150 ms en la clase 0).

NOTA 3 - Este valor depende de la capacidad de los enlaces interredes. Son posibles variaciones más pequeñas cuando todas las capacidades son mayores que la velocidad primaria (T1 o E1), o cuando los campos de información de paquetes en competencia son menores que 1500 octetos (véase el apéndice IV).

NOTA 4 - Los objetivos de clase 0 y 1 para IPLR están basados parcialmente en estudios que muestran que las aplicaciones y los codecs voz de alta calidad no se verán afectados esencialmente por un IPLR de 10^{-3} .

NOTA 5 - Este valor asegura que la pérdida de paquetes es la fuente dominante de los defectos presentados a las capas superiores, y es factible con un transporte IP sobre ATM.

Tabla 2. Definiciones de clases de QoS de las redes IP y objetivos de calidad de funcionamiento de la red (4: 9-10)

2.2.3.1. Naturaleza de los objetivos de calidad de funcionamiento de red

Se aplican los objetivos del cuadro 1 a las redes IP públicas, entre los MP que delimitan la red IP extremo a extremo. Se considera que estos objetivos se pueden lograr en las implementaciones comunes de redes IP.

En la parte izquierda del cuadro 1 se indica la naturaleza estadística de los objetivos de calidad de funcionamiento que aparecen en las filas subsiguientes.

Los objetivos de calidad de funcionamiento para el retardo de transferencia de los paquetes IP son límites superiores para su valor IPTD medio subyacente para el flujo. Aunque muchos paquetes individuales tengan un retardo de transferencia superior a este límite, el IPTD promedio durante la vida útil del flujo (un estimador estadístico de la media) será, en general, menor que el límite aplicable del cuadro 1.

Los objetivos de calidad de funcionamiento para la variación del retardo de los paquetes IP de dos puntos (definidos en la Rec. UIT-T Y.1540) se basan en un límite superior en el cuantil $1 - 10^{-3}$ de la distribución de IPTD subyacente para el flujo. El cuantil $1 - 10^{-3}$ permite intervalos de evaluación cortos (por ejemplo, una muestra con 1000 paquetes es la mínima necesaria para evaluar este límite). Además, esto permite mayor flexibilidad en el diseño de la red cuando la ingeniería de las memorias intermedias de inserción de retardo y las longitudes de las colas de los encaminadores deban alcanzar un objetivo IPLR completo del orden de 10^{-3} . La utilización de valores cuantiles inferiores resultará en subestimaciones del tamaño de la memoria intermedia del defluctor de fase, y la pérdida efectiva de los paquetes excederá el objetivo IPLR total (por ejemplo, un cuantil superior de $1 - 10^{-2}$ puede tener una pérdida total de paquetes de 1,1%, con $\text{IPLR} = 10^{-3}$). Se encuentran en estudio otras técnicas y definiciones estadísticas para IPDV, como se describe en el apéndice II y en el apéndice IV se discute la estimación de la calidad de funcionamiento de IPDV.

Los objetivos de calidad de funcionamiento para las tasas de pérdidas de paquetes IP son límites superiores para la pérdida de paquetes IP en el flujo. Aunque se perderán paquetes individuales, la probabilidad subyacente de que se pierda cualquier paquete individual durante el flujo debería ser menor que el límite aplicable del cuadro 1.

Los objetivos para los resultados de la transferencia de los paquetes menos frecuentes y sus parámetros asociados, tales como la tasa de paquete-

tes no esenciales (SPR, *Spurious Packet Ratio*) definida en la Rec. UIT-T Y.1540, quedan en estudio.

2.2.3.2. Intervalos de evaluación

Los objetivos del cuadro 1 no pueden evaluarse instantáneamente. Los intervalos de evaluación producen subconjuntos de la población de los paquetes de interés (como se define en la Rec. UIT-T Y.1540). Idealmente, estos intervalos son:

- Suficientemente largos para incluir bastantes paquetes del flujo deseado, con respecto a las tasas y cuantiles especificados.
- Suficientemente largos para reflejar un periodo de uso típico (vida útil del flujo), o la evaluación del usuario.
- Suficientemente cortos para asegurar un balance de la calidad de funcionamiento aceptable a través de cada intervalo (se deberían identificar los intervalos de calidad de funcionamiento deficiente, sin ocultarlos dentro de un intervalo de evaluación muy largo).
- Suficientemente cortos para tratar los aspectos prácticos de la medición.

Para las evaluaciones asociadas con la telefonía, es necesario un intervalo mínimo del orden de 10 a 20 segundos con velocidades de paquetes convencionales (50 a 100 paquetes por segundo), y los intervalos deberían tener un límite superior del orden de minutos. Se sugiere un valor de un minuto y, en cualquier caso, se debe registrar el valor utilizado con el valor observado, junto con los eventuales intervalos hipotéticos y de confianza. Cualquier minuto observado debe cumplir los objetivos IPTD, IPDV e IPLR del cuadro 1. Las metodologías de estimación aceptable mínimas están orientadas a las revisiones futuras de esta Recomendación.

Quedan en estudio los métodos para verificar el logro de los objetivos. Se puede utilizar una evaluación continua o no continua. En RFC 3432 figura un posible método de medición, “*Network Performance Measurement with Periodic Streams*” (medición de la calidad de funcionamiento de la red con trenes periódicos), en el que el requisito para los momentos de inicio de la medición aleatoria y los intervalos de evaluación de una longitud finita dan como resultado una evaluación no continua.

2.2.3.3. Tamaño del paquete para la evaluación

El tamaño del paquete puede influir en los resultados de la mayoría de

los parámetros de calidad de funcionamiento. Será apropiada una gama de tamaños de paquete ya que muchos flujos tienen una variación de tamaño considerable. Sin embargo, se simplifica la evaluación con un solo tamaño de paquete cuando se trata de la IPDV, o cuando tiene por objetivo los flujos que soportan fuentes de velocidad binaria constante, y por lo tanto se recomienda un tamaño de campo de información fijo.

Se sugieren campos de información de 160 o 1500 octetos, y se debe registrar el tamaño del campo utilizado. Además, se recomienda un campo de información de 1500 octetos para la estimación de la calidad de funcionamiento de los parámetros IP cuando se utilizan pruebas de capas inferiores, tales como las mediciones de errores en los bits.

2.2.3.4. Calidad de funcionamiento no especificada (sin límites)

En algunas clases de QoS de red se designa el valor de algunos parámetros de calidad de funcionamiento como “U”. En estos casos, el UIT-T no establece objetivos con relación a estos parámetros. Los operadores de red pueden elegir unilateralmente asegurar algún nivel mínimo de calidad para los parámetros no especificados, aunque el UIT-T no recomienda ningún mínimo de este tipo.

Los usuarios de estas clases de QoS deben ser conscientes de que la calidad de funcionamiento de los parámetros no especificados puede, a veces, ser arbitrariamente deficiente. Ahora bien, se espera que el IPTD medio no sea mayor de un segundo.[...]

2.2.3.5. Discusión de los objetivos de IPTD

Cuando los tiempos de propagación sean muy largos no se podrán cumplir los objetivos de bajo retardo UNI a UNI, por ejemplo, en casos de distancias geográficas muy grandes o cuando se empleen satélites geostacionarios. En éstas y en algunas otras circunstancias, no siempre será posible lograr los objetivos de IPTD en las clases 0 y 2. Cabe observar que los objetivos de retardo de una clase no impiden a un proveedor de servicios de red ofrecer servicios con compromisos de retardo más cortos. Se debería establecer explícitamente cualquier compromiso de este tipo[...]. Cada proveedor de servicios de red encontrará estas circunstancias (ya sea en una red simple, o cuando trabaje en cooperación con otras redes para suministrar el trayecto UNI a UNI), y la gama de objetivos IPTD del cuadro 1 es una alternativa para las clases QoS de red, factible de lograr. A pesar

de los diferentes encaminamientos y las consideraciones de distancia, las clases relacionadas (por ejemplo, clase 0 y 1) se implementarían, en general, utilizando los mismos mecanismos de nodo.

De acuerdo con la definición de IPTD en la Rec. UIT-T Y.1540, se incluye el tiempo de inserción de paquete en los objetivos de IPTD. En esta Recomendación se sugiere un campo de información de paquete máximo de 1500 octetos para la evaluación de los objetivos.

2.2.3.6. Directriz sobre la utilización de clase

En el cuadro 2 (Tabla 3 de este documento, N. del E.) se presentan algunas directrices para la aplicabilidad y la ingeniería de las clases de QoS de red.

Clase de QoS	Aplicaciones (Ejemplos)	Mecanismos de Nodo	Técnicas de Red
0	Tiempo real, sensibles a la fluctuación de fase, alta interacción (VoIP, VTC)	Cola separada con servicio preferencial, preparación del tráfico	Encaminamiento y distancia limitados
1	Tiempo real, sensibles a la fluctuación de fase, alta interacción (VoIP, VTC)		Encaminamiento y distancia menos limitados
2	Datos transaccionales, altamente interactivas (señalización)	Cola separada prioridad por supresión	Encaminamiento y distancia limitados
3	Datos transaccionales, interactivas		Encaminamiento y distancia menos limitados
4	Sólo pérdida baja (transacciones cortas, datos en grandes cantidades, flujo continuo de vídeo)	Cola larga, prioridad por supresión	Cualquier ruta/ trayecto
5	Aplicaciones tradicionales de redes IP por defecto	Cola separada (prioridad inferior)	Cualquier ruta/ trayecto

NOTA – Cualquier ejemplo de aplicación enumerado en el cuadro 2 podría utilizarse asimismo en la clase 5 con objetivos de calidad de funcionamiento no especificados, en la medida en que los usuarios deseen aceptar el nivel de calidad de funcionamiento vigente durante su sesión.

Tabla 3. Directriz para las clases QoS IP (4: 12-13)

También se pueden aplicar en los nodos de red las políticas y/o la conformación del tráfico.[...]

2.2.3.7. Clases provisionales de QoS

La presente cláusula presenta un conjunto de clases provisionales de QoS. La distinción entre estas clases [...] (y las indicadas en la tabla 2 en este documento, N. del E.) radica en que los valores de todos los objetivos son provisionales y no es necesario que sean satisfechos por las redes hasta que se revisen (al alza o a la baja) sobre la base de las experiencias de explotación reales.

Parámetro de calidad de funcionamiento de red	Tipo de objetivo de calidad de funcionamiento de red	Clase de QoS	
		Clase 6	Clase 7
IPTD	Límite superior sobre el IPTD medio	100 ms	400 ms
IPDV	Límite superior sobre el cuantil 1-10-6 de IPTD menos el IPTD mínimo (nota 1)	50ms	
IPLR	Límite superior	1x10 ⁻⁶	
IPER	Límite superior	1x10 ⁻⁶	
IPRR	Límite superior	1x10 ⁻⁶	

Notas generales:

Los intervalos de evaluación para estas clases serán de un minuto o superiores. Las evaluaciones han de utilizar cabidas útiles de 1500 octetos. Se proponen intervalos de evaluación de un minuto para el IPTD, la PDV y la IPLR, y cualquier minuto observado deberá cumplir esos objetivos.

Uno de los fundamentos del objetivo de la tasa de pérdidas de paquetes IP (IPLR, IP packet loss ratio) era reducir al mínimo los efectos de las pérdidas sobre la capacidad del TCP, aun cuando se hayan ajustado los parámetros del TCP y del sistema operativo y se haya utilizado la opción de grandes ventanas. En el apéndice IX se proporcionan antecedentes a este respecto y respecto de otros argumentos de apoyo.

El valor para la IPLR no es suficiente para soportar todos los niveles de calidad previstos por la comunidad de usuarios de vídeo digital, y es probable que se necesite una corrección de errores en recepción y entrelazado (FEC/I, forward error correction and interleaving). En el apéndice VIII se facilitan antecedentes relativos a las expectativas de calidad de los usuarios de transporte de vídeo y la FEC/I necesaria para proveer tasas de pérdidas aún más bajas.

El objetivo de la tasa de errores de los paquetes IP (IPER, IP packet error ratio) se estableció con el fin de que apenas influyera en la pérdida global de paquetes.

La tasa de reordenación de paquetes IP (IPRR, IP packet reordering ratio) viene definida en el apéndice VII/Y.1540 como terminología complementaria. Los paquetes reordenados pueden perdidos para un emisor TCP según la distancia a sus posiciones iniciales. Por consiguiente, la IPRR se estableció con el fin de que apenas influyera en la pérdida global de paquetes.

El valor para la IPDV está en estudio. Se solicitan contribuciones que examinen el fundamento y viabilidad de otros valores (inferiores).

NOTA 1– La definición del objetivo de la IPDV (especificado en la Rec. UIT-T Y.1540) es la variación del retardo de paquetes IP entre dos puntos. Véanse la Rec. UIT-T Y.1540 y el apéndice II para obtener información adicional detallada sobre la naturaleza de este objetivo. A efectos de planificación, el límite sobre el IPTD medio puede considerarse como límite superior sobre el IPTD mínimo y, por consiguiente, –5 el límite sobre el cuantil 1 - 10 se puede obtener sumando el IPTD medio y el valor de la IPDV (por ejemplo, 150 ms en la clase 6)."

Tabla 4. Clases provisionales de QoS. Definición y objetivos de calidad de funcionamiento (4: 13)

Con estas clases se pretende soportar las necesidades de calidad de funcionamiento de las aplicaciones de usuarios de velocidad binaria elevada, que tienen requisitos de pérdidas/errores más rigurosos que los soportados por las clases 0 a 4 [...]»(4: 9-14)

3. Especificación Técnica ETSITS 185 001

3.1. Conceptos de Calidad de Servicio

El documento provee: un conjunto de conceptos de QoS genéricos para NGN, un marco teórico para QoS, y una descripción de los requerimientos para la entrega de QoS en NGN.(5: 6)

Para propósitos del documento, aplican los siguientes términos y definiciones: QoS garantizada: servicio de entrega de tráfico con límites numéricos en parte o la totalidad de los parámetros de QoS; y QoS relativa: servicio de entrega de tráfico sin límites en el ancho de banda entregado, el retraso y la pérdida de paquetes.(5: 7)

Los requerimientos de QoS incluyen: clases de QoS, codecs mecanismos de control de la QoS, arquitectura de señalización de calidad de servicio.(5: 8)

Los trabajos de normalización, tradicionalmente distinguen entre los tele-servicios (*tele-services*), que son operados a través de terminales y redes, y los servicios al portador (*bearer services*) que excluyen terminales (de UNI a UNI). Las especificaciones de QoS se enfocaban en *QoS End to End*. Sin embargo, en un ambiente de NGN, también debe tenerse en cuenta la QoS al nivel de los *Bearer Services*. La figura 10, ilustra lo dos conceptos.(5: 8)

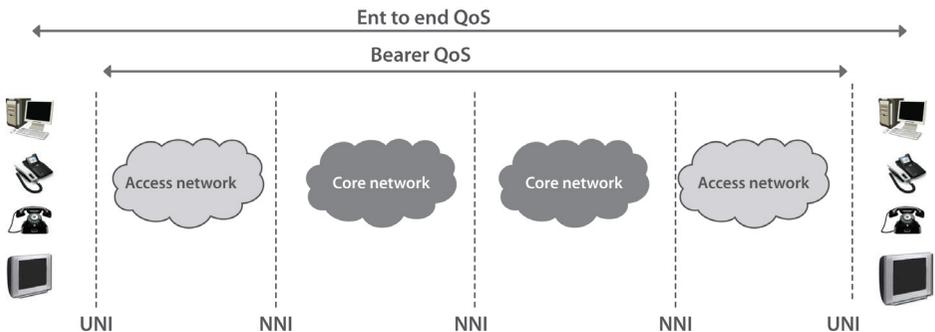


Figura 10. Conceptos Genéricos de QoS(5: 9)

3.2. Requerimientos de calidad de servicio en redes de próxima generación

Las redes de próxima generación deben:

- Estar en capacidad de ofrecer soporte a un amplio rango de servicios que tengan QoS habilitada. Para ofrecer estos servicios, es necesario definir mecanismos de control de QoS, control de arquitectura de QoS, y mecanismos de control y señalización de QoS.
- Dar soporte a diferentes tipos de codecs y la negociación de codecs entre las entidades de NGN (terminales, elementos de red).
- Tener en cuenta diferentes mecanismos de control de QoS, correspondientes a diferentes tecnologías y, posiblemente, a diferentes modelos de negocio.
- Contar con una arquitectura de QoS capaz de administrar diferentes tipos de redes de acceso (ejemplo: desliz, redes de acceso 3GPP...).

El control de señalización NGN QoS debe estar basado en protocolos ya definidos o protocolos bajo desarrollo (ej. RSVP, COPS, NSIS...).(5: 12-13)

3.3. Relación entre Clases de QoS

La tabla 5 presenta la relación entre lo establecido en: la recomendación ITU-T Y.1541 y la especificación técnica 3GPP TS 123 104 UMTS.

3GPP UMTS QoS Class vs. Y.1541 QoS Class		Tiempo real		Mejor esfuerzo	
Clase 0	IPTD < 100ms IPDV < 50ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻³	Conversacional			
Clase 1	IPTD < 400ms IPDV < 50ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻³		Streaming		
Clase 2	IPTD < 100ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻³			Interactivo	
Clase 3	IPTD < 400ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻³				
Clase 4	IPTD < 1s IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻³				
Clase 5	Mejor esfuerzo				Background

Tabla 5. Relación entre Clases(5)

3.4. Requerimientos de arquitectura QoS

La arquitectura de QoS en NGN debe estar en capacidad de administrar diferentes clases de redes de acceso (xDSL, 3GPP...) y diferentes tipos de núcleo (core) de red, hagan parte del mismo, o pertenezcan a dominios diferentes.

La arquitectura QoS de NGN debe estar en capacidad de suplir los siguientes requerimientos:

- 1) Soportar funciones para reserva de recursos QoS, servicios de control de admisión basados en políticas locales, políticas de control de red y control de entrada.
- 2) Proveer un mecanismo para aplicar funciones en diferentes subsistemas de servicios multimedia, para reservar recursos en los transporte de acceso y núcleo.
- 3) Ofrecer soporte al control de admisión y recursos, a través de múltiples dominios administrativos.
- 4) Ofrecer soporte al árbol de escenarios de QoS definidos en el documento, en la sección 9.
- 5) Ofrecer soporte a los controles de QoS garantizada, y QoS relativa.
- 6) Ofrecer soporte a diferentes tecnologías de transporte de acceso, incluyendo: xDSL, UMTS, Cable, LAN, WLAN, *Ethernet*, MPLS, IP, ATM, etc.
- 7) Ofrecer soporte a diferentes tecnologías de transporte de núcleo
- 8) Ser capaz de exportar información de carga y sesiones de medida.(5: 21-22)

Capítulo 2.

Red de Emcali y parámetros de medición de QoS

1. La red de próxima generación de Emcali - Telecomunicaciones

La plataforma de Emcali se basa en una red de próxima generación marca ZTE, de fabricación China. Desde ella, provee a la ciudad de Cali y a los municipios de Jamundí y Yumbo, de los servicios: voz sobre IP, telefonía tradicional/IP e Internet Banda ancha.

La tecnología de acceso a esta red es xDSL en sus versiones ADSL y ADSL plus, usando el cobre tendido en la ciudad.

El sistema de gestión de la plataforma es NETNUMEN®. La red posee dos softswitch, uno en la Central de Colón, otro en la Central de Guabito, que se encargan del control de servicios, señalización, *billing*, y gestión de llamadas.

La arquitectura general de la red es la siguiente:

Nivel de servicios.	Facturación (<i>billing</i>), servidores de aplicativos
Nivel de control.	<i>Softswitch</i> (control, servicios, gestión de llamadas)
Nivel de transporte.	Core (conmutación de paquetes). ²
Nivel de acceso.	Inalámbrico, banda ancha, PSTN, ISDN, con equipos: UAM (MSAG), abonados análogos y ADSL (convierte señales de voz

² La voz análoga se empaqueta y transmite a través de los elementos de la red *core*

análoga a IP; IAD, concentrador de líneas analógicas 8-24, conexión IP hacia el SS; SG, señalización SS7; TG, tráfico PSTN; AG, servidor de acceso; y WAG, (*Wimax*, GSM)

Por ser una NGN, maneja en un mismo equipo: servicios, control, transporte y acceso.

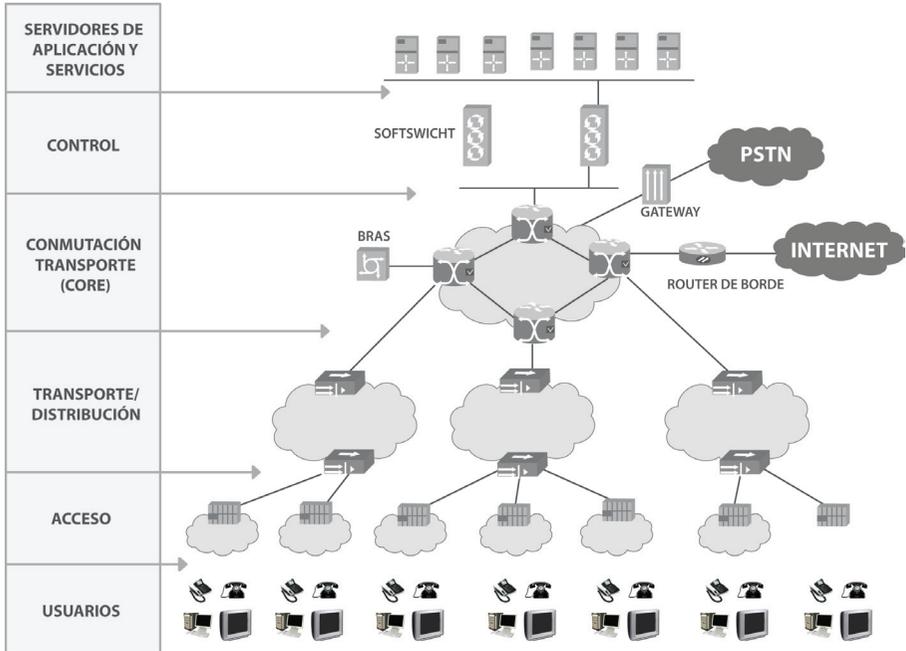


Figura 11. Esquema General de la NGN de EMCALI (Fuente:Emcali)

La red es una *Metro Ethernet*, con un core compuesto por *routers*. Está conformada por 6 anillos en fibra óptica a 10Gb/s. A nivel de distribución, se compone de *Switches* y a nivel de acceso por UAMs. Su funcionamiento en nivel 2 se basa en VLANs. Cuenta con BRAS, equipos de agregación que cumplen la función de autenticar los clientes ADSL (PPPoE). Por su estructura, los saltos para la banda ancha son 2, uno es el equipo BRAS y el otro en el *router* de borde que es el encargado de proveer el acceso a Internet.

Para efectos del proyecto, en esta red se conformará un ambiente controlado, denominado Red de Pruebas, que se describe en el Capítulo IV

2. Parámetros de calidad de servicio a medir

A través de una NGN los usuarios acceden a distintos tipos de servicios. Para cada uno de ellos, la expectativa de servicio es distinta y, por consiguiente, tanto la obtención de un determinado nivel de calidad, como la evaluación de la calidad obtenida, dependen del servicio en cuestión. La información sobre QoS que se proporciona al usuario debe ser relevante y comprensible para él. El resultado que arroje la medición de los parámetros de QoS “técnicos” debe ser equivalente a la evaluación que surge de la experiencia del usuario.

La evaluación de la QoS en el ámbito de las NGN comprende múltiples áreas de trabajo: el nivel de satisfacción del usuario en la utilización del servicio (medida subjetiva); los parámetros relacionados con ese nivel de satisfacción (medida objetiva - capa 3); los parámetros técnicos de la red a nivel de las capas uno y dos (tasas de fallo de byte o de bloque, probabilidad de congestión...); los aspectos de calidad no operativos de la red (demora en el servicio, tiempo de respuesta en la atención al cliente (recepción de quejas, solución de problemas, corrección en la facturación...); y los parámetros de QoS en los contratos y sus mecanismos de verificación.

De estas áreas, el proyecto se enfocó en los parámetros de QoS relacionados con la satisfacción del usuario, haciendo una abstracción de la in-



Figura 12. Abstracción de los parámetros a medir en una NGN, para determinar QoS (6)

fluencia que sobre esta QoS pueden tener los parámetros técnicos de la red (capas uno y dos) y los aspectos de calidad no operativos. Se busca proporcionar información adecuada sobre la QoS que ofrecida por los proveedores, independiente del soporte explícito que la red pueda estar brindando para lograr un determinado nivel de QoS. La figura 12 muestra el modelo de abstracción de los parámetros que deben ser medidos en una NGN para determinar la QoS.

2.1. Componentes del modelo

Calidad de servicio percibida: parámetros de servicio que el usuario percibe y puede comprobar (éxito en la conexión, calidad del audio o el video, velocidad de transferencia...)

Parámetros técnicos de red de soporte: características técnicas de la red, cuyo cumplimiento implica que la percepción de QoS es correcta (pérdida de paquetes, retardo extremo a extremo...)

Prestaciones funcionales de red: parámetros internos que determinan el comportamiento de los parámetros técnicos de la red de soporte, y que especifican la calidad del transporte (errores de bit, errores de enrutamiento o conmutación, probabilidad de congestión...). Estos parámetros son dependientes de las tecnologías empleadas en la NGN.

Aspectos no operativos de la red: aspectos de entrega, gestión y mantenimiento del servicio, que reflejan el nivel de satisfacción del usuario en su relación con el proveedor (tiempo de respuesta en la provisión de un servicio o en la atención de una queja, precisión en la facturación o en su corrección...)

Los parámetros técnicos de red de soporte a medir son:

- **IPTD** (*IP Packet Transfer Delay*). Tiempo que toma el paquete en pasar por un componente de la red (*host*, *router* o sección de red), un parámetro crítico para toda aplicación que utilice la NGN.

- **IPDV** (*IP Packet Delay Variation*). Variación en el tiempo de retardo en la llegada de cada paquete (*jitter*).

- **IPLR** (*IP Packet Loss Ratio*). Tasa de pérdida de paquetes. Su valor se obtiene de la relación entre el total de paquetes perdidos y el total de paquetes transmitidos, en un flujo de datos determinado.

- **IPER** (*IP Packet Error Ratio*): Tasa de paquetes con errores. Su valor

se obtiene de la relación entre el total de paquetes con errores y el total de paquetes sin errores, transmitidos en un flujo de datos determinado.

Cada uno de estos parámetros, dependiendo del tipo de servicio para el que se haga la medición de QoS, tiene unos límites operativos que determinan la clase de QoS. Esta clasificación puede ser consultada en la Tabla 2, “Definiciones de clases de QoS de las redes IP y objetivos de calidad de funcionamiento de la red” (Ver Capítulo I, Sección 2.2.3).

2.2. Relación entre clase QoS y tipos de tráfico NGN.

Cada clase tiene relación directa con la clasificación general de los tipos de servicios que se ofrecen en las NGN. Esta relación puede ser consultada en la Tabla 5, “Relación entre clases” (Ver Capítulo I, Sección 3.3). Cada clase se relaciona con un tipo de tráfico, así: clase 0, con tráfico conversacional; clase 1, con tráfico streaming; clases 2, 3 y 4, con tráfico interactivo; y clase 5, con tráfico background.

Los parámetros deben ser medidos en los puntos de prueba mostrados la figura 13, para cada tipo de tráfico representativo de los principales servicios de una red NGN.

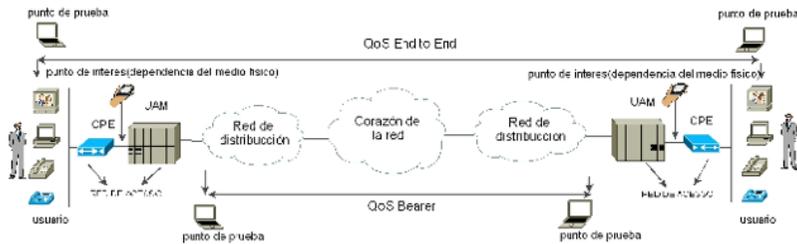


Figura 13. Tipos de medición de QoS(5)

Capítulo 3.

Procedimiento para la medición de los parámetros de evaluación de NGN QoS

Conocidos los parámetros que deben ser utilizados para medir QoS y sus objetivos de calidad (ver “Definiciones de clases de QoS de las redes IP y objetivos de calidad de funcionamiento de la red”, Capítulo I, Sección 2.2.3; y “Parámetros de calidad de servicio a medir / Componentes del modelo”, Ver Capítulo II, Sección 2.1), el proyecto debe definir las herramientas, los procedimientos y los aplicativos (servicios) que se correrán para realizar la medición de QoS en la Red de Pruebas configurada en la NGN de Emcali.

1. Servicios en una red de próxima generación

Por definición, una NGN ofrece a sus usuarios acceso a distintos tipos de servicios. Por sus características particulares, cada servicio o clase de servicio genera una expectativa de calidad distinta. Por esto, la obtención de un determinado nivel de calidad y la evaluación de la calidad obtenida, va a depender de cada servicio en particular. La tabla 6 presenta la mayoría de servicios ofrecidos en una NGN.

Clase de servicio	Servicios
Audio digital	Audio bajo demanda Audio con calidad de estudio Audio sub-estándar Difusión de audio Telefonía
Video digital	Difusión de video de alta definición Difusión de video estándar Difusión de video subestándar Videoconferencia Videotelefonía VoD de alta definición VoD estándar VoD subestándar
Servicio básico de datos	Correo Difusión de datos Mensajería Navegación P2P Tránsito de archivos
Servicio de valor añadido	<i>e-administration</i> <i>e-commerce</i> <i>e-games</i> <i>e-learning</i>

Tabla 6. Clasificación de servicios en una red NGN(6)

Los servicios objeto de la realización de las pruebas de medición son de las siguientes categorías: clase 0, tráfico conversacional; clase 1, tráfico *streaming*; clases 2, 3 y 4, tráfico interactivo; y clase 5, tráfico *background*.

La tabla 7, muestra la clasificación de servicios característicos de una NGN con sus respectivos parámetros de QoS, según las recomendaciones de la ITU-T.

Servicio	Límite superior de parámetros de calidad de funcionamiento				Clase de QoS	Tipo de tráfico
	IPTD	IPDV	IPLR	IPER		
Audio Digital						
Telefonía	100ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	0	Conversacional
Difusión de audio	400ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	1	<i>Streaming</i>
Audio bajo demanda					1	<i>Streaming</i>
Video Digital						
Difusión de video	400ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	1	<i>Streaming</i>
Video bajo demanda	400ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	1	<i>Streaming</i>
Servicio Básico de Datos						
Difusión de datos	400ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2 y 4	Interactivo
Navegación	400ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2 y 4	Interactivo
Transferencia de archivos	400ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2 y 4	Interactivo
Servicio de valor añadido						
<i>e-games</i>	100ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2	Interactivo

Tabla 7. Clasificación de servicios para evaluar la QoS en una NGN (5)

2. Herramientas disponibles para prueba en redes IP

La tabla 8 recopila las herramientas disponibles en el mercado que podrían ser usadas para realizar mediciones de QoS en una NGN. Estas herramientas fueron desarrolladas para trabajar con redes IP puras, cuyo tránsito convencional corresponde a datos, y no con NGN que tienen un tráfico de voz y video. Por lo tanto, es necesario estudiar cada una de ellas e identificar las que permitan diseñar los paquetes de prueba que la herramienta usa para llevar a cabo la medida, emulando el tráfico característico de una NGN.

Herramienta generadora de tráfico	Plataforma	Licencia
<p>Nemesis. Utilidad de inyección y generación de paquetes por línea de comando para probar intrusión en redes, <i>firewalls</i>, etc. Puede generar paquetes e inyectar tráfico nativo ARP, DNS, <i>Ethernet</i>, ICMP, IGMP, IP, OSPF, RIP, TCP y UDP.</p> <p>http://nemesis.sourceforge.net/</p>	Linux Windows	GPL
<p>SCAPY. Programa de manipulación de paquetes interactivo, capaz de descifrar paquetes de un amplio número de protocolos, enviarlos por la red, capturarlos y mucho más. Realiza con mucha facilidad la mayoría de tareas clásicas como <i>scanning</i>, <i>trace routing</i>, <i>probing</i>, <i>unit test</i>, <i>attacks o network discovery</i>. También realiza tareas específicas que la mayoría de herramientas no puede realizar, como envío de tramas invalidas, inyección de tramas 802,11, y combinación de técnicas (<i>VLAN hopping + ARP cache poisoning</i>, <i>VOIP decoding on WEP encrypted channel</i>, etc.).</p> <p>http://www.secdev.org/projects/scapy</p>	Linux	GPL
<p>Distributed Internet Traffic Generator (D-ITG). El Generador de Tráfico Internet Distribuido es una plataforma capaz de producir tráfico a nivel de paquetes con gran exactitud, replicando apropiadamente procesos estocásticos tanto para IDT (<i>inter Departure Time</i>), como para variables PS (<i>Packet Size</i>) aleatorias (exponencial, uniforme, Cauchy, normal y Pareto). Soporta generación de tráfico IPv4 e IPv6 y es capaz de generar tráfico a nivel de red, transporte y aplicación.</p> <p>http://www.grid.unina.it/software/ITG/index.php</p>	Linux Windows	Otro
<p>Pktgen. Herramienta de prueba de alto desempeño. Hace parte del kernel de Linux, por lo que es actualmente la mejor forma de probar el proceso TX del <i>driver</i> del dispositivo y NIC. Puede también ser usado para generar paquetes ordinarios para probar otros dispositivos de red. De especial interés es su uso para probar <i>routers</i> o <i>bridges</i> que usen el <i>stack</i> de red en Linux. Por estar en el kernel, puede generar una rata alta de paquetes con poca saturación en el sistema de los dispositivos de red tales como <i>routers</i> o <i>bridges</i>.</p> <p>http://www.linuxfoundation.org/collaborate/workgroups/networking/pktge</p>	Linux (Kernel)	GPL

Herramienta generadora de trafico	Plataforma	Licencia
<p>Packet Generator. Herramienta simple, útil para medir carga en la red y reproducir tráfico de red observado. Permite transmitir tráfico vía <i>Ethernet</i> 10/100M desde un computador Windows. Soporta un modo de paquetes simple para enviar repetidamente el mismo paquete y un modo <i>buffer</i> para regenerar tráfico capturado de la red actual.</p> <p>http://www.clearsightnet.com/products-packetgenerator.jsp</p>	Windows	Comercial
<p>Packet Excalibur. Multiplataforma gráfica y generadora <i>scriptable</i> de paquetes de red con texto extensible, basado en la descripción de protocolos. Es una herramienta de red útil para construir y recibir paquetes de costumbre. Permite decidir los atributos de los paquetes de capa física hasta arriba, es un <i>Sniffer</i> (capturador de tramas de red) y generador de paquetes en una interfaz simple, con <i>scripts</i> construidos en GUI (<i>graphical user interface</i>), y definición de protocolos adicionales en archivos de texto simple.</p> <p>http://www.securitybugware.org/excalibur/</p>	Linux Windows	GPL
<p>Packgen. Generador simple de paquetes de red escrito en <i>Ruby</i>. Marca manualmente servicios diferenciados (DiffServ). Útil para medir ancho de banda de red y QoS. Puede generar varios flujos de datos, cada uno con sus respectivas propiedades -nombre, destino, ancho de banda, tamaño del paquete, DSCP (<i>Differentiated Services Code Point</i>)-, y rangos de tiempo.</p> <p>http://packgen.rubyforge.org/files/README.html</p>	Ruby	GPL
<p>GASP. Sistema analizador y generador de protocolos. Permite construir paquetes “a mano” para probar el comportamiento de los programas al enfrentar algún paquete desconocido. Está dividido en dos partes. Un compilador toma las especificaciones del protocolo y genera su código manualmente. Este código es un nuevo comando Tcl. Gasp está construido sobre Tcl/Tk, por lo que extiende a script, facilidades provistas por Tcl.</p> <p>http://laurent.riesterer.free.fr/gasp/</p>	Linux Windows	GPL

Herramienta generadora de trafico	Plataforma	Licencia
<p>Gspoof 3.0. Es una herramienta que construye y envía paquetes TCP-IP con exactitud y facilidad. Trabaja desde la consola (línea de comando) y tiene una interfaz gráfica fácil de usar escrita en GTK+ too. Soporta manipulación de cabecera <i>Ethernet</i>, manipulación de cabecera IP, manipulación de cabecera TCP, carga útil TCP, torrents, y notificación de congestión.</p> <p>http://gspoof.sourceforge.net/</p>	Linux	GPL
<p>Harpoon. Generador de flujo a nivel de tráfico. Usa un set de parámetros de distribución que pueden ser automáticamente extraídos de trazas <i>NetFlow</i> para generar flujos que exhiben las mismas cualidades estadísticas presentes en las trazas medidas de Internet, incluyendo características temporales y espaciales. Puede ser usado para generar tráfico representativo <i>background</i> para probar aplicaciones o protocolos, o para probar <i>switches</i> y <i>routers</i>.</p> <p>http://www.cs.wisc.edu/~jsommers/harpoon/ http://wail.cs.wisc.edu/waildownload.py</p>	Linux Solaris 8 FreeBSD MACOSX	Otro no comercial para uso en investigación
<p>Rude and Crude. Rude permite emitir datos UDP en tiempo real. <i>Crude</i>, los colecta. Rude es un pequeño y flexible programa que genera tráfico a la red que puede ser recibido y analizado, en otro lado de la red, con <i>Crude</i>. Estos programas pueden generar y medir solamente trafico UDP.</p> <p>http://rude.sourceforge.net/</p>	Linux	GPL2

Tabla 8. Herramientas de medida de QoS(7)

La conclusión de la revisión de las herramientas y la comparación de sus prestaciones, es que D-ITG es la única que está en capacidad de medir los parámetros que determinan la QoS en redes de múltiples servicios. Las demás, por su diseño, solo pueden inyectar tráfico y llevar a cabo mediciones a nivel de datos, lo que hace imposible su uso para desarrollar esas tareas con tráfico de voz y video, que es lo requerido para usarlas con redes de próxima generación.

La herramienta tiene ventajas adicionales: genera tráfico a partir de modelos; tiene un diseño muy completo que permite no solo medir y analizar la información, sino también presentarla en forma muy clara; funciona so-

bre Linux o Windows; existe una versión gratuita; al funcionar como *script* hace posible la integración con aplicaciones como PHP, lo que facilita una mejor presentación de la información y mayores opciones de control y administración de la plataforma, por lo que la aplicación puede ser optimizada para uso particular a partir de desarrollos propios; y tiene la opción de manipulación remota, que agrega flexibilidad en su uso.

3. Procedimientos de medida de calidad de servicio en redes de próxima generación.

La ETSI TS 185 001 recomienda realizar medidas de extremo a extremo (end to end) y/o medidas sobre la red de transmisión (bearer). Para ilustración de los puntos de medida de QoS en NGN, se recomienda revisar “*Relación entre clases QoS y tipos de tráfico NGN*”, en particular la Figura 13, “*Tipos de mediciones de QoS*” (Capítulo II, Sección 2.2),

3.1. Técnicas de medida

Las medidas se pueden realizar a través de técnicas activas y pasivas. Las primeras, también llamadas intrusivas, “inyectan” tráfico en la red con el objetivo de realizar las medidas sobre dicho tráfico. Las segundas, también llamadas no intrusivas, en cambio, se limitan a observar tráfico existente en la red.

El proyecto define usar técnicas intrusivas para medir: el retardo de transferencia de paquetes en un sentido (IPTD), la variación del retardo de paquetes IP en un sentido (IPDV), la tasa de pérdida de paquetes (IPLR) y la tasa de errores de los paquetes (IPER). La recomendación ETSI TS 185 001 no especifica ningún protocolo para realizar estas medidas, pero si el uso de paquetes de prueba en cualquier enlace establecido entre dos *routers*. Dichos enlaces seleccionados para una medición particular, se denominan “población de interés”.

3.2. Metodología para la medición de calidad de servicio.

Una red de telecomunicaciones está constituida por un conjunto de elementos interconectados, entre los que se destacan los equipos de transmisión y conmutación, además de los de acceso y los propios terminales de usuario. La red puede ser simple, compleja, emplear diferentes tecnologías, topologías y protocolos, y todo esto estar dispuesto para prestar uno o múltiples servicios (datos, voz, video, audio).

La arquitectura general de una red de telecomunicaciones, como se aprecia en la figura 14, está compuesta por múltiples sistemas operando entre sí. En el *backbone* de la red o red troncal, se agrupa: el sistema de gestión de la red, el sistema de conmutación y el sistema de transmisión. Además existe una red de acceso, que es la que permite que el usuario acceda a los servicios que ofrece la red.

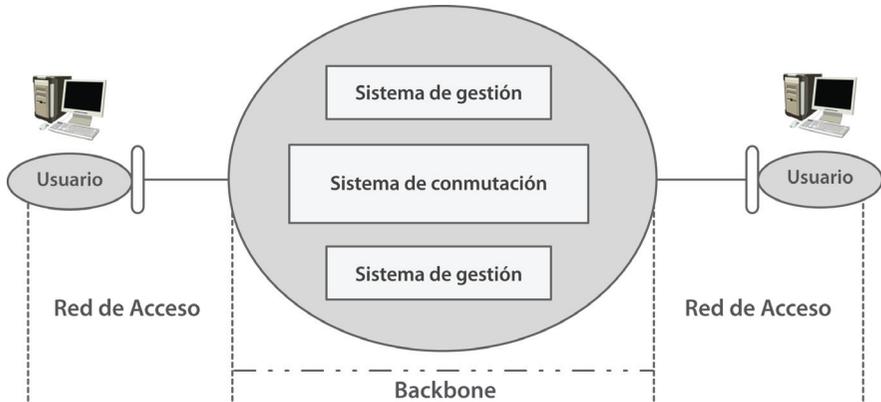


Figura 14. Arquitectura general de una red de telecomunicaciones (8)

Independiente de la arquitectura de la red, para que una comunicación se pueda establecer debe entrar en juego una pila de protocolos de comunicación, que han sido agrupados, en forma genérica, en un modelo de capas llamado TCP/IP. Este modelo está compuesto por la capa de aplicación, la más alta en el modelo, seguida, en orden descendente, una tras otra, por la capa de transporte, la capa de red, y la capa interfaz. Cada una de ellas realiza una tarea específica.

Cuando se utiliza software que genera tráfico y lo inyecta en la red para llevar a cabo medidas de QoS, ese software opera activando la pila de protocolos TCP/IP, para lograr establecer una comunicación real, de manera que el tráfico inyectado se comporte tal como lo haría el tráfico generado por una aplicación real que corra sobre la red (ej. una comunicación de voz).

D-ITG, el software seleccionado por el proyecto, permite implementar algunos protocolos en la capa de aplicación como: VoIP, Telnet, DNS, Quake III, entre otros. En general, permite implementar protocolos hasta en la capa de transporte, por lo que al modelar algún tipo de tráfico para

ser generado e inyectado por el D-ITG en la red, es necesario abstraer el comportamiento estadístico de la capa de aplicación y encapsularlo en la capa de transporte, para que de esta manera logre emular la pila de protocolos TCP/IP completa con solo implementar los protocolos de red y transporte.

El D-ITG no permite implementar todos los protocolos de aplicación que existen. Pero a nivel de los sistemas de conmutación y transporte de una red, esto no tiene importancia porque los dispositivos de red que componen estos sistemas solo operan hasta nivel de capa de red, y los niveles superiores, como aplicaciones y transporte son encapsulados, uno dentro del otro, como se observa en la figura 15. En consecuencia, la medida que se obtiene usando el D-ITG es aceptable porque usa los protocolos de las capas de transporte, red e interfaz.

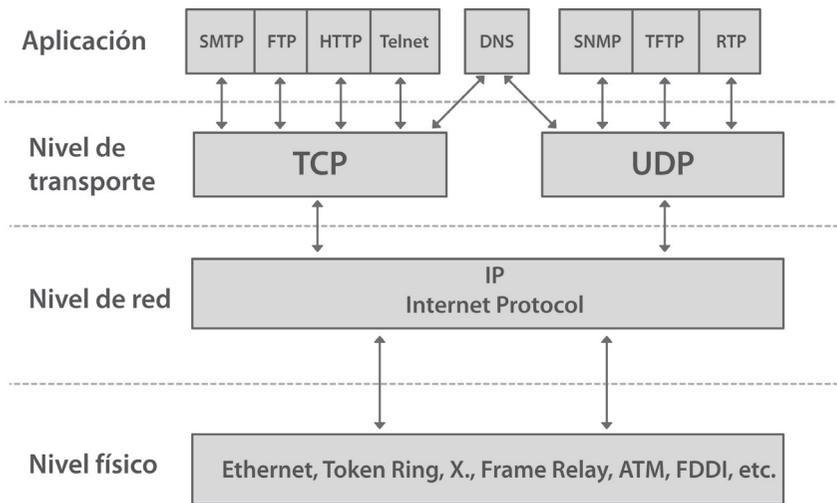


Figura 15. Encapsulamiento de protocolos en TCP/IP(s)

La figura 16 ilustra el funcionamiento del D-ITG a nivel de protocolos. La herramienta opera con los protocolos solo hasta la capa de transporte y hace una abstracción de las capas I y II. Solo es factible modificar los parámetros de configuración correspondientes a los protocolos de capa de red, en este caso IP, y los protocolos de capa de transporte, tales como UDP, TCP, DCCP y SCTP.

Lo anterior implica que para la realización de una medida de QoS en una red de telecomunicaciones, para cada servicio -por ejemplo, la QoS de una llamada telefónica IP- es necesario modelar el tráfico de una llamada telefónica IP real, de forma estadística, y entregarle estos parámetros al D-ITG, para configurarlo y modelar el tráfico de una llamada telefónica IP. Posteriormente, ese tráfico moldeado se inyecta a la red, que se encarga de implementar todos los protocolos de esa comunicación, hasta la capa de transporte.

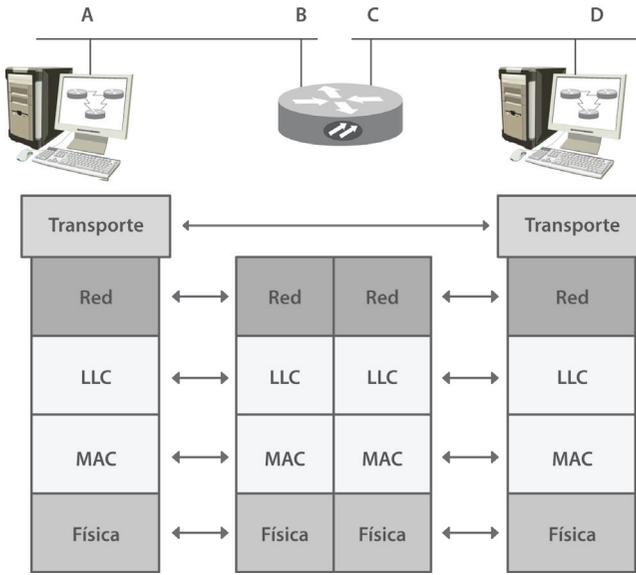


Figura 16. Funcionamiento a nivel de protocolos del D-ITG(9)

3.3. Metodología – Uso del D-ITG

La metodología para la medición de los parámetros de red que determinan la QoS en las redes de telecomunicaciones que funcionan sobre IP consta de dos pasos.

El primero, ilustrado en la figura 17, consiste en capturar trazas del tráfico de las aplicaciones que ofrece la NGN a través de un *software Sniffer* (que puede ser *Ethereal*), con el objetivo de conocer, a nivel de protocolos y de estadísticas de transmisión, el comportamiento del tráfico generado por las aplicaciones ofrecidas por la NGN a las que se va a medir los parámetros de red que determinan la QoS.

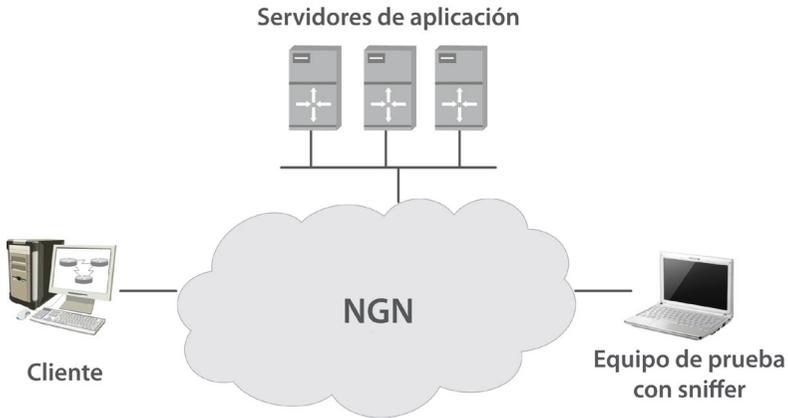


Figura 17. Captura de protocolos y estadísticas de transmisión de las aplicaciones a las que se medirá la QoS

Esta captura contiene datos que determinan el comportamiento estadístico de la aplicación, tales como: la tasa de paquetes enviados (paquetes/segundo), el tamaño de los paquetes (bytes/paquete), el byte DSCP (servicios diferenciados), el TTL, los protocolos usados en la transmisión, los puertos, el ancho de banda, entre otros. Estos parámetros son tomados como datos de entrada al software D-ITG, donde se usan para modelar el comportamiento estadístico a nivel de transmisión de las aplicaciones ofrecidas por la NGN y emular el comportamiento real de la aplicación a la que se va a medir la QoS hasta llegar a la capa de transporte (o nivel 4 en el modelo OSI).

El segundo paso consiste en inyectar el tráfico emulado con el generador de tráfico D-ITG en la red de telecomunicaciones, en la que se realizará la medición de QoS. La forma genérica de operación del software se muestra en la figura 18. En ellas se aprecia la existencia de un equipo transmisor, desde el cual el D-ITG inyecta tráfico en la red, y un equipo receptor, que lo toma y lo procesa generando un archivo log, con los parámetros medidos en la transmisión realizada.

La otra forma de operación del software consiste en inyectar tráfico desde el transmisor hasta el receptor. La diferencia radica en que en este caso el receptor no toma el tráfico, sino que lo reenvía hasta el equipo transmisor, que lo retoma y almacena el archivo log, con las medidas realizadas por el software.

Técnicamente, lo que hace el D-ITG es generar paquetes característicos de la aplicación a la cual se quiere medir la QoS, enviarlos con *ITGSend*, el software transmisor del D-ITG, y recibirlos con *ITGRecv*, su software receptor.

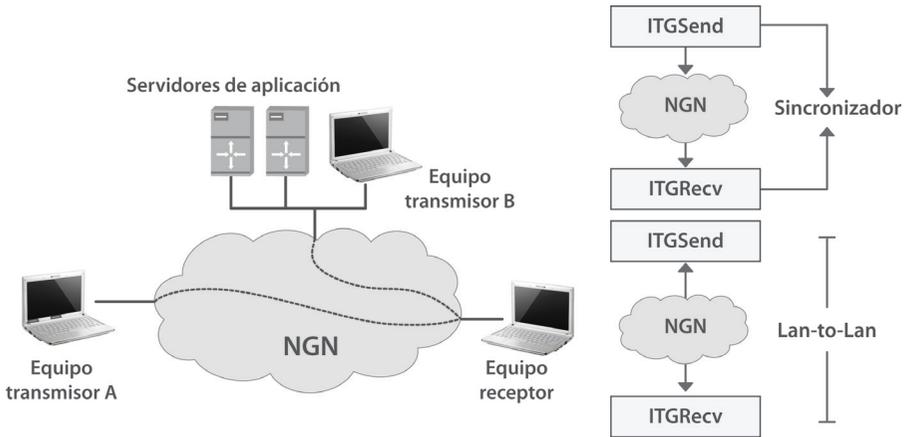


Figura 18. Forma de operación del D-ITG(9)

La figura 18 ilustra la forma de operación del D-ITG de dos maneras. El lado derecho de la lámina muestra dos operaciones. Una, donde se mide el retardo en un sentido -modo que requiere de un sistema sincronizador- (parte alta), otra donde se mide el retardo de ida y vuelta, un modo que no requiere dicho sistema (parte baja). El lado izquierdo, por su parte, muestra una medida cliente-servidor (equipo transmisor B – equipo receptor) y otra *LAN to LAN* (equipo transmisor A y equipo receptor). La primera, requiere un sistema de sincronización y corresponde a una medida del retardo en un solo sentido. La segunda, realiza una medida del retardo de ida y vuelta, modo de operación en el que no necesita el sistema de sincronización (GPS, servidor NTP).

Del modo de operación seleccionado depende la mayor o menor exactitud de los resultados de las mediciones de QoS. El modo que no usa sincronización arroja una medida del retardo de ida y vuelta. Por esto, para calcular el retardo en un solo sentido, es necesario promediar el dato de ida y el dato de vuelta, algo que, por definición, corresponde a una aproximación, dado que el camino que toma un paquete para ir del transmisor al receptor no necesariamente es el mismo que toma para regresar. Esta situación genera

un pequeño margen de error en la medida, que se evita cuando se selecciona el método que usa la sincronización, en el que se toma la medida real del retardo al ir desde el transmisor hasta el receptor.

Una consideración adicional. Los operadores de NGN están combinando las ventajas de la conmutación inteligente de nivel 3 con la rápida conmutación de nivel 2, utilizando las VLAN para transportar los servicios ofrecidos por sus redes. Cabe la pregunta ¿Es esta una medida valida si la red implementa conmutación a nivel 2? La respuesta es afirmativa. La herramienta de medida D-ITG opera a nivel 3 (protocolo IP), pero al ser encapsulado en las VLAN para su transporte, indirectamente toma medidas del retardo, pérdida de paquetes y errores que sufren los paquetes IP cuando viajan a través de las VLAN y de los equipos finales e intermedios de nivel 3. Por esta razón, cuando existan trayectos de la red que usen conmutación a nivel 2, el D-ITG va a medir los parámetros de transmisión de la red que determinan la QoS, por medio de la encapsulación. La figura 19 presenta gráficamente este proceso.

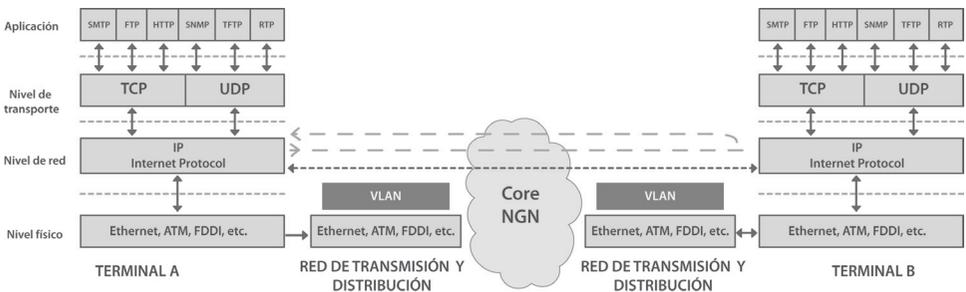


Figura 19. Operación del D-ITG ante la presencia de conmutación a nivel 2 (9)

4. Aplicación práctica de la metodología

4.1 Medición de parámetros de QoS en la NGN de Emcali

Para la medición de los parámetros de QoS en la NGN de Emcali, el primer paso -la captura del tráfico generado por las aplicaciones que corren sobre la red, para obtener la información que permite modelar el tráfico que se generará con el D-ITG- se realizó utilizando como *sniffer a Ethereal*. La figura 20 muestra la captura realizada con el *Ethereal* para el servicio

streaming de audio, y corresponde a las estadísticas generales del tráfico del streaming de audio. La información relevante para modelar el tráfico se encuentra encerrada en el círculo rojo.

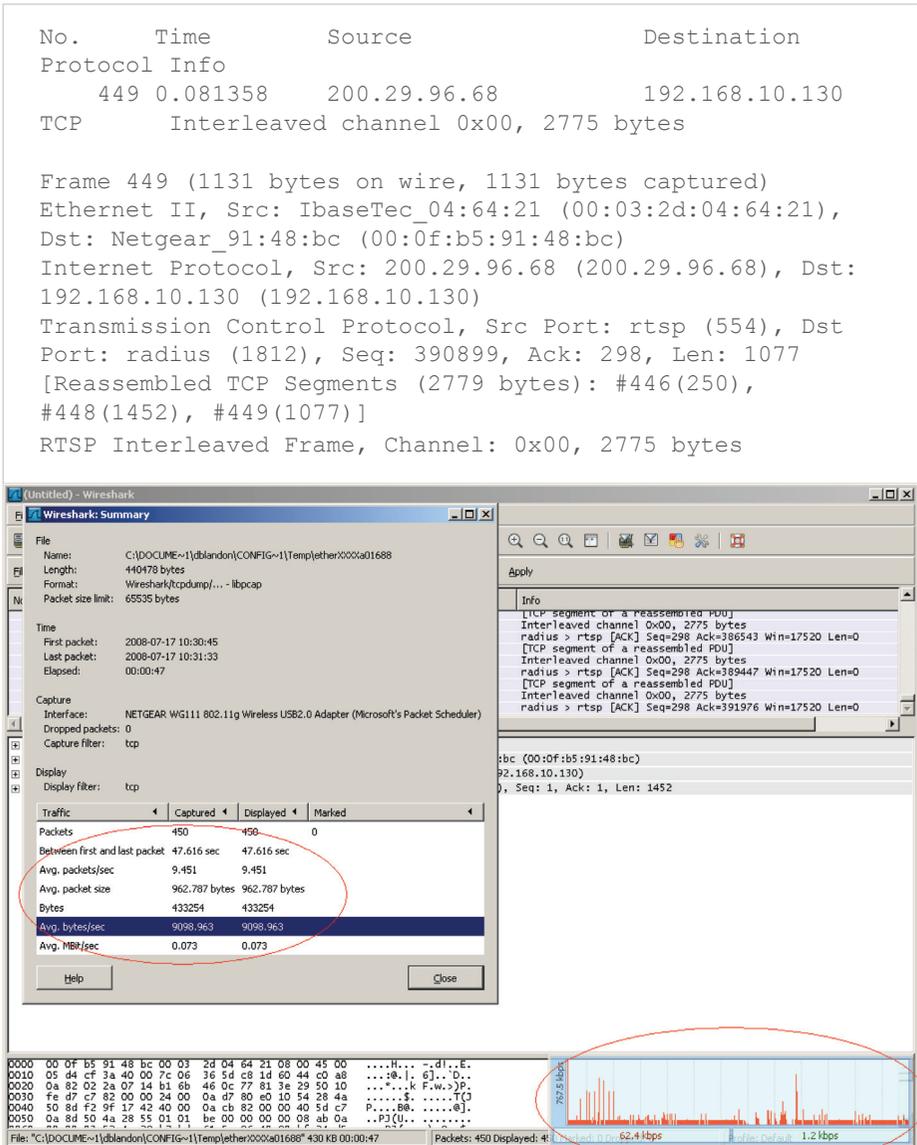


Figura 20. Captura del tráfico de audio streaming tomada con el Ethereal

La información tomada en esta captura, fue la siguiente:

Tasa de paquetes:	9.451 Paq/sec.
Tamaño:	962.787 bytes
DSCP:	0x00
TTL:	128
Protocol:	TCP
Port Src:	554
Dst Port:	1812
Ancho de Banda:	73 kb/s

Esta es la información base para modelar el tráfico que será inyectado en la red. Estos parámetros son configurados en el D-ITG de la siguiente manera:

Sintaxis:

Transmisor:

```
ITGSend.exe -m rttm -a 200.29.104.12 -rp 1812 -sp 554 -T TCP -f
128 -b 0x00 -t 120000 -l medidaaudiostreaming.txt -C 9.451 -c
962.787
```

Corresponde al tráfico modelado de audio streaming a inyectar en la red para medir los parámetros que determinan la QoS para esta aplicación.

Receptor:

ITGRecv.exe

En el receptor únicamente se corre el componente ITGRecv. De esta manera, este equipo escucha todo lo que llega por la interfaz de red. Cuando lo que escucha es información proveniente del ITGSend, la procesa y la reenvía para crear el archivo Log con las medidas de los parámetros que determinan la QoS.

Al ejecutar estos comandos bajo la arquitectura ilustrada en la figura 7 se obtuvo los siguientes resultados, los que fueron entregados por el D-ITG en un archivo LOG, decodificado con la herramienta ITGDec del D-ITG (que lleva los resultados obtenidos a un formato comprensible para el ser humano).

El archivo generado por el D-ITG para la medida de QoS del servicio audio streaming decodificado es el siguiente:

Sintaxis:

ITGDec.exe medidaaudiostreaming.txt

```
|-----|
Flow number: 1
From 190.99.132.96:1858
To 200.29.104.12:10001
-----
```

Total time	=	119.909124 s
Total packets	=	1197
Minimum delay	=	0.035092 s
Maximum delay	=	0.455085 s
Average delay	=	0.056676 s
Average jitter	=	0.015037 s
Delay standard deviation	=	0.067131 s
Bytes received	=	1152711
Average bitrate	=	76.905641 Kbit/s
Average packet rate	=	9.982560 pkt/s
Packets dropped	=	3 (0.25 %)

***** TOTAL RESULTS *****

Number of flows	=	1
Total time	=	119.909124 s
Total packets	=	1197
Minimum delay	=	0.035092 s
Maximum delay	=	0.455085 s
Average delay	=	0.056676 s
Average jitter	=	0.015037 s
Delay standard deviation	=	0.067131 s
Bytes received	=	1152711
Average bitrate	=	76.905641 Kbit/s
Average packet rate	=	9.982560 pkt/s
Packets dropped	=	3 (0.25 %)
Error lines	=	0

La figura 21 muestra la forma en que se realizaron las pruebas en la NGN de Emcali. El equipo denominado P2 fue el equipo transmisor, y el equipo P1, el receptor.

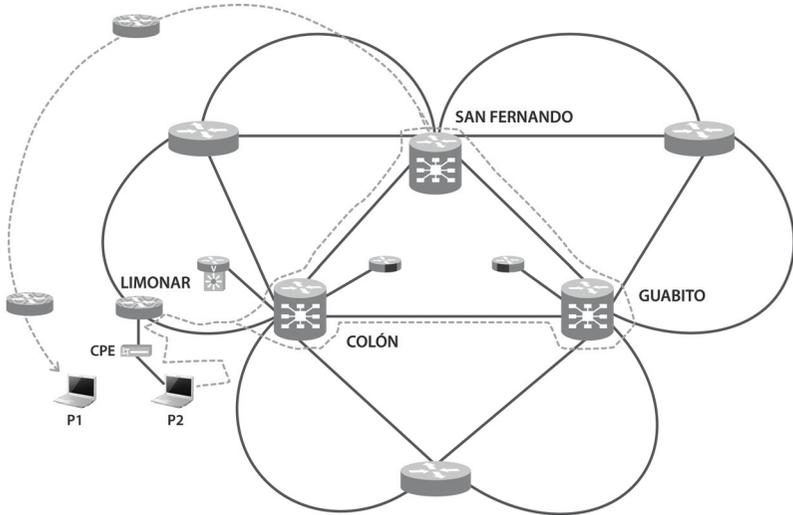


Figura 21. Arquitectura de pruebas en la NGN de Emcali Telecomunicaciones E.S.P

4.2. Análisis de resultados

En el apartado “*Total Results*” del archivo LOG generado al medir la QoS para el servicio de audio streaming se encuentran los parámetros necesarios para llevar a cabo la medida de QoS para ese servicio. Los parámetros relevantes aparecen marcados en color rojo y son los que indica la tabla 9:

Detalle	Parámetro	Resultado
Tiempo total que duró la prueba	<i>Total time</i>	119.909124 s
Ancho de banda consumido por la prueba	<i>Average bitrate</i>	76.905641 Kbit/s
Retardo promedio (ida y vuelta) que sufrieron los paquetes al transitar por la NGN.	<i>Average delay</i>	0.056676 s
<i>Jitter</i> promedio que sufrieron los paquetes al transitar por la NGN.	<i>Average jitter</i>	0.015037 s
Paquetes perdidos durante la transmisión por la NGN	<i>Packets dropped</i>	3 (0.25 %)
Errores sufridos durante la transmisión por la NGN	<i>Error lines</i>	0

Tabla 9. Parámetros relevantes para la medida de QoS aplicada al servicio de audio streaming de Emcali (Fuente: Emcali)

4.3. Valoración de la calidad de servicio de acuerdo a los parámetros medidos en la red.

La tabla 10 presenta la comparación entre el valor obtenido para los parámetros en la medición realizada en la red de Emcali y su valor de referencia (límite superior), que corresponde al establecido en las recomendaciones de la ITU.

Para que el resultado sea favorable, el valor obtenido durante la medición para cada uno de los parámetros -sin excepción- debe estar por debajo del valor de referencia. En consecuencia, para que una medición cumpla con la normativa internacional de QoS, todos los valores consignados en la columna “Diferencia” deben ser negativos.

En este caso, los resultados que muestra la Tabla 10 permiten afirmar que el servicio *Audiostreaming* evaluado cumple con holgura con las expectativas de QoS establecidas por la norma, para este servicio en la clase 1.

Aplicación evaluada: Audio streaming			
Parámetro	Medición	Límite superior	Diferencia
IPTD	28.34 ms	400 ms	-371.66 ms
IPDV	15 ms	50 ms	-35 ms
IPLR	0.25%	1,00%	-0.75%
IPER	0	1	-1
Clase QoS	0	1	-1

Tabla 10. Parámetros medidos y valores de referencia (*Audiostreaming*)

Capítulo 4.

Toma de medidas de QoS aplicadas a tráfico: conversacional, streaming e interactivo

La última fase del proyecto consistió en aplicar la metodología probada en un ámbito más amplio, incluyendo tráfico conversacional, *streaming* e interactivo. Las mediciones se realizaron en la red de próxima generación de Emcali, pero en un ambiente de prueba, “armado” con una configuración especial, distinta a la que usa Emcali para la provisión de sus servicios. Por esto, los resultados obtenidos no reflejan, en ningún caso, la QoS real de la NGN de Emcali. Un detalle de la configuración de la “Red de Pruebas” aparece descrito en el siguiente numeral.

La toma de las medidas de QoS se realizó usando técnicas activas (intrusivas), inyectando de manera controlada tráfico en la Red de Pruebas, con el objetivo de medir: el retardo de transferencia de paquetes en un sentido (IPTD), la variación del retardo de paquetes IP en un sentido (IPDV), la tasa de pérdida de paquetes (IPLR) y la tasa de errores de los paquetes (IPER).³

³ La Tabla 2. “Definiciones de clases de QoS de las redes IP y objetivos de calidad de funcionamiento de la red”, que aparece en la sección 2.2.2, “Objetivos de calidad de funcionamiento de la red / Clases de QoS de red”, ofrece mayor detalle respecto de los parámetros IPTD, IPDV, IPLR, IPER, sus objetivos de medición de QoS de acuerdo a la clase, y los valores esperados para los principales servicios de una NGN.

La toma de medidas se realizó utilizando la metodología descrita en el capítulo anterior ⁴ aplicada a los tipos de tráfico más usados en un entorno de operación real: *streaming* (video y audio), interactivo y conversacional, seleccionando para cada tipo un aplicativo. En todos los casos, con excepción de video streaming, las mediciones incluyen varios escenarios, con niveles de tráfico diferentes.

Todas las pruebas tuvieron una duración de 3 minutos. Se realizaron bajo las mismas condiciones, en distintas horas del día, entre las diez de la mañana y las diez de la noche, los días sábado, que es cuando la red tiene mayor congestión en el Core.

Los resultados de las pruebas se presentan en tablas, una para cada aplicación, que incluye el límite superior (valor referencial) establecido por la normativa para cada parámetro, el resultado obtenido y la desviación respecto del valor referencial, de cada uno de los escenarios de prueba propuestos.

El objetivo del capítulo es analizar las medidas de QoS tomadas en la NGN de Emcali para los tipos de tráfico conversacional, *streaming* e interactivo.

1. Red de Pruebas

La red de próxima generación de Emcali es una red con un core MPLS compuesto por *routers*, conformada por 6 anillos en fibra óptica a 10Gb/s, compuesta, a nivel de distribución por Switch, y a nivel de acceso, por UAM. Su funcionamiento en el nivel 2 está basado en VLANs. Cuenta con BRAS, equipos de agregación que cumplen la función de autenticar los clientes ADSL (PPPoE). Su infraestructura genera dos saltos para la banda ancha, uno en el equipo BRAS, otro en el *router* de borde (encargado de proveer el acceso a Internet).

Las mediciones se realizaron en un ambiente de pruebas limitado. La red de pruebas se formó tomando dos extremos de la NGN de Emcali, y asignando a cada uno un ancho de banda en la red de acceso de 456 kb/s, con un Core de red de 10 Gb/s y tecnología de acceso ADSL. En un extremo de la red se utilizó una dirección IP fija y en el otro, una dirección IP dinámica.

⁴ Ver sección 5 “Procedimientos de medida de calidad de servicio en redes de próxima generación”.

Se estableció un ancho de banda fijo de 456 kb/s en la red, para hacer posible la observación de los efectos de las variaciones de la carga en la red.

La figura 22 describe la red utilizada para realizar las mediciones de prueba. La gráfica, en general, corresponde a la NGN de Emcali. La línea punteada señala la “Red de Pruebas” establecida entre los equipo de prueba (P1 y P2).

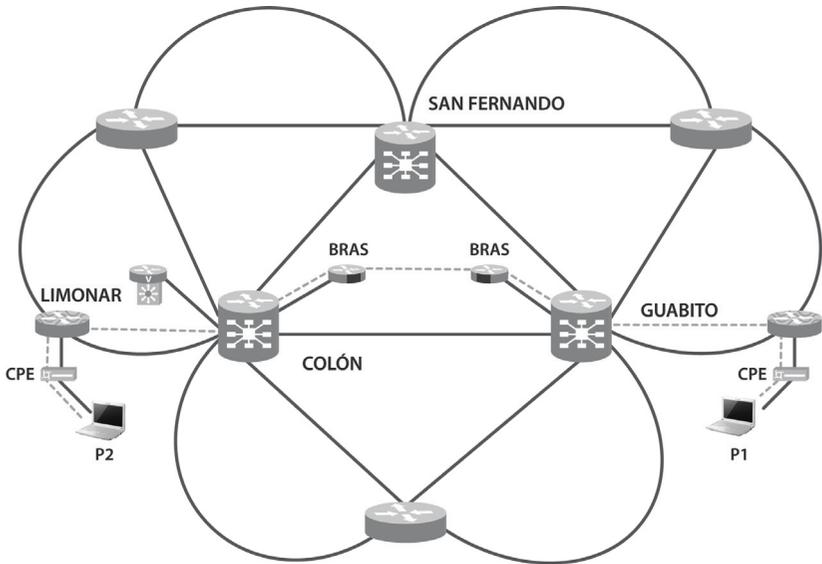


Figura 22. Red utilizada para realizar las mediciones de prueba (Fuente: Emcali)

Las pruebas se realizaron con el CPE en modo *bridge*. La conmutación en la red de acceso y la distribución se realizó en el nivel 2 usando VLAN (por medio de los BRAS la conmutación en el Core se realiza en nivel 3, IP), por lo que los paquetes de prueba solo tiene dos saltos IP directos y el resto de la conmutación se hace encapsulada en nivel 2 a través de VLAN.

Las figuras 22 y 23 muestran las condiciones de la red al momento de la realización de las pruebas. La primera corresponde a las estadísticas de carga IP de uno de los equipos del Core. La segunda, los protocolos que intervienen en una comunicación “extremo a extremo” en la NGN de Emcali, que son los mismos que intervienen durante las mediciones de QoS realizadas en la red de pruebas.

Para interpretar los resultados, se compara el valor obtenido en la medición, para cada parámetro, con su respectivo límite superior. Para que un resultado sea favorable, es decir para que cumpla con el nivel esperado, es necesario que el valor obtenido en la medición, para todos los parámetros, sin excepciones, esté por debajo de los registrados en la columna “Límite superior”. Dicho de otra manera, que la columna “diferencia” muestre en todos los parámetros un valor negativo.

2.1. Tráfico Streaming

Se realizaron mediciones para los servicios de difusión de video y audio. El primero, usando el aplicativo IPTV, el segundo, con el aplicativo *audios-streaming*.

2.1.1. Difusión de Video

La tabla 11 y la figura 25 muestran el resultado de las mediciones tomadas para el servicio de difusión de video IPTV, para una codificación que genera la difusión del tráfico a una tasa de 1.4 Mb/s.

IPTV se clasifica como Clase de QoS 1. Tiene como límite superior para los parámetros que determinan su QoS: IPTD, 400 ms; IPDV 50 ms; IPLR , 1%; e IPER , 0.001.

La revisión de los resultados obtenidos en la medición es favorable en los parámetros IPTD, IPDV e IPER, pues en todos ellos el resultado obtenido en la medición está muy por debajo de los límites establecidos en las normas. El parámetro IPLR, en cambio, está muy por encima de ese límite, con una diferencia de 67.09%, lo que implica un deterioro dramático de la QoS, ya que la pérdida de paquetes de un protocolo como IPTV que

Aplicación evaluada: Difusión de video IPTV (clase 1, interactivo)			
Parámetro	Límite Superior (LS)	Medición (M)	Diferencia (M - LS)
IPTD	400ms	151,15 ms	-248,85 ms
IPDV	50ms	6,942 ms	-43,058 ms
IPLR	1,00 %	68,09 %	67,09 %
IPER	0,001	0,000	-0,001
Clase QoS	1	5	4

Tabla 11. Medidas de QoS para IPTV

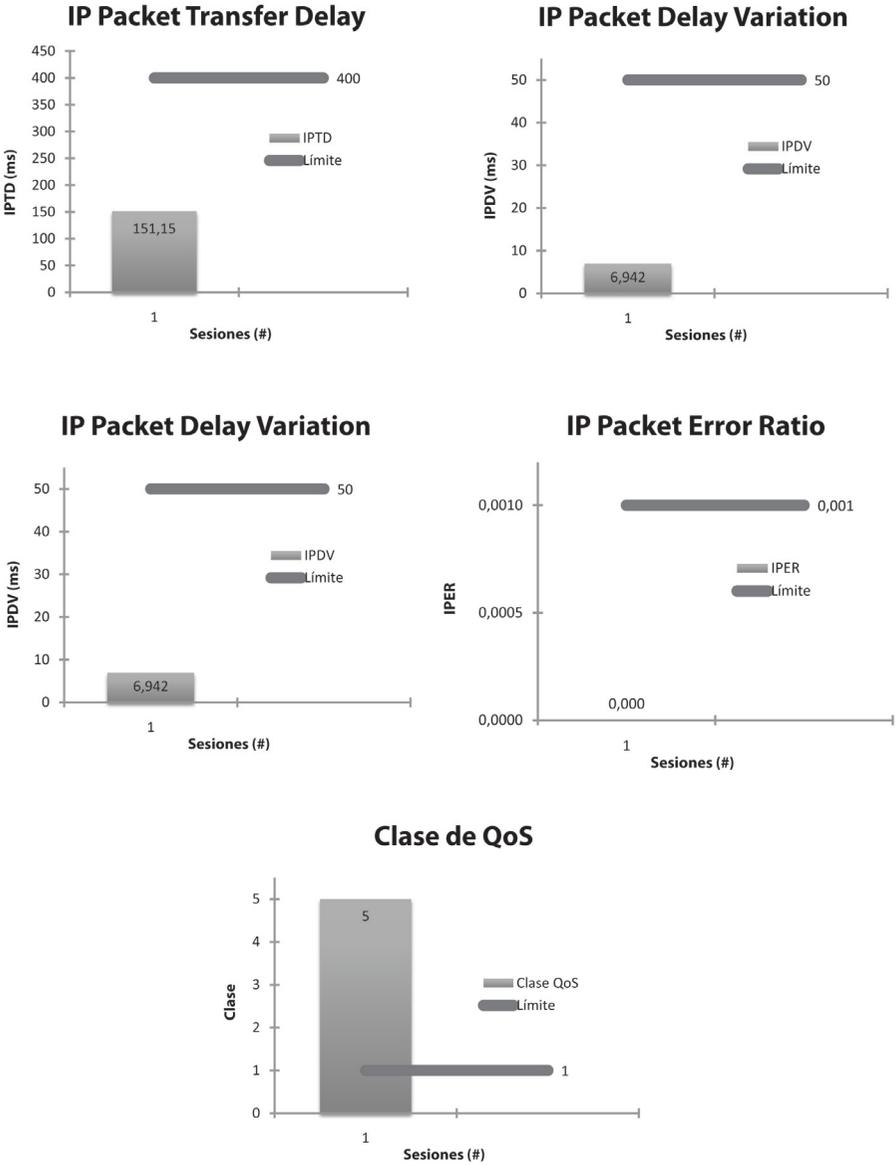


Figura 25. Medidas de QoS para IPTV

no implementa retransmisión de paquetes hace que la aplicación de video *streaming* sea inservible.

Como efecto de esta elevada tasa de pérdida de paquetes, la clasificación de la calidad del servicio en esta prueba es clase 5. Esto porque la máxima pérdida permitida para las clases 0 a 4 es de 1%. Que una aplicación que debe ser clase 1 -como es el caso de IPTV- quede clasificada como clase 5, significa que la aplicación ha sufrido grandes deterioros en su QoS en la red, al punto de hacerla inservible. Gráficamente la desviación es muy evidente.

La explicación de esta situación está en el ancho de banda de la red de acceso al Core NGN, que en el caso de la red de prueba está limitado a un ancho de banda de solo 456 kb/s, definitivamente inferior al ancho de banda requerido para la transmisión de la difusión de video, que es de 1.4 Mb/s. Esta diferencia entre lo requerido y lo asignado genera un cuello de botella para la transmisión en la red de acceso. La red, en su proceso de almacenamiento en el *buffer* y encolamiento, desecha los paquetes que exceden la capacidad de almacenamiento programada para el *buffer*, lo que explica la alta tasa de pérdidas.

Con un detalle adicional. Los paquetes para la aplicación IPTV tomados como base no se marcan, por lo que la red no tiene como diferenciarlos de los demás paquetes de su tráfico habitual. Al no poder diferenciarlos, no puede darles el tratamiento especial, propio de su clase. Al llegar el paquete, en lugar de darle prioridad a su despacho, lo encola, retrasándolo.

2.1.2. Difusión de radio

Este servicio fue evaluado para el aplicativo *audiostreaming*. Las pruebas se realizaron en dos escenarios: una difusión de radio única, y tres difusiones de radio simultáneas.

Audiostreaming se clasifica como Clase de QoS 1 y tiene como límite superior para los parámetros que determinan su QoS: IPTD, 400 ms; IPDV 50 ms; IPLR, 1%; e IPER, 0.001. Las pruebas se realizaron en dos escenarios: una difusión de radio única, y tres simultáneas.

La tabla 12 y la figura 26 muestran los resultados obtenidos en las mediciones en los dos escenarios citados. Como se puede observar, en ambos casos, los valores obtenidos están por debajo del límite superior establecido para cada uno de los parámetros, para este tipo de servicio en clase 1. Al

Aplicación evaluada: Difusión de audio (<i>audiostreaming</i> , clase 1, interactivo)		Una (1) difusión de audio		Tres (3) difusiones de audio simultáneas	
Parámetro	Límite Superior (LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs. LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs. LS)
IPTD	400 ms	19,069 ms	-380.931 ms	19,539 ms	-380.461 ms
IPDV	50 ms	1,084 ms	-48.916 ms	0,875 ms	-49.125 ms
IPLR	1,00 %	0,00 %	-1,00 %	0,00 %	-1,00 %
IPER	0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001
Clase QoS	1	0	-1	0	-1

Tabla 12. Medidas de QoS para difusión de audio

clasificar estos resultados, para efectos de asignación de clase, es claro que ellos corresponden a una clase de QoS 0, la medida con mejor nivel de QoS, lo que en términos simples indica que la QoS del servicio *audiostreaming* que es difundido por la red prueba cumple con holgura con los requerimientos de calidad normalizados por ITU-T y la ETSI.

La obtención de tan buenos resultados tiene una explicación: el ancho de banda requerido por el servicio de *audiostreaming* que se usó para esta prueba es de 74 kb/s, un valor significativamente menor que el ancho de banda de la red de pruebas (456 kb/s), lo que le da mucha holgura a la difusión de sus paquetes de información. Por esto, aun en el segundo escenario de prueba, con tres sesiones simultáneas de *audiostreaming*, los resultados son positivos y corresponden a una clase 0. El ancho de banda requerido por las tres difusiones en simultánea es de solo 222 kb/s, un valor que ronda la mitad del ancho de banda disponible en la red de pruebas. Adicionalmente, el hecho de que la red esté libre de carga de otro tipo de tráfico (otros servicios corriendo en simultánea) ayuda a que no se generen retardos significativos en el servicio evaluado.

Como se aprecia en los gráficos, la comparación del retardo y el *jitter* en los escenarios de una y tres difusiones en simultánea, no tienen una diferencia apreciable. Triplicar el tráfico en la red, en este caso, no genera un deterioro significativo en la calidad del servicio de las aplicaciones que

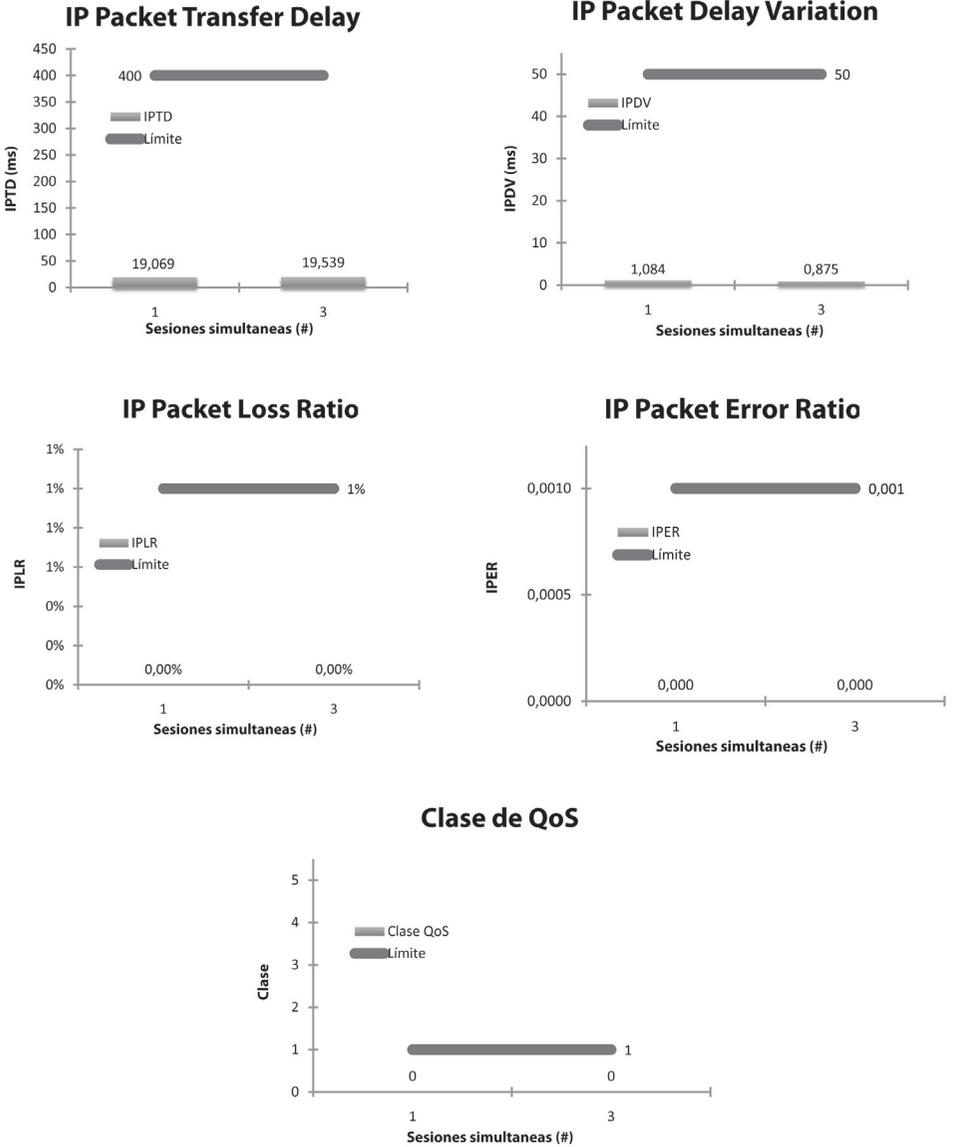


Figura 26. Medidas de QoS para difusión de audio

están siendo soportadas, porque la carga de la red, en el caso más crítico, ronda el 50% del ancho de banda disponible en la red de pruebas.

2.2 . Tráfico conversacional

La aplicación evaluada fue Telefonía IP. Para las pruebas se usó como base la configuración que implementa el codec G.711, con un consumo de ancho de banda de 74 kb/s unidireccionales –equivalentes a aproximadamente 150kb/s bidireccionales. La comunicación fue en ambos sentidos (ida y vuelta) y no se usó ninguna técnica de supresión de silencios.

Telefonía IP se clasifica como Clase de QoS 0. Tiene como límite superior para los parámetros que determinan su QoS: IPTD, 100 ms; IPDV 50 ms; IPLR, 1%; e IPER, 0.001. Las mediciones se realizaron en cuatro escenarios, cada uno de ellos con un mayor requerimiento de capacidad de transmisión.

La tabla 13 y la figura 27 presentan los resultados obtenidos en las cuatro pruebas realizadas a esta aplicación. La primera, como una característica particular, no fue realizada en la red de pruebas, sino que se llevó a cabo en una red *Ethernet*. La red usada para esta prueba tiene topología estrella a 10/100 Mb/s, está compuesta por 3 PC y un *switch* simple de 8 puertos de nivel 2 con una separación máxima entre equipos de 2 metros, interconectados por cable UTP categoría 5e. La prueba se realizó con una sola llamada IP, y tenía como propósito obtener una medida de referencia, lo que era factible porque la *Ethernet* carecía de cualquier otro tipo de tráfico. En consecuencia, las medidas tomadas son ideales en un entorno de redes IP.

Al observar la sección de la tabla que corresponde a esta primera prueba, se nota que las medidas que corresponden a IPTD e IPDV son de tan solo 0.1185ms y 0.107ms, valores “insignificantes” frente al límite superior de la clase 0. Estos valores “tan bajos” se explican en la diferencia que existe entre el ancho de banda de la red (100 Mb/s) y el consumo de una llamada (150 kb/s), y en el hecho de que el elemento de conmutación de la red (*switch*, capa 2), esté disponible únicamente para el tráfico generado por esta llamada IP.

La segunda sección de la tabla presenta los resultados de las mediciones de parámetros de QoS correspondientes a una llamada IP tomada en la NGN de pruebas. Aunque los valores obtenidos para el IPTD (10.8085ms) e IPDV (1.224ms), son bastante mayores a los tomados en la medición an-

Parámetro	Límite Superior (LS)	Una (1) llamada IP en una red Ethernet (referencial)		Una (1) llamada en la red de pruebas		Dos (2) llamadas simultáneas en la red de pruebas		Cinco (5) llamadas simultáneas en la red de pruebas	
		Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)	Medición (M)	Diferencia (M vs LS)
IPTD	100ms	0.1185 ms	-99.8815 ms	10.8085 ms	-89.1915 ms	11.514 ms	-88.486 ms	110.344 ms	10.344 ms
IPDV	50 ms	0.107 ms	-49.893 ms	1,224 ms	-48.776 ms	1,897 ms	-48.103 ms	1,809 ms	-48.191
IPLR	1,00 %	0,00 %	-1,00 %	0,00 %	-1,00 %	0,00 %	-1,00 %	57,53 %	56,53%
IPER	0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001
Clase QoS	0	0	0	0	0	0	0	5	5

Tabla 13. Medidas de QoS para llamadas telefónicas IP

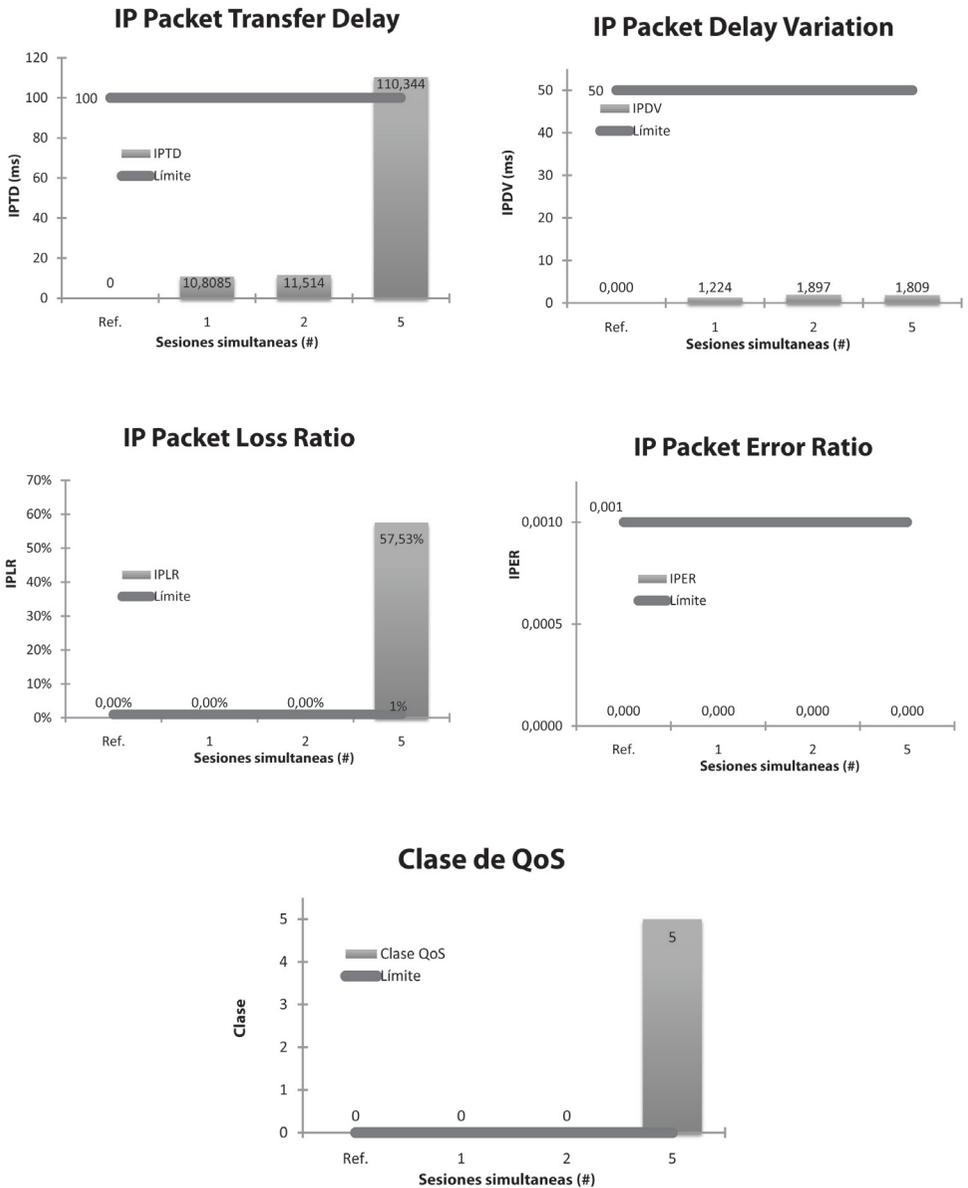


Figura 27. Medidas de QoS para llamadas telefónicas IP

terior, alrededor de 100 y 10 veces, respectivamente, siguen estando muy por debajo de los límites establecidos. Los otros dos parámetros evaluados, IPLR e IPER, no cambian de un escenario a otro. Los resultados, son altamente favorables, algo que obedece a una razón fundamental: El único tráfico existente en la red, al momento de la prueba, es esta llamada IP, la misma que, como se mencionó, tiene un consumo de ancho de banda de 150 kb/s, un valor muy inferior al ancho de banda de transmisión de la red de prueba, que es de 456 Kb/s. Adicionalmente, los equipos de conmutación están ocupados solo de este tráfico.

Las siguientes dos pruebas tienen una característica especial: se realizan con llamadas IP simultáneas. Dos y cinco, respectivamente. En el primer caso las llamadas simultáneas ocupan un ancho de banda de aproximadamente 300 kb/s, un valor que está por debajo del ancho de banda de 456 kb/s asignado a la red de pruebas. La transmisión, en consecuencia, está ocupando solamente alrededor del 65% del ancho de banda disponible. Si se compara el IPTD y el IPDV obtenidos en esta medición, con los presentados en el escenario anterior, de una llamada IP única, se encuentra que no hay mucha diferencia. La conclusión que surge de esta observación es que, en este tipo de redes, la variación en el valor de los parámetros de IPTD y IPDV no depende de la cantidad de llamadas simultáneas, sino de disponibilidad tanto de ancho de banda para la transmisión, como de equipos de conmutación para procesar y transmitir el tráfico de paquetes.

En escenario de cinco llamadas simultáneas la situación es diferente, porque su requerimiento, en conjunto, excede la capacidad que tiene la red para ofrecer la QoS adecuada (clase 0) para este servicio. Es decir, los recursos asignados para esta prueba en la red de acceso y distribución no son suficientes para soportarla. El ancho de banda asignado para la transmisión (456 kb/s) es superado por los aproximadamente 500kb/s que consumen las cinco llamadas simultáneas.

Como se aprecia en la gráfica, el indicador de retardo (IPLR) crece, en la medida en que aumenta el número de llamadas simultáneas, pero solo lo hace de manera brusca cuando la carga sobrepasa la capacidad de transmisión de la red de pruebas.

El valor obtenido para el parámetro de pérdida de paquetes, alrededor de 57%, es aún más elocuente, no solo por la gran distancia que lo separa de límite superior establecido por la normativa (1%), sino por lo que sig-

nifica en la práctica, que algo más de la mitad de los paquetes enviados en la transmisión se pierde y que, en consecuencia, la comunicación no es comprensible.

Así mismo, en la presentación gráfica de los resultados se aprecia cómo, en los primeros escenarios, en los que el requerimiento de ancho de banda es menor al ancho de banda asignado a la red de pruebas, la pérdida de paquetes es 0, mientras que en el escenario con 5 llamadas IP simultáneas, al superar el ancho de banda asignado a la red de pruebas, más de la mitad de los paquetes transmitidos, se pierden.

En esta prueba, el parámetro IPTD también sobrepasó el límite superior de 100ms establecido para la clase 0.

2.3. Tráfico interactivo

La aplicación evaluada fue el de juego en línea Quake3. Una sesión de Quake3 entre un PC y otro tiene un consumo de ancho de banda de 75 kb/s. La duración de cada una de las sesiones de Quake3 medidas fue de 3 minutos. Las mediciones se realizaron en cinco escenarios: el primero, con una sesión de juego única, los restantes, con dos, tres, cuatro y cinco sesiones de juego simultáneas, respectivamente. Los resultados de cada una de las cinco mediciones realizadas aparecen consignados en la tabla 14.

Quake3 se clasifica como Clase de QoS 2. Tiene como límite superior para los parámetros que determinan su QoS: IPTD, 100 ms; IPLR, 1%; e IPER, 0.001. No tiene un valor referencial establecido para el parámetro para IPDV, por lo que su medición, aunque se hace, es irrelevante para el propósito de este estudio.

En el primer caso, la conclusión es que la medición de QoS para una sesión del juego en red Quake3 con un ancho de banda de transmisión de 456 kb/s cumple perfectamente con los estándares internacionales de QoS para este tipo de servicio. En este escenario, el IPTD equivale a menos del 10% del límite superior y el resultado obtenido para los otros dos parámetros es óptimo.

Algo similar ocurre en el escenario con dos sesiones de juego simultáneas. Sus resultados, excepto el IPDV que no es relevante en este caso, son similares, por lo que cumple también con el estándar internacional de QoS para este tipo de servicio.

En los demás escenarios, la situación es diferente. Con tres, cuatro o cinco sesiones de juego en simultánea la red ya no ofrece la QoS indicada para los

Aplicación evaluada: Juego en línea - Quake3 (clase 2, interactivo)		Una (1) sesión de juego		Dos (2) sesiones de juego simultáneas		Tres (3) sesiones de juego simultáneas		Cuatro (4) sesiones de juego simultáneas		Cinco (5) sesiones de juego simultáneas	
		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)
Parámetro	Límite Superior (LS)										
IPTD	100ms	9,3085 ms	-90,6915 ms	10,4785 ms	-89,5215 ms	89,389 ms	-17,611 ms	84,467ms	-15,533 ms	84,762 ms	-15,238 ms
IPDV	Sin definir	1,064 ms	n.a.	1,928 ms	n.a.	2,475 ms	n.a.	2,105 ms	n.a.	1,83 ms	n.a.
IPLR	1,00 %	0,00 %	-1,00 %	0,00 %	-1,00 %	15,02%	14,02%	42,99%	41,99%	57,91%	56,91%
IPER	0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001
Clase QoS	2	0	-2	0	-2	5	3	5	3	5	3

Tabla 14. Medidas de QoS para sesiones de juego en línea

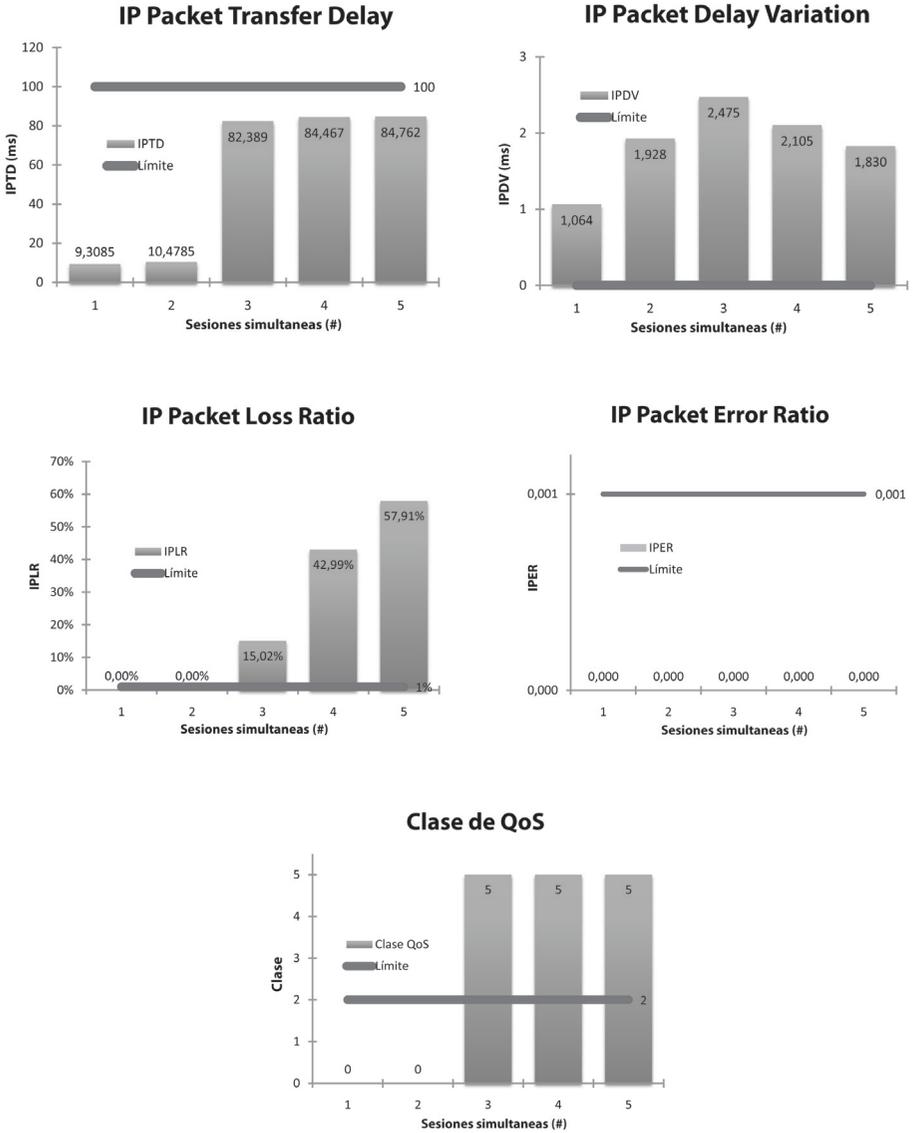


Figura 28. Medidas de QoS para sesiones de juego en línea

juegos clasificada como clase 2, y en cambio corresponde a una clase 5, lo que significa que hay una gran degradación en la QoS.

Las gráficas muestran el comportamiento de los parámetros que determinan la QoS en una NGN, en los cinco escenarios de prueba. Se aprecia el efecto negativo en la QoS del incremento de la cantidad de sesiones de juego simultáneas sobre la red de pruebas, lo que significa que dicha red no está en capacidad de proveer la QoS el juego en red necesita cuando se superan más de 2 sesiones de juegos simultáneas.

Como se aprecia en las gráficas, a partir de tres sesiones simultáneas, el indicador de retardo (IPTD), si bien no alcanza el límite superior, se incrementa de manera abrupta, y la pérdida de paquetes crece. El índice IPLR pasa de 0% a 15.02% y, a partir de ahí, crece de manera significativa, llegando a superar el 50%, es decir llegando a perder más de la mitad de los paquetes transmitidos.

Una multiplicación de la necesidad de ancho de banda de cada sesión de juego, por el número de sesiones, arroja un número ligeramente menor al ancho de banda disponible en el Red de Pruebas, lo que haría inexplicable la pérdida de paquetes (más aún, una pérdida tan elevada). La razón del valor obtenido en este indicador está en el *broadcast*. La demanda de ancho de banda no es lineal. Cada vez que se agrega un jugador, la tasa a la que demanda ancho de banda aumenta, porque es necesario actualizar el escenario de cada uno (con el efecto de lo hecho por los demás jugadores) constantemente.

Conclusiones

1. La medición de Calidad de Servicio en un Red de Próxima Generación se puede realizar, con base en los siguiente parámetros técnicos:

- IPTD (*IP Packet Transfer Delay*). Tiempo que toma el paquete en pasar por un componente de la red (*host, router* o sección de red).
- IPDV (*IP Packet Delay Variation*). Variación en el tiempo de retardo en la llegada de cada paquete (*jitter*).
- IPLR (*IP Packet Loss Ratio*). Tasa de pérdida de paquetes. Relación entre el total de paquetes perdidos y el total de paquetes transmitidos, en un flujo de datos determinado.
- IPER (*IP Packet Error Ratio*). Tasa de paquetes con errores. Relación entre el total de paquetes con errores y el total de paquetes sin errores, transmitidos en un flujo de datos determinado.

2. Cada uno de estos parámetros tiene un tipo de objetivo de calidad de funcionamiento. Su valor referencial (el que define al momento de la medida, si se ajusta o no a los parámetros de calidad), depende de la clase de QoS.

Parámetro de calidad de funcionamiento de red	Tipo de objetivo de calidad de funcionamiento.	Clases de QoS					
		0	1	2	3	4	5
IPTD	Límite superior en el IPTD medio	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1s	U
IPDV	Límite superior en el cuantil 1 – 10 ⁻³ de IPTD menos el IPTD mínimo	50 ms	50 ms	U	U	U	U
IPLR	Límite superior en la probabilidad de pérdida de paquetes	1 x 10 ⁻³ (nota 4)	1 x 10 ⁻³ (nota 4)	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³	U
IPER	Límite superior	1 x 10 ⁻⁴					U
Nota. "U" significa no especificado o sin límites.							

Tabla C1. Parámetros de calidad de funcionamiento, objetivos de calidad y valor referencial, según la Clase de QoS (4: 9)

3. Cada clase de QoS se relaciona con un tipo de tráfico. Cada tipo de tráfico, dependiendo de su Clase de QoS, tiene un límite superior establecido para los parámetros de medición de calidad de servicio citados.

Clase de QoS	Límite	Tipo de Tráfico
Clase 0	IPTD < 100ms IPDV < 50ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻⁴	Conversacional
Clase 1	IPTD < 400ms IPDV < 50ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻⁴	<i>Streaming</i>
Clase 2	IPTD < 100ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻⁴	Interactivo
Clase 3	IPTD < 400ms IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻⁴	
Clase 4	IPTD < 1s IPLR < 10 ⁻³ IPLR < 10 ⁻⁴	
Clase 5	Mejor esfuerzo	<i>Background</i>

Tabla C2. Relación entre Clases y Tipo de Tráfico (5)

4. Cada tipo de servicio, de acuerdo a su tipo de tráfico, tiene una clase de QoS, y sus parámetros para la medición de QoS unos límites particulares, así:

Servicio	Límite superior de parámetros de calidad de funcionamiento				Clase de QoS	Tipo de tráfico
Audio Digital	IPTD	IPDV	IPLR	IPER		
Telefonía	100ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	0	Conversacional
Difusión de audio	400ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	1	<i>Streaming</i>
Audio bajo demanda					1	<i>Streaming</i>
Video Digital						
Difusión de video	400ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	1	<i>Streaming</i>
Video bajo demanda	400ms	50ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	1	<i>Streaming</i>
Servicio Básico de Datos						
Difusión de datos	400ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2 y 4	Interactivo
Navegación	400ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2 y 4	Interactivo
Transferencia de archivos	400ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2 y 4	Interactivo
Servicio de valor añadido						
<i>e-games</i>	100ms	sin definir	1×10^{-3}	1×10^{-4}	2	Interactivo

Tabla C3. Clasificación de servicios para evaluar la QoS en una NGN (5)

5. En la práctica, es posible medir los parámetros para evaluación de QoS propuestos por las entidades internacionales de normalización, con un nivel de precisión aceptable. Es factible, además, hacerlo con software de dominio público (D-ITG), con un nivel de complejidad intermedio, lo que reduce al mínimo las barreras para su realización.

6. El proyecto estableció una metodología práctica para la medición de QoS en NGN, que puede replicarse. La metodología se basa en el uso de

D-ITG. Las medidas se realizan modelando tráfico, con base en información estadística proveniente de tráfico real, que se inyecta en la red, con el fin de realizar la medición sobre ese tráfico inyectado. Es particularmente importante la selección de los escenarios en los que se toma la información del tráfico real. Se recomienda hacerlo en condiciones de gran ocupación de la red (horas pico)

7. El establecimiento de la Red de Pruebas dentro de la NGN de Emcali, y la realización de los procesos de medición para los servicios seleccionados utilizando técnicas intrusivas, permite establecer que es factible realizar mediciones de QoS, con la red en servicio, sin que eso afecte su operación normal.

8. Se recomienda definir los procesos de medición y la configuración de las herramientas de forma estandarizada, para obtener resultados comparables.

9. Gracias al proceso de encapsulamiento descrito en el documento, la medición de QoS es factible aun cuando exista conmutación a nivel 2 por medio de VLANs.

10. Dado que la QoS ofrecida por la NGN depende del nivel de carga de la red, monitorear la QoS permite identificar oportunamente el momento en que inicia su deterioro, y aplicar correctivos.

Referencias bibliográficas

(1) Grupo redes NGN. Medición de calidad del servicio en redes de próxima generación (NGN) en Colombia, Entregables 1 a 4, Centro de Investigación de las Telecomunicaciones CINTEL. (2008)

(2) Unión Internacional de Telecomunicaciones / Sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). *Recomendación Y.1540 (12/2002), Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet - Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes de protocolo Internet.* (2002)

(3) International Telecommunications Union / Telecommunication Standardization Sector of ITU (ITU-T). *Recommendation Y.1540 (11/2007), Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters.* (2007)

(4) Unión Internacional de Telecomunicaciones / Sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). *Recomendación Y.1541 (02/2006), Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet.* (2006)

(5) European Telecommunications Standards Institute (ETSI) / Technical Committee Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN). *Technical Specification ETSI TS 185 001 V1.1.1 (2005-11), Next Generation Network (NGN) - Quality of Service (QoS) Framework and Requirements.* (2005)

(6) BELLIDO TRIANA, luís. *Contribución a las metodologías para la evaluación de la calidad del servicio en redes heterogéneas.* Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid. 2004.

(7) <http://www.protocoltesting.com/> (consultado en Julio de 2008)

(8) HUIDOBRO MOYA, José Manuel y MILLÁN TEJEDOR, Ramón Jesús. *Redes de datos y convergencia IP*, Alfaomega Grupo Editor (2007)

(9) <http://www.grid.unina.it/software/ITG/> (consultado en Julio de 2008)

- AGREDO MÉNDEZ, Guefry y GAVIRIA MOLANO, Jaime. *Evaluación experimental de la capacidad de IEEE 802.11b para soporte de VoIP*, Universidad del Cauca, Colombia. (2006)

- DÍAZ, Yony Fernando. *Estudio comparativo de las recomendaciones ITU-T G.107, P.862 y P.563 para evaluar la calidad de la voz en redes IP*. Universidad del Valle, Colombia. (2007)

- BOTTA, Alessio; DAINOTTI, Alberto y PESCAPÈ Antonio. *Multi-protocol and multi-platform traffic generation and measurement*, en: IEEE INFOCOM 2007, Demo Session. Mayo de 2007, Anchorage (Alaska, USA).



2010