



IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES QUE CAUSAN EL RETARDO EN
CAMBIO DE CANAL DEL SERVICIO DE IPTV PRÓXIMO A COMERCIALIZAR
SOBRE LA RED MULTISERVICIOS DE UN OPERADOR DE
TELECOMUNICACIONES Y MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE
CONTRIBUYEN AL MISMO

PROYECTO DE GRADO

INGENIERO ALBERTO CORREA CASTRILLÓN
INGENIERO ERNESTO LÓPEZ GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES
SANTIAGO DE CALI
2011**

IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES QUE CAUSAN EL RETARDO EN
CAMBIO DE CANAL DEL SERVICIO DE IPTV PRÓXIMO A COMERCIALIZAR
SOBRE LA RED MULTISERVICIOS DE UN OPERADOR DE
TELECOMUNICACIONES Y MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE
CONTRIBUYEN AL MISMO.

INGENIERO ALBERTO CORREA CASTRILLÓN
INGENIERO ERNESTO LÓPEZ GONZÁLEZ

Director de tesis: Andrés Navarro.

Universidad ICESI
Facultad de ingeniería
Maestría en Gestión de Informática y Telecomunicaciones
Santiago de Cali
2011

RESUMEN

En este documento se realizó la identificación y medición de las causas de retardo en el cambio de canal presente en el servicio de IPTV en la red de un Operador de Telecomunicaciones, detallando el comportamiento del *Stream Multicast* desde la premisa del usuario, tomando como referencia, el comportamiento del servicio sobre cinco de los seis anillos *Ethernet* que componen la topología de red del Operador.

Una vez detectadas las causas del retardo en el cambio de canal del servicio, se efectuó la clasificación de las técnicas usadas para reducir el retardo en dos grupos: técnicas basadas en la reducción del tiempo de sincronización del *Set-Top box* sin aumentar los dispositivos de red y técnicas basadas en la agregación de servidores de aceleración *Multicast*.

La estimación de la técnica como recomendación final para la red del Operador de Telecomunicaciones, se valoró tomando como métrica la situación real del operador tanto a nivel técnico como político-económico.

Índice general

Introducción.

Introducción	1
1. Definición y Características de la red de nueva generación NGN.	4
1.1. Características de la NGN.	4
1.1.1. Definición de una Red de próxima generación (NGN).	4
1.1.2. Características generales de una NGN.	4
1.2. Principios y modelo general de la NGN.	5
1.2.1. Estrato de servicio de las NGN.	6
1.2.2. Estrato de <i>Transporte</i> NGN.	6
1.3. Visión general de la arquitectura NGN.	7
1.3.1. Funciones de estrato de <i>Transporte</i>	7
1.3.2. Funciones del estrato de servicio.	8
1.4. Funciones <i>Multicast</i> en la arquitectura NGN.	9
1.4.1. Funciones de control de servicio <i>Multicast</i>	9
1.4.2. Funciones de control de aplicación <i>Multicast</i> y las funciones del soporte de servicio.	9
1.4.3. Funciones del control de <i>Transporte Multicast</i>	10
1.4.4. Funciones de <i>Transporte Multicast</i>	10
1.5. Topología NGN con otras redes.	10
2. Modelo y Arquitectura de la Red <i>Metro Ethernet</i>	12
2.1. Modelo de referencia y modelo de capa de red de la MEN.	12
2.2. Puntos de referencia de la MEN.	13
2.3. Componentes de la arquitectura MEN.	15
2.3.1. Componentes topológicos.	15
2.3.2. Componentes de <i>Transporte</i>	15
2.3.3. Componentes de procesamiento.	15
2.4. Atributos de servicio <i>Ethernet</i>	16
3. Protocolos <i>Multicast</i> para IPTV.	18
3.1. Aspectos fundamentales de IGMP V2.	18
3.2. Aspectos fundamentales de IGMP V3.	20
3.2.1. IGMP modo <i>Snooping & proxy</i>	22

3.3.	Arquitectura de <i>Transporte Multicast</i> .	23
3.3.1.	Arboles de distribución <i>Multicast</i> .	24
3.3.2.	Algoritmos de enrutamiento <i>Multicast</i> .	25
3.3.3.	Visión general de los protocolos de distribución <i>Multicast</i> .	28
4.	IPTV.	33
4.1.	Marco de arquitectura funcional de IPTV según ITU-T.	33
4.2.	Descripción de la arquitectura de IPTV.	35
4.2.1.	Funciones de usuario final (<i>End-User Functions</i>).	36
4.2.2.	Funciones de aplicación (<i>Application Functions</i>).	37
4.2.3.	Funciones de control de servicio (<i>Service Control Functions</i>).	38
4.2.4.	Funciones de entrega de contenido (<i>Content Delivery Functions</i>).	39
4.2.5.	Funciones de red (<i>Network Functions</i>).	40
4.2.6.	Funciones de Administración (<i>Management Functions</i>).	41
4.2.7.	Funciones de Proveedor de Contenido (<i>Content provider functions</i>).	41
4.3.	Codificación de video MPEG (<i>Motion Picture Expert Group</i>).	42
4.3.1.	Generalidades sobre MPEG-2.	42
4.3.2.	Generalidades sobre MPEG-4.	48
4.3.3.	Esquema jerárquico de codificación de MPEG-4.	49
4.3.4.	Flujos de <i>Transporte - Transport Streams (TS)</i> .	53
4.4.	Conclusiones.	54
5.	Fuentes de retraso en el cambio de canal en IPTV.	55
5.1.	Degradación de la señal percibida en el servicio de IPTV.	56
5.1.1.	Deterioros causados desde la fuente de emisión.	57
5.1.2.	Degradación de la señal desde la fuente hasta el usuario final.	60
5.2.	Perspectiva del usuario y de proveedor del servicio respecto al <i>Zapping</i> .	62
5.2.1.	QoS y QoE en el servicio de IPTV.	62
5.3.	Protocolo <i>Multicast</i> .	66
5.4.	Codificación de Video.	68
5.5.	Sincronización y protección de errores.	69
5.6.	Resumen del proceso.	71
5.7.	Conclusiones.	71
6.	Técnicas para la reducción de retardo en el cambio de canal.	73
6.1.	Comparativo entre tendencias actuales.	73

6.2.	Soluciones en Banda.....	74
6.2.1.	Cuadros I con mayor frecuencia pero menor calidad.....	74
6.2.2.	Sintonización del cambio de canal en el <i>Stream</i>	75
6.2.3.	Envío de canales adyacentes.....	76
6.2.4.	Control de la rata de transmisión del codificador.....	77
6.3.	Soluciones con servidores aceleradores.....	79
6.3.1.	Servidor de Comunidades Vecinas.....	79
6.3.2.	Flujo secundario de cambio de canal del servidor <i>proxy</i>	81
6.3.3.	Servidores de aceleración independientes (ICC).....	81
6.3.4.	Sintonización del cambio de canal a partir de servidores auxiliares...82	
6.4.	Conclusiones.....	84
7.	Planteamiento del esquema de pruebas.....	85
7.1.	Parámetros de Prueba.....	85
7.1.1.	Parámetros relacionados con pérdida de paquetes.....	86
7.1.2.	Parámetros relacionados con el retraso.....	86
7.1.3.	Parámetros relacionados con el acceso a la comunicación.....	87
7.2.	Resultados preliminares del servicio de IPTV del Operador.....	89
7.2.1.	Prueba de Conexión 4Mbps con red sin carga.....	90
7.2.2.	Prueba de conexión de 2,5Mbps con red con carga.....	91
7.2.3.	Prueba de conexión de 2,5Mbps con red con carga + navegación....93	
7.3.	Conclusiones.....	94
8.	Propuesta para EL OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES.....	95
8.1.	Estado actual de la red NGN del Operador.....	95
8.2.	Estado actual del componente de IPTV.....	96
8.2.1.	Generalidades.....	96
8.2.2.	Topología lógica de la Red IPTV.....	98
8.3.	Selección de la(s) propuesta(s) final para El Operador de Telecomunicaciones.....	100
8.3.1.	Solución ideal adoptando todas las recomendaciones.....	101
8.4.	Solución real planteada para el Operador de Telecomunicaciones.....	103
8.4.1.	Pruebas del servicio de IPTV del Operador.....	105
8.5.	Análisis de resultados y Recomendación final.....	110
	Bibliografía.....	112

Índice de figuras

Figura 1. Planos horizontal y vertical de los estratos de servicios y <i>Transporte</i> NGN (UIT-T Y.2001 - Visión general de las redes de próxima generación, 2004):	.5
Figura 2. Modelo funcional general de la red NGN (UIT-T Y.110 - Information Infrastructure principles and framework architecture, 1998).	6
Figura 3. Visión general de la arquitectura NGN (UIT-T Y.2012 - Requisitos y arquitectura funcional de las redes de la próxima generación, 2006).	8
Figura 4. Arquitectura <i>Multicast</i> general para una red NGN.	9
Figura 5. Redes de acceso y red de <i>Core</i> NGN.	10
Figura 6. División en subdominios de tráfico en la capa de <i>Transporte</i> .	11
Figura 7. Modelo básico de red MEN.	12
Figura 8. Modelo de capa de red MEN.	13
Figura 9. Interfaces externas y puntos de red asociados.	14
Figura 10. Conexiones del EVC: a) punto a punto, b) Multipunto a Multipunto.	16
Figura 11. Formato de mensajes IGMP.	18
Figura 12. Proceso de abandono de grupo IGMPv2.	19
Figura 13. Mensaje " <i>Membership Report</i> " IGMPv3.	21
Figura 14. IGMP modo <i>proxy</i> .	23
Figura 15. Árbol de distribución <i>Multicast</i> .	24
Figura 16. Tipos de distribución lógica: a) árbol fuente, b) árbol compartido.	25
Figura 17. Modo de operación del algoritmo RPF.	26
Figura 18. Construcción de un árbol basado en CBT.	27
Figura 19. Transmisión de paquetes <i>Multicast</i> sobre un árbol basado en CBT.	27
Figura 20. Protocolo DVMRP: <i>Router</i> abandona un grupo y adhesión de <i>host</i> .	30
Figura 21. Marco de referencia de arquitectura funcional ITU-T IPTV (IPTV FocusGroup Proceedings 2008, 2008).	34
Figura 22. Ampliación del marco de arquitectura funcional de ITU-T IPTV (IPTV FocusGroup Proceedings 2008, 2008).	36
Figura 23. Pila de protocolos para Difusión video digital con IP.	42
Figura 24. Diagrama de un GOP en una secuencia de video MPEG-2 (Technische Hochschule Mittelhessen).	44
Figura 25. Representación básica de un macro bloque.	44
Figura 26. Esquema de 4 capas dentro de un flujo de bits de video GOP (ISO/IEC 14496 Part 10: Advanced Video Coding, 2010).	45
Figura 27. Composición de un GOP: cuadros I, P, B (MPEG-4 Natural Video Coding - An overview, 2000).	45
Figura 28. Esquema de codificación de cuadros I (Technische Hochschule Mittelhessen).	46
Figura 29. Esquema de codificación de cuadros P.	47
Figura 30. Esquema de codificación de cuadros B (Technische Hochschule Mittelhessen).	48
Figura 31. Esquema general de cambios respecto a MPEG-2.	48
Figura 32. Composición de una escena en MPEG-4 (Overview of the MPEG-4 Standard, 2001).	49

Figura 33. Esquema Jerárquico de codificación de MPEG-4 (MPEG-4 Natural Video Coding - An overview, 2000).	50
Figura 34. Ejemplo de Composición del video a través de las distintas capas en MPEG-4. Multiplexacion de Objetos de video y planos [34].	51
Figura 35. Ejemplo de codificación/decodificación de video en MPEG-4 (MPEG-4 Natural Video Coding - An overview, 2000).	51
Figura 36. Composición de video a través de Sprites (Overview of the MPEG-4 Standard, 2001).	52
Figura 37. Codificación de Luma en modo cuadro y en modo campo (A Unified Approach for Repairing Packet Loss and Accelerating Channel Changes in Multicast IPTV, 2009).	53
Figura 38. Diagrama de decodificación de canal a través de TS (Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems, 2000).	53
Figura 39. Esquema general de interacción IGMP para un cliente de IPTV (Agilent N2X Testing IPTV Channel Zapping, 2005).	55
Figura 40. Sistema de entrega de video <i>Streaming</i> para servicio de IPTV (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006).	57
Figura 41. Deterioros en la señal percibida por el usuario (ITS).	59
Figura 42. Efecto de la “ventana sucia” (Image and video compression for multimedia engineering, 2008).	59
Figura 43. Ejemplo de una transferencia de paquete IP (Y.1540, Internet protocol data communication service IP Packet transfer and availability performance parameters, 2002).	60
Figura 44. Retardo en transferencia de un paquete IP (Y.1540, Internet protocol data communication service IP Packet transfer and availability performance parameters, 2002).	61
Figura 45. Relación entre QoE y QoS (ITU-T G.1080; Quality of experience requirements for IPTV services, December 2008).	63
Figura 46. Proceso ingeniería QoE a partir de datos objetivos (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006).	64
Figura 47. Modelo típico de red para distribución <i>Multicast</i> sobre xDSL (Agilent N2X Testing IPTV Channel Zapping, 2005).	66
Figura 48. Interacción básica de IGMP para cambiar de canal 1 al canal 2 (IXIA Communications).	67
Figura 49. GOP en la codificación MPEG-2 y MPEG-4 (An Effective Channel Control Algorithm for Integrated IPTV Services Over DOCSIS CATV Networks, 2007).	68
Figura 50. Protocolos para la transmisión de contenidos en IPTV (An Implementation of the Broadband Home Gateway supporting Multi-Channel IPTV Service, 2006).	70
Figura 51. Protocolos para la transmisión <i>Multicast</i> (lado operador) (An Implementation of the Broadband Home Gateway supporting Multi-Channel IPTV Service, 2006).	70
Figura 52. Esquema distribución <i>Multicast</i> usando con xDSL en el acceso.	74

Figura 53. Esquema de inserción de tramas I de baja calidad (Fast Efficient Channel Change, 2005).	75
Figura 54. Sintonización en el <i>Stream</i> : a) baja resolución y b) alta resolución.	76
Figura 55. Envío de canales adyacentes para acelerar el cambio de canal.	77
Figura 56. Control la rata de transmisión del codificador fuente (Fuzzy Joint Encoding and Statistical Multiplexing of Multiple Video Sources with Independent Quality of Services for Streaming over DVB-H, 2007).	78
Figura 57. Esquema básico de red con servidores de comunidades vecinas.	80
Figura 58. Técnica de <i>Stream</i> secundario de cambio de canal (Multicast Instant Channel Change in IPTV Systems, 2008).	81
Figura 59. Esquema básico de la técnica ICC (A Unified Approach for Repairing Packet Loss and Accelerating Channel Changes in Multicast IPTV, 2009).	82
Figura 60. Esquema general de la técnica a partir de servidores <i>Multicast</i> (Optimizing channel change time in IPTV applications, 2008).	83
Figura 61. Efecto del cambio de pertenencia de un grupo de interés (ITU-T Y.1544; Multicast IP performance parameters, 2008).	86
Figura 62. Esquema físico de la prueba de IPTV DEL OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES (ITU-T Y.1900-series – Supplement on IPTV service use cases., 2008).	89
Figura 63. Estado de línea del usuario probado para 4Mbps.	90
Figura 64. Consumos de ancho de banda y pérdidas de paquetes para 4Mbps. ..	91
Figura 65. Zap time y PCR obtenido para 4Mbps.	91
Figura 66. Estado de línea del usuario probado para 2,5Mbps.	92
Figura 67. Anchos de banda y pérdidas de paquetes para 2,5Mbps.	92
Figura 68. Zap time y PCR obtenido para 2,5Mbps.	92
Figura 69. Anchos de banda y pérdidas de paquetes para 2,5Mbps.	93
Figura 70. Zap time y PCR obtenido para 2,5Mbps con carga y navegación.	93
Figura 71. Topología física de la red del Operador.	96
Figura 72. Esquema del servicio IPTV del Operador ajustados a ITU-T YSup5 (ITU-T Y.1900-series – Supplement on IPTV service use cases., 2008).	97
Figura 73. Esquema de operación de la red de IPTV del Operador E.I.C.E E.S.P.	97
Figura 74. Dispositivo STB ZXV10B600	98
Figura 75. Entrada del Servicio del Operador	98
Figura 76. El <i>Router Multicast</i> se encuentra en el <i>Core</i> de la red.	99
Figura 77. Distribución de <i>VLAN's</i> para el servicio IPTV en El Operador de Telecomunicaciones.	99
Figura 78. Conexión lógica del contenido de IPTV hacia plataforma de servicios.	100
Figura 79. Red ideal para distribución de IPTV <i>Multicast</i> para EL OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES.	102
Figura 80. Desarrollo de una solicitud de cambio de canal.	103
Figura 81. Solución real para el Operador de Telecomunicaciones.	105
Figura 82. Esquema básico de pruebas.	106
Figura 83. Comportamiento obtenido para las pruebas sin carga.	106
Figura 84. Comportamiento obtenido para las pruebas con carga.	107

Figura 85. Canal <i>Multicast</i> con defectos de emisión desde la fuente.	107
Figura 86. Comparación con la distribución normal para los flujos de prueba realizados.....	108
Figura 87. Tiempo de cambio de canal diferenciado por canal.	109
Figura 88. Tiempo de cambio de canal diferenciado por sitio de prueba.	109
Figura 89. Resultados de PCR <i>Jitter</i> entregados por el dispositivo de prueba. ...	110

Índice de tablas

Tabla 1. Campos básicos de la trama IGMP (O’Driscoll, 2008).	19
Tabla 2. Formato interno de un registro de grupo.	21
Tabla 3. Requerimientos mínimos para emisiones en formato SD.....	64
Tabla 4. Requerimientos mínimos para emisiones en formato HD.	65
Tabla 5. Requerimientos mínimos de desempeño para emisión VoD.	66
Tabla 6. Parámetros medidos por el dispositivo de pruebas.	90

Introducción

Se plantea identificar y describir el problema del retardo en el cambio de canal en IPTV, para el operador de telecomunicaciones, que cuenta con una red Multiservicios NGN, y se soporta en la norma (Rec. UIT-T Y.2011) adicionalmente se usa las descripciones de las normas UIT-T Y.2011 y 2012, las fichas técnicas dadas por el fabricante ZTE Corp. al operador de telecomunicaciones para una breve descripción de los Equipos y de su funcionamiento en la red Multiservicios del Operador.

El proyecto se enfoca en determinar las causas del retardo en el cambio de canal en IPTV y analizar las técnicas actuales para disminuir el mismo, aplicando estos conceptos a un planteamiento de solución a dicho problema en la distribución de contenido IPTV del operador de telecomunicaciones. Es por esto que se hace importante recalcar la situación de la red del Operador durante la gestión de sus redes de paquetes, la cual ha ido cambiando en el tiempo: a mediados de los años 90's la empresa culminó su proceso de digitalización en todas sus centrales telefónicas analógicas (*PSTN*) digitalizando completamente la etapa de abonado que antes era de tipo semi-electrónica, de forma paralela inicia dos proyectos para la interconexión de usuarios a redes de datos utilizando la plataforma de cobre existente (*RDSI* y *MULTINET*).

Con la tecnología *RDSI* (Red Digital de Servicios Integrados) el operador de telecomunicaciones digitaliza el lado usuario de las redes *PSTN* aprovechando la capacidad de los enlaces PCM. Se presenta en dos tipos de acceso, el acceso *BRI* (*Basic Rate Interface*) que consiste en dos canales B de 64 Kbps y un canal de Señalización de 16 Kbps, y el acceso *PRI* (*Primary Rate Interface*) que consiste en 30 canales B de 64 Kbps y un canal D para señalización de 64 Kbps. Con esta tecnología se presenta el primer acercamiento al usuario común, por medio del acceso *BRI*, a una red integrada utilizando el mismo medio de acceso, es decir, voz, datos y video todo al mismo tiempo y utilizando una sola tecnología; con el acceso *PRI* las empresas tienen una extensión de la central telefónica en sus sedes y tienen la capacidad de manejar 30 canales hacia el usuario, siendo los grandes beneficiados con este acceso los ISP quienes ya podían implementar Servidores de Acceso Remoto con una mayor capacidad y con la facilidad de atender usuarios de tipo digital (*BRI*) y de tipo análogo, así el operador de telecomunicaciones inicia su incursión en el mundo de los ISP y de la Red de Redes (Internet), paralelo a esto incursiona en el mundo *xDSL*. Con la Red *MULTINET*, el operador de telecomunicaciones en asocio con otras empresas publicas inicia el montaje de una red multi-protocolo basada en la plataforma *NORTEL*, y que viene a satisfacer una necesidad creciente de las empresas de

tener redes privadas para el *Transporte* de su información en el ámbito local y nacional. MULTINET ofrece velocidades desde 19.2 Kbps hasta 2Mbps utilizando una red de paquetes que en el *Transporte* de la red de acceso usa tecnología *Frame Relay* y en el *Transporte* de la red de núcleo o *BackBone* usa tecnología *ATM*. Paralelo a estos cambios con el rápido desarrollo de la tecnología, la globalización, el crecimiento exponencial de Internet, los nuevos ISP y los nuevos servicios y aplicaciones en donde el usuario busca cada vez más participación, hizo que los hábitos de las personas en general y de las empresas cambiaran su forma de acceder a la información buscando cada vez medios más rápidos y sobre todo más baratos, generando investigaciones en el mundo donde aparecen las tecnologías *xDSL*, el operador de telecomunicaciones hace frente a dichos cambios e incursiona en el mundo *xDSL*. Hacemos referencia a *xDSL* por que el operador de telecomunicaciones ya usaba *HDSL* para el *Transporte* en el acceso a los servicios de MULTINET y en los enlaces PRI y E1, el nuevo problema que enfrenta el operador de telecomunicaciones es el de brindar acceso al usuario a velocidades mayores que las que ofrecía *RDSI BRI* (128Kbps) en la infraestructura del cobre que actualmente se tiene y a un precio mucho menor que los de la red MULTINET, como respuesta aparece el ADSL del operador de telecomunicaciones con 900 puertos ADSL distribuidos en el Sur , Centro y Norte de Cali, esta tecnología, más los cambios en los esquemas tarifarios de la telefonía convencional, la masificación mundial de tecnologías de *VoIP*, los altos costos de las llamadas internacionales, la disminución de clientes por la competencia de telefonía móvil y la tecnología de acceso vía cable obliga al operador de telecomunicaciones a diversificar los servicios y a buscar un sistema que permita la integración de todas las plataformas que el operador de telecomunicaciones posee y que no son plenamente compatibles entre sí. Por todas estas razones nace la Red NGN del Operador (Red Muti-Servicios); con la nueva tecnología el operador de telecomunicaciones pasa de ser una empresa de telefonía a una empresa Multiservicios en donde la telefonía pasa a ser uno de los componentes de la Red al igual que los diferentes accesos, nace una nueva filosofía de empresa “las redes basadas en paquetes con todo el potencial del protocolo IP a nuestra disposición”

La Plataforma de Servicios Unificados, introducida por ZTE, un proveedor de soluciones de telecomunicaciones líder en China, está basada en NGN y orientada a una plataforma de 3G. Con esta plataforma se busca una migración transparente hacia una infraestructura *Ethernet* y MPLS mientras se continúa utilizando las redes *legacy ATM* y *Frame Relay* existentes dentro de la ciudad de Cali.

1. Definición y Características de la red de nueva generación NGN.

Con la finalidad de describir las características fundamentales de una red de nueva generación, de aquí en adelante NGN por sus siglas en inglés *New Generation Net*, en este capítulo se tomó como referencia las recomendaciones técnicas emitidas por el grupo Y del Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T), con el fin de reseñar sus principios básicos de funcionalidad e interoperabilidad con otras redes, siendo este último, el caso puntual del servicio de televisión sobre redes IP, tratado en los capítulos siguientes.

1.1. Características de la NGN.

Según la ITU-T, una NGN está definida por los siguientes términos (UIT-T Y.2001 - Visión general de las redes de próxima generación, 2004):

1.1.1. Definición de una Red de próxima generación (NGN).

Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de *Transporte* de banda ancha propiciadas por la QoS, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el *Transporte*. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios.

1.1.2. Características generales de una NGN.

Respecto a las características fundamentales de una NGN, están definidas como:

- Transferencia basada en paquetes.
- Separación de las funciones del control del *Transporte* y del servicio.
- Desarrollo de servicios a través de interfaces abiertas.
- Soporte de un amplio rango de servicios y aplicaciones, tanto en tiempo real como en tiempo no real, *Streaming* y multimedios.
- Capacidad de banda ancha con QoS extremo a extremo.
- Trabajo integrado con redes precedentes (PSTN/ISDN y otras) a través interfaces abiertas.
- Movilidad generalizada, tanto de usuarios como de dispositivos a través de diferentes tecnologías de acceso sin interrupción del servicio.
- Acceso de los usuarios a servicios ofrecidos por diferentes proveedores.
- Variedad en los esquemas de identificación de usuarios y dispositivos.
- Trabajo con un mismo perfil de servicio para un usuario en toda la red.

- Convergencia de los servicios fijos y móviles.
- Independencia de las funciones de un servicio de las tecnologías de *Transporte* subyacentes.
- Soporte para múltiples tecnologías de última milla.
- Cumplimiento de todos los requisitos reguladores (comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal de contenidos y otros).

1.2. Principios y modelo general de la NGN.

Respecto a las principios generales de la NGN, la arquitectura de red cuenta con dos tipos de estratos: un estrato de servicio y otro estrato de *Transporte* (UIT-T Y.2011 - Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación, 2004), las cuales se conciben separadas, permitiendo su evolución y desarrollo de forma independiente una de la otra. En lo que respecta al control de políticas, medios, sesiones, recursos, etc. estos se prestan a través de entidades funcionales, que permiten la cobertura sobre toda la red (pensado para infraestructura nueva y existente). Dichas entidades se comunican a través de pasarelas (elementos hardware de la infraestructura de la red) cuando están distanciadas físicamente. En la figura 1, se representa la descomposición vertical y horizontal de dicha relación.

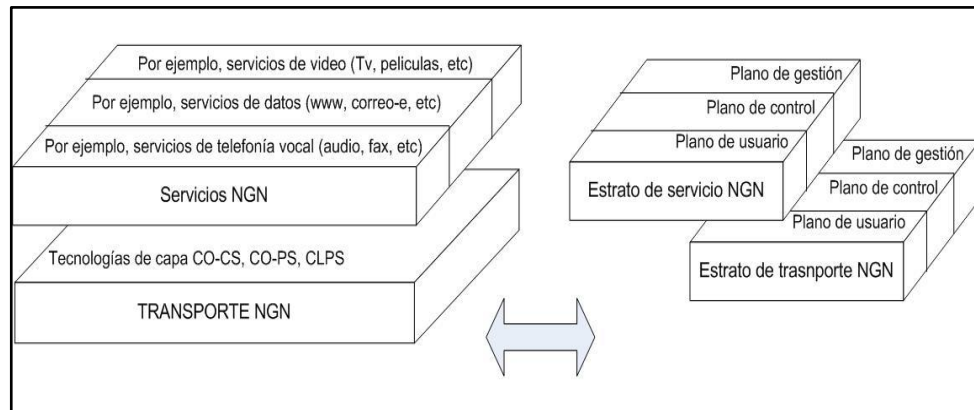


Figura 1. Planos horizontal y vertical de los estratos de servicios y *Transporte* NGN (UIT-T Y.2001 - Visión general de las redes de próxima generación, 2004):

El estrato de *Transporte* cumple las funciones de conectividad entre usuarios, conectividad entre el usuario y la plataforma de servicios, y conectividad entre plataformas de servicio. La plataforma de servicios prestan servicios entre usuarios o grupos de ellos, esta plataforma puede estar o no distribuida físicamente. Cada una de ellas, a su vez, está compuesta por unos planos de datos, control y gestión. "Cada estrato contiene las funciones para transferir datos, controlar el funcionamiento de las entidades que intervienen en la transferencia de

esos datos, y para gestionar entidades dentro del estrato". Según la recomendación ITU-T Y.2011, los estratos de servicio y *Transporte* de la NGN se definen como:

1.2.1. Estrato de servicio de las NGN.

Parte de la NGN que proporciona las funciones de usuario que transfieren los datos relacionados con el servicio y las funciones que controlan y gestionan los recursos de servicio y los servicios de red y que hacen posible los servicios y aplicaciones de usuario.

1.2.2. Estrato de *Transporte* NGN.

Parte de la NGN que proporciona las funciones de usuario que transfieren datos y las funciones que controlan y gestionan los recursos de *Transporte* que *Transportan* dichos datos entre entidades terminales.

El modelo funcional general está basado en la independencia entre las funciones y Servicios que posee la arquitectura NGN, dado que una función puede prestar uno o más tipos de servicios. El modelo abarca la agrupación de funciones en dos clasificaciones: el primero contiene todas las funciones de control y el segundo, todas las funciones de gestión. El modelo permite la agrupación de funciones del mismo tipo, para establecer relaciones dentro de un mismo grupo, así como flujos de información entre funciones del mismo grupo. En la figura 2 se describe el modelo funcional general.

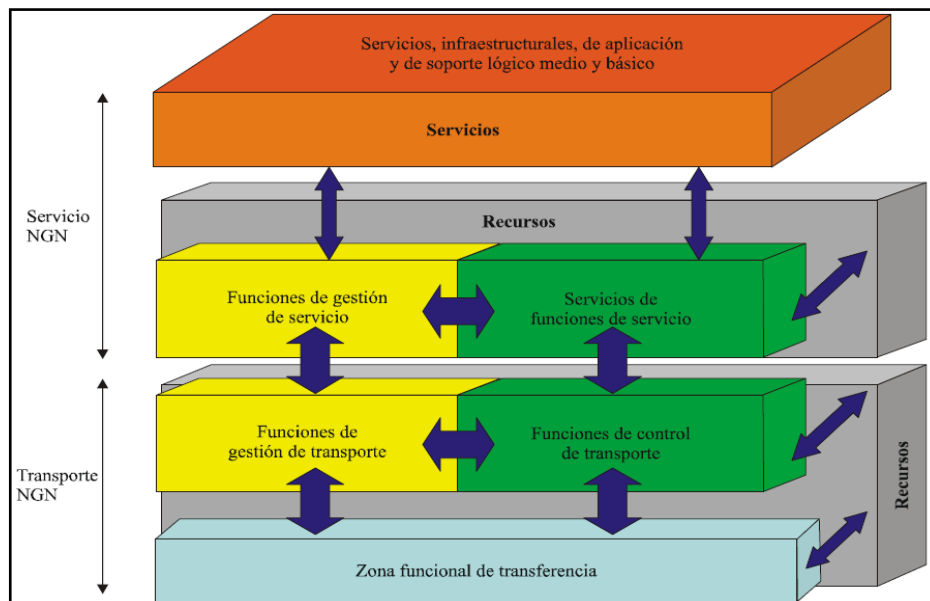


Figura 2. Modelo funcional general de la red NGN (UIT-T Y.110 - Information Infrastructure principles and framework architecture, 1998).

Es de observar que en la figura 2, los recursos apoyan los distintos tipos de funciones presentes en el modelo (funciones que generan servicios), dichos recursos pueden ser elementos físicos (*hardware*), elementos lógicos (enlaces, procedimientos, etc.), elementos de *Transporte* (equipos de comunicación: enrutadores, conmutadores, enlaces de transmisión, etc.). De igual manera, el conjunto de funciones y recursos dan soporte a la capa superior de aplicaciones.

1.3. Visión general de la arquitectura NGN.

Las configuraciones de red juegan un papel importante en lo que respecta a los servicios y movilidad que debe soportar la NGN ante los distintos tipos de tecnologías y redes con las cuales debe converger, de tal manera que la NGN debe brindar el reemplazo de la RTPC/RDSI (red telefónica pública conmutada/red digital de servicios integrados), nuevos servicios de telecomunicaciones y la interacción entre estos últimos y la RTPC/RDSI, en la figura 3 se observa la visión general de la arquitectura NGN. Esta arquitectura presenta una visión en la cual los distintos tipos de aplicaciones ofrecidas son gestionadas a través de funciones, los cuales a su vez, se agrupan en funciones de estrato y funciones de servicio. Estas funciones de los soportan tareas específicas tales como: funciones de control de servicio, funciones de soporte, funciones de *Transporte*, etc. El punto de referencia de la NGN (desde el punto de vista de las aplicaciones) la interfaz ANI (*Application Network Interface*) provee el medio para interactuar con otras aplicaciones y elementos de la NGN, la interfaz NNI (*Network to Network interface*) provee el medio para interactuar con otras redes y la interfaz UNI (*Network User Interface*) quien provee el medio para que la NGN interactúe con el cliente de red.

1.3.1. Funciones de estrato de *Transporte*.

Este estrato alberga funciones de *Transporte* y funciones de control de *Transporte*. A continuación se reseña brevemente cada una de ellas.

Funciones de *Transporte*:

- Funciones de red de acceso: encargada del acceso de usuarios externos a la red, recolección y agrupación de tráfico de dichos usuarios hacia la red de *Core* (medular o de núcleo), sus sub funciones van de acuerdo al medio de acceso de la red (fibra óptica, cobre, inalámbrica, etc.).
- Funciones de borde: procesa medios y tráfico, el cual puede provenir de diferentes redes de acceso.
- Funciones de *Transporte* de *Core* (medular): garantiza el *Transporte* de información a través de la red de núcleo, proporcionando medios para discernir la calidad del *Transporte* ejecutado.

- Funciones de pasarela: permite la iteración e integración con otras redes y/o usuarios.
- Funciones de procesamiento de medios: permite procesar los recursos de medios para la prestación del servicio.

Funciones de control de *Transporte*:

- Funciones de control de recursos y admisiones: funciones que arbitran las funciones del control de servicio y de *Transporte*.
- Funciones de control de conexión de red: proporcionan registro en el nivel de acceso e inicialización de funciones de usuario de extremo a extremo a fin de acceder a los servicios de las NGN.

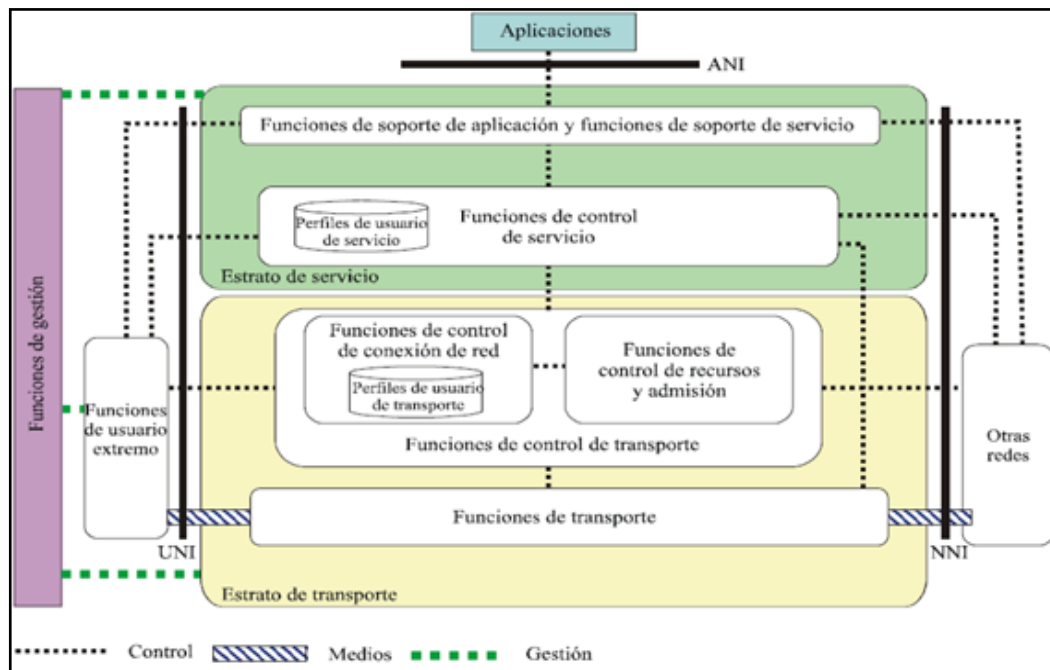


Figura 3. Visión general de la arquitectura NGN (UIT-T Y.2012 - Requisitos y arquitectura funcional de las redes de la próxima generación, 2006).

1.3.2. Funciones del estrato de servicio.

- Funciones de control de servicio: dentro de este grupo se encuentran las funciones de control de recursos, registro y autorización, autenticación en el nivel de servicio, para servicios mediados y no mediados.
- Funciones de soporte de aplicación y funciones de soporte de servicio: estas funciones colaboran con las funciones de control de servicio para prestar los servicios NGN solicitados por usuarios y/o aplicaciones.

1.4. Funciones *Multicast* en la arquitectura NGN.

Tomando como referencia la figura 3 (Visión general de la arquitectura NGN) y la recomendación Y.2017, la cual describe las funciones *Multicast* en dicha arquitectura, tales funciones se hallan definidas a partir de sus correspondientes estratos de servicio y de *Transporte*: las funciones del estrato de servicio soportan las funciones del usuario final, mientras que las funciones del estrato de *Transporte* proveen el envío de datos de servicios *Multicast* basados en funciones de usuario final usando mecanismos *Multicast* proporcionados por la NGN.

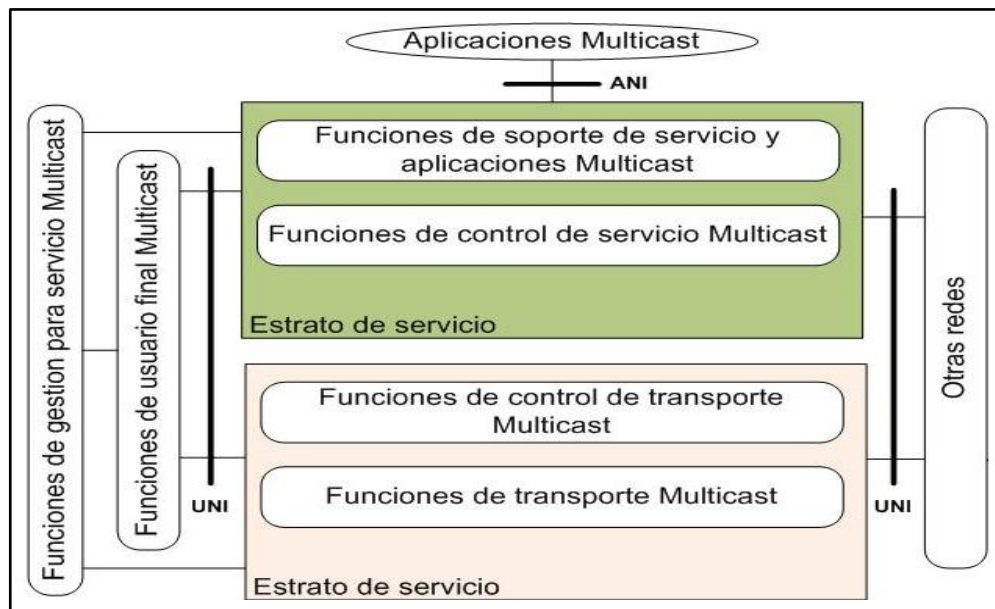


Figura 4. Arquitectura *Multicast* general para una red NGN.

Las funciones del estrato de servicio involucran:

1.4.1. Funciones de control de servicio *Multicast*.

Dentro de este conjunto global de funciones se encuentra: funciones de control de sesión, funciones del servicio del perfil de usuario, funciones del servicio de autorización y autenticación, funciones de envío confiable de de datos *Multicast*, funciones de servidor *Multicast* de carga compartida, funciones del servicio de anuncio (SAP, HTTP, SDP, EPG, etc.)

1.4.2. Funciones de control de aplicación *Multicast* y las funciones del soporte de servicio.

Este conjunto de funciones incluye: *Gateway*, registración, funciones de autenticación y autorización en el nivel de aplicación. Este tipo de funciones se

caracterizan por incluir capacidades para soportar varios servicios NGN *Multicast* tales como IPTV, DMB (*digital multimedia Broadcasting*), *e-learning*, etc.

Las funciones del estrato de *Transporte* involucran:

1.4.3. Funciones del control de *Transporte Multicast*.

Este conjunto de funciones involucra las funciones de control de admisión y recursos, funciones de control de redes adjuntas (grupos *Multicast*); las cuales se encuentran detalladas en (UIT-T Y.2111 - Recursos y funciones de control de admisión en redes de próxima generación, 2006) y (UIT-T Y.2014 - Funciones de control de redes adjuntas en redes de próxima generación, 2006).

1.4.4. Funciones de *Transporte Multicast*.

Las funciones de *Transporte* para capacidades *Multicast*, comprenden mecanismos para el envío de servicios basados en *Multicast* a los usuarios: funciones de *Transporte* para el acceso de paquetes, funciones de *Core* para el *Transporte* de paquetes, funciones de replicación *Multicast* (desde la red de acceso hacia los usuarios finales).

1.5. Topología NGN con otras redes.

Considerando los servicios heredados de la red telefónica pública conmutada (RTPC) y los prominentes servicios que ofrece la NGN, este último debe integrar múltiples configuraciones de red y diversas formas de acceso que interactúen con la diversidad de redes actuales. En este entorno, la topología de red NGN se presenta como una red de *Core* (medular) que usa las redes externas como red de acceso para servicios comunes soportados. La figura 6 describe la red NGN como *Core* de las redes de acceso externo.

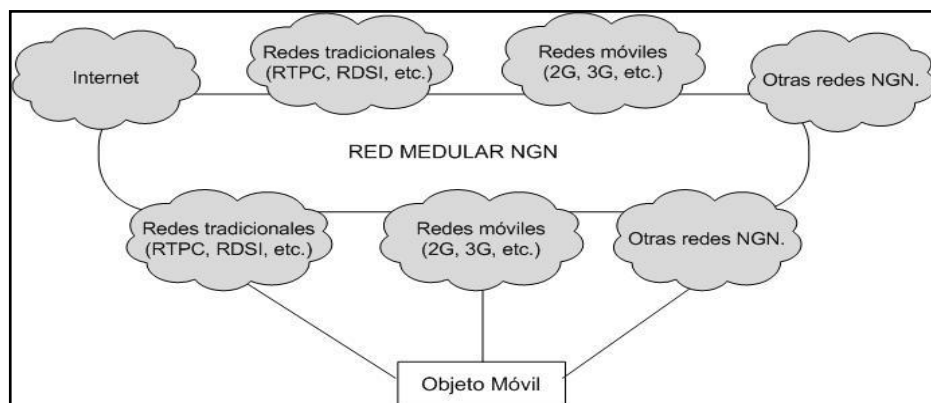


Figura 5. Redes de acceso y red de *Core* NGN.

Es posible segmentar la capa de *Transporte* de tal manera que el tráfico se distribuya en diversos subdominios para efectos de establecer y/o cumplir políticas, servicios y aplicaciones específicos en cada uno de dichos segmentos. En la figura 6, se observa que el nodo 1 segmenta el tráfico en dos subdominios: un segmento de tráfico está dirigido hacia el nodo 3, el cual maneja tráfico web que no itera en tiempo real, el nodo 2 por el contrario, subdivide el tráfico en dos segmentos: en voz sobre IP (servidor 3) y televisión por internet IPTV (servidor 2); es de observar que el tráfico que llega a los servidores 2 y 3 es previamente procesado obteniendo un reenvío basado en políticas del próximo salto.

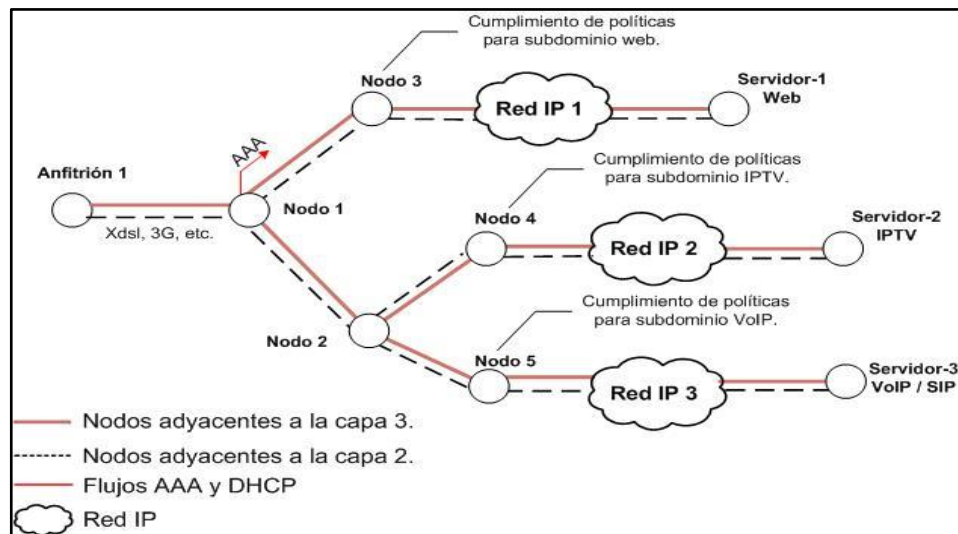


Figura 6. División en subdominios de tráfico en la capa de *Transporte*.

Después de identificar los aspectos generales de la NGN en lo concerniente a su topología, estratificación de la capa de servicio y *Transporte*, funciones de gestión y control; el capítulo siguiente se enfocara en las formas de interconexión entre subredes del mismo operador y otras externas al mismo, en pro de compartir o extender sus servicios, tales como los servicios multimedia.

2. Modelo y Arquitectura de la Red *Metro Ethernet*.

A continuación se describe arquitectura de la red *Metro Ethernet* (MEN) conforme al marco arquitectónico genérico usado por (MEF) el cual connota el diseño de alto nivel necesario para modelar diversos componentes presentes en la arquitectura de un servicio MEN (capa de *Transporte* y la capa de aplicación), proporcionando un modelo general que describe componentes internos y externos de la arquitectura, interacciones entre componentes arquitectónicos de una MEN respecto a sus interfaces y sus puntos de referencia asociados.

2.1. Modelo de referencia y modelo de capa de red de la MEN.

El modelo básico de referencia de red de una MEN se muestra en la figura 7. Los principales componentes funcionales de este modelo son el suscriptor y la infraestructura pública de *Transporte* MEN. El punto T hace referencia a la frontera entre la interfaz del usuario (UNI) y la infraestructura pública de la red MEN.

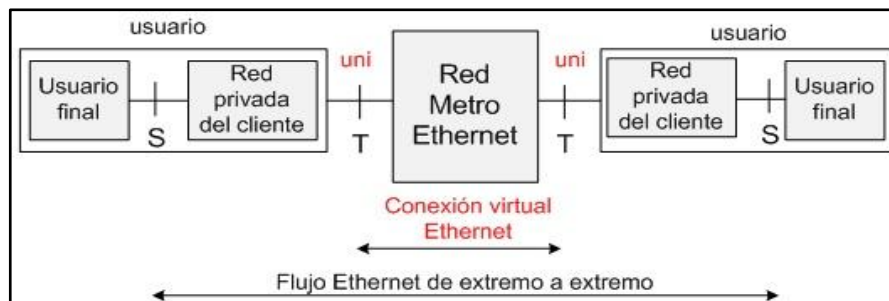


Figura 7. Modelo básico de red MEN.

El punto S hace referencia a la frontera conceptual entre los equipos de la red privada, cuando existe, y al equipo terminal del usuario final (generador del flujo de tramas *Ethernet*). En caso de no existir una infraestructura privada de red entre el equipo terminal del suscriptor y el equipo de la red MEN, conceptualmente, los puntos de referencia S y T serían uno solo. La conexión *Ethernet* virtual (EVC) es la parte de la arquitectura que permite la asociación puntos de referencia UNI con el objetivo de establecer flujos *Ethernet* entre múltiples suscriptores de la MEN.

El modelo de la capa de red está basado en una relación cliente/servidor (ITU-T G.809 - Arquitectura funcional de las redes de capa sin conexión, 2003) (dos elementos genéricos funcionales necesarios en el proceso de adaptar una señal para *Transportar* a través de un servidor de capa de red, y generar un flujo/conexión rastreable a través de la capa de red). El modelo de capa de red ha definido a la MEN en términos de tres componentes: servicios de *Transporte*, servicios *Ethernet* y servicios de aplicación. Cada una de estas capas posee tres planos: datos, control y gestión. Detalles de información característica,

componentes topológicos y elementos funcionales se encuentran en (MEN Architecture Framework Part 2: Ethernet Services Layer, April 2005).

La capa de servicios *Ethernet* es la responsable de las peticiones de servicios de conectividad *MAC* orientados a conexión y el envío de tramas de servicio presentados a través de interfaces internas y externas bien definidas y puntos de referencia asociados. También de todos los aspectos relacionados con los flujos *MAC*: operación, administración, mantenimiento y capacidades de aprovisionamiento necesarios para apoyar estos servicios de conectividad *Ethernet*.

La capa de servicios de *Transporte* es la responsable de permitir la conectividad entre elementos de la capa funcional *Ethernet* en un servicio, independiente de la tecnología de *Transporte* usada para realizar dicha operación: IEEE 802.3 PHY, IEEE 802.1, SONET/SDH, ATM VC, OTN ODUk, PDH DS1/E1, MPLS LSP, etc.

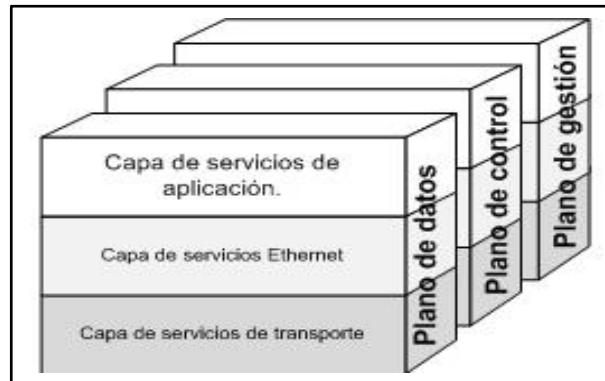


Figura 8. Modelo de capa de red MEN.

La capa de servicios de aplicación es responsable de soportar las aplicaciones manejadas sobre los servicios básicos de *Ethernet* a través de la MEN. Esta capa también puede incluir funciones adicionales para complementar los servicios de la capa *Ethernet*. Cada aplicación de la capa de servicios puede soportar uno o más capas de aplicación de servicios, lo cual permite que este modelo pueda ser aplicado recursivamente hacia arriba en la pila de red de la capa de aplicación.

2.2. Puntos de referencia de la MEN.

Los puntos de referencia son empleados para limitar las fronteras administrativas donde un enlace traspasa interfaces abiertas especificadas por el MEF. La MEN puede usar esquemas de *Transporte* no basados en *Ethernet* y los elementos de servicio como componentes internos de la arquitectura, al punto de poderlos integrar en un solo elemento red, NE. En la figura 9, se describen las interfaces externas y los puntos de referencia asociados.

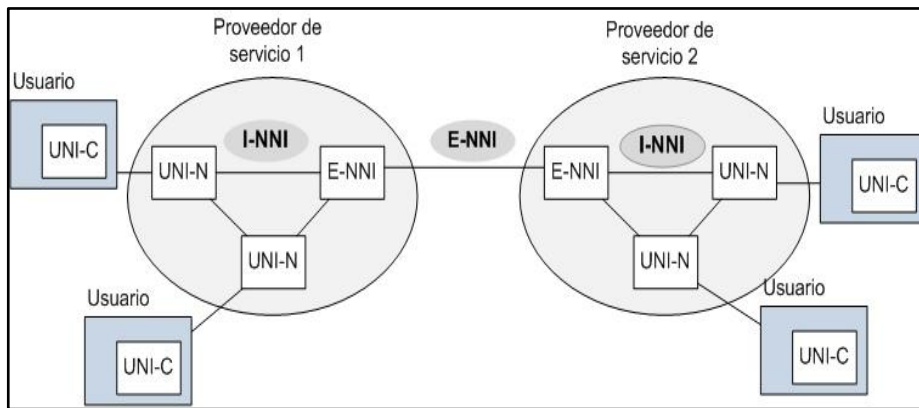


Figura 9. Interfaces externas y puntos de red asociados.

A continuación se describen las interfaces relacionadas:

- Interfaz UNI (interfaz de usuario de red): interfaz usada para interconectar a un suscriptor con la MEN.
- Interfaz UNI-C (cliente): componente arquitectónico que representa todas las funciones requeridas para conectar un suscriptor a la MEN. Tales funciones son responsabilidad del lado cliente y no necesariamente deben ser gestionadas por el operador de la MEN.
- Interfaz UNI-N (red): componente arquitectónico de la MEN que representa todas las funciones requeridas para conectar la MEN con uno de sus suscriptores. Desde el punto de vista del suscriptor, la interfaz UNI-N soporta un conjunto de funciones necesarias para intercambiar datos, el plano de gestión e información, con la MEN.
- Interfaz externa red a red (E-NNI): es una interfaz abierta usada para interconectar dos redes MEN proveedoras de servicios, provee un punto de referencia para los equipos de red y la demarcación de servicios *Ethernet* entre dos redes MEN directamente conectadas.
- Interface interna red a red (I-NNI): interfaz abierta usada para interconectar elementos de red (NE) desde una determinada MEN. El Término I-NNI es usado para hacer referencia a los protocolos de conmutación que existe entre este punto de referencia y los elementos arquitecturales en cada una de las MEN's que soportan las funciones de esta interface.

2.3. Componentes de la arquitectura MEN.

Basados en (MEF 4, MEN Architecture Framework - Part 1: Generic Framework., May 2004), a continuación se resumen los principales componentes de la arquitectura, los cuales están agrupados en tres grupos: a) componentes topológicos, b) componentes de *Transporte*, c) componentes de procesamiento. Los dos primeros representan la conectividad de la estructura, mientras que el último representa, sistemas abstractos que inciden en la transferencia de la información.

2.3.1. Componentes topológicos.

Este tipo de componentes provee alto nivel de abstracción para la descripción de un componente arquitectural de una red de *Transporte*, dentro de este grupo se encuentran: la capa de red (grupo de puertos lógicos o físicos del mismo tipo, que tienen como propósito de transferir información), subred, tipos de enlace y grupos de acceso.

2.3.2. Componentes de *Transporte*.

Los componentes de *Transporte*, o entidades, proporciona los medios para afectar la transferencia de información entre los puntos de referencia, dentro de estos se encuentran: conexión (entidad que representa la agregación de uno o más unidades de conexión orientadas al tráfico con un elemento común de enrutamiento), puntos de conexión, trayectos, puntos de terminación de trayecto y puntos de acceso.

2.3.3. Componentes de procesamiento.

Estos componentes representan modelos lógicos de un conjunto de funciones, los cuales actúan sobre un conjunto particular de datos de entrada, para producir un conjunto específico de datos de salida. Estos componentes funcionales están implícitos en la manera en que se transfiere la información, sobre algún punto de referencia de la arquitectura MEN.

Las recomendaciones en (ITU-T G.809 - Arquitectura funcional de las redes de capa sin conexión, 2003) se han definido tres elementos genéricos funcionales requeridos para el proceso de adaptar una señal cliente para *Transportarla* a través de un servidor de capa de red y generar un flujo/conexión trazable a través de la capa de red:

- Función de adaptación: una función del procesamiento de *Transporte* que convierte el trayecto de información del servidor de la capa de red en información característica de la capa de red del cliente (y viceversa).

- Función de terminación: una función del procesamiento de *Transporte* la cual acepta la información característica adaptada de la capa de red del cliente en su entrada, añade información que permite al trayecto asociado ser monitoreado (si lo soporta) y presentar la información característica en su salida(s) (y viceversa).
- Función de conexión: función del procesamiento de *Transporte* que transfiere información (potencialmente transparente) desde cierta entrada hacia una o más salidas.

2.4. Atributos de servicio *Ethernet*.

El protocolo de capa física (IEEE Std 802.3ae – 2002, Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Oper, 13 June 2002) y los atributos concebidos desde el punto de vista del equipo de acceso del usuario¹ son reseñados en (MEF 10, Ethernet Services Attributes Phase 1, November 2004), necesarios para interactuar con la red. Como se muestra en la figura 1, la MEN y el usuario intercambian tramas *Ethernet* a través de una interfaz UNI, la conexión entre diversas UNI's (entre varios usuarios), se realiza a partir de una conexión *Ethernet* Virtual EVC². Este tipo de conexiones se puede realizar en dos formas básicas: punto a punto y multipunto a multipunto, según se observa en la figura 4.

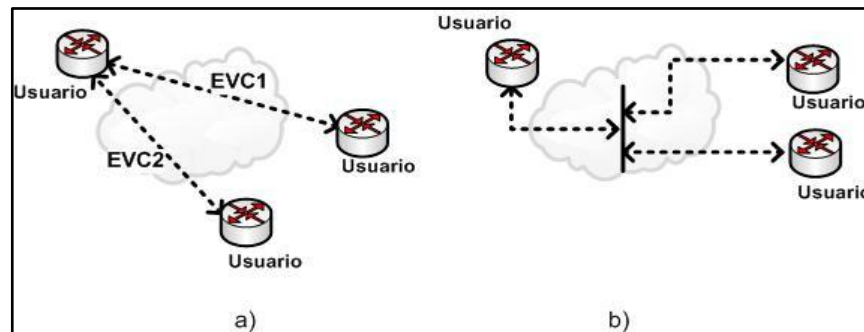


Figura 10. Conexiones del EVC: a) punto a punto, b) Multipunto a Multipunto.

En lo concerniente a los atributos del servicio de envío de tramas³ estos pueden ser efectuados en modo Unicast, *Broadcast* o *Multicast*. La conceptualización de las *VLAN*'s y los atributos de servicio tales como Multiplexación, identificación de *VLAN* para cada CE (*CE-VLAN ID*) y el respectivo servicio de mapeo de los

¹ También conocido como equipo *Customer Edge*(CE).

² Por sus siglas en ingles *Ethernet Virtual Connection*.

³ También conocido como Servicio de tramas, *Service Frame*.

clientes sobre la red, se detallan en (MEF 10, Ethernet Services Attributes Phase 1, November 2004). Respecto a los atributos de preservación del servicio, tales como QoS, estos son implementados a partir de redes virtuales tipo *VLAN* (IEEE Std 802.1Q – 2001, Virtual Bridged Local Area Networks- Amendment 2: VLAN Classification by Protocol and Port, 07 August 2002).

Una vez identificados las interfaces fundamentales de una MEN, la forma de interactuar con otras redes a partir de su modelo de capa de red, atributos de servicio y sus respectivos métodos de envío de tramas; en el capítulo 3 se describirá los protocolos y los detalles de la arquitectura de *Transporte* necesarios para distribuciones de contenido *Multicast* sobre la red.

3. Protocolos *Multicast* para IPTV

Una forma eficiente para transmitir contenido audiovisual desde la fuente hacia los diferentes destinos, radica en realizar agrupaciones de estos según el contenido deseado, es decir, agrupaciones *Multicast*. Estas agrupaciones hacen necesario que dichas transmisiones se realice a partir de sistemas de enrutamiento dinámico, dada la naturaleza dinámica de los grupos ya mencionados. En este capítulo se examinara el protocolo de enrutamiento IGMP (*Internet Group Multicast Protocol*) en sus versiones dos y tres, y también se describirán los algoritmos y protocolos necesarios para realizar una transmisión desde el proveedor de contenido hasta el usuario final o grupo de usuarios finales, lo que supone la estructura de una transmisión *Multicast*.

3.1. Aspectos fundamentales de IGMP V2.

El término “Grupo *Multicast*” se refiere a la agrupación de *hosts* que en cierto instante hacen uso de un contenido común (generalmente televisivo) provisto por la red de telecomunicaciones. Los grupos *Multicast* poseen carácter dinámico, dado el continuo cambio entre canales de que ejecuta el usuario, cada vez que así lo desea. A nivel de red la gestión de estos grupos es realizada por el protocolo IGMP (Internet Group Management Protocol). El protocolo IGMPv2 (RFC-2236, Internet Group Management Protocol, Version 2, November 1997) es usado por los *hosts* para unirse o retirarse de un grupo *Multicast* a través de mensajes IGMP enviados al *Router* más cercano (local), quienes monitorean periódicamente estos mensajes, con la finalidad de actualizar sus tablas de enrutamiento y así detectar los *hosts* que continúan asociados a dichos agrupaciones. El *Router* local, periódicamente envía mensajes de consulta al segmento de red donde se localiza el *host(s)* para determinar grupos activos o inactivos dentro del mismo. La estructura de mensajes IGMP se muestra en figura 11, sus campos en la tabla 1.

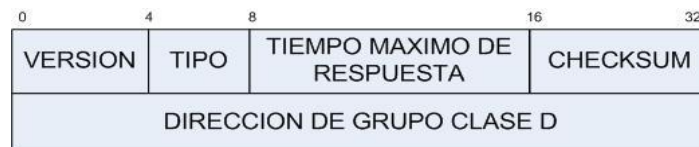


Figura 11. Formato de mensajes IGMP.

Cada vez que el usuario sintoniza un canal, el *Set-Top box* (STB) envía dos mensajes al equipo de acceso a la red (O’Driscoll, 2008) (por ejemplo: un *Dslam*, Switch de agregación, etc.): mensaje de abandono y mensaje acceso a otro grupo *Multicast*.

<i>Versión</i>	Versión del protocolo usada (1, 2 y 3) siendo la versión 2 la más extendida.
<i>Tipo</i>	<p>0x11 = Mensaje de solicitud de consulta a un grupo "<i>Membership Query</i>", enviado por el <i>Router</i> hacia los <i>hosts</i> para determinar a qué grupo <i>Multicast</i> están asociados.</p> <p>0x12 = Mensaje de reporte de solicitud de adhesión a un grupo "<i>Membership Report</i>", enviado por el <i>host</i> cuando desea acceder a un grupo <i>Multicast</i> específico.</p> <p>0x16 = Mensaje de abandono de grupo "<i>Leave Group</i>", enviado por el <i>host</i> al <i>Router</i> para informar el abandono de un grupo <i>Multicast</i>. Una vez que el <i>Router</i> recibe este mensaje, detiene el proceso de copiado de paquetes <i>Multicast</i>, lo cual permite tener disponibilidad de ancho de banda (desde el <i>Router</i>) para otras transmisiones.</p>
<i>Tiempo máximo de respuesta</i>	Este campo especifica el tiempo máximo para el envío de un mensaje entre el <i>Router</i> y los <i>Host</i> (mensajes <i>Query</i>) y su valor es medida en decimas de segundos.
<i>Checksum</i>	Campo dedicado a proteger la integridad de los datos y comprobación de errores, dado que el protocolo no soporta retransmisiones, al estar encapsulado sobre datagramas UDP.
<i>Dirección de grupo.</i>	Varia conforme al destino, para el caso de un mensaje de consulta (<i>Query</i>) este campo está compuesto por ceros, mientras que en el caso de un mensaje de abandono de grupo (<i>Leave</i>) o reporte de consulta (<i>Report</i>) este campo posee la dirección IP destino.

Tabla 1. Campos básicos de la trama IGMP (O'Driscoll, 2008).

En la figura 12 se muestra el mensaje de abandono de grupo el cual inicia una vez que el usuario da la orden de cambiar el canal, en el STB (desde control remoto):

- a) El STB emite un mensaje de abandono "*Leave*" de grupo o canal, el cual es emitido a todos los *Routers Multicast* cercanos al segmento de red. Dicho mensaje contiene la dirección IP del grupo o canal a abandonar.
- b) El *Router* emite dos mensajes de consulta específica "*Query*" al grupo para determinar si existe algún *host* interesado en el contenido (*Stream*) de dicho grupo. En caso de que ningún *host* de dicho grupo responda a este mensaje, el *Router* borra de su tabla de enrutamiento la dirección IP del *host* y deja de enviarle tráfico (replicación de paquetes *Multicast*).

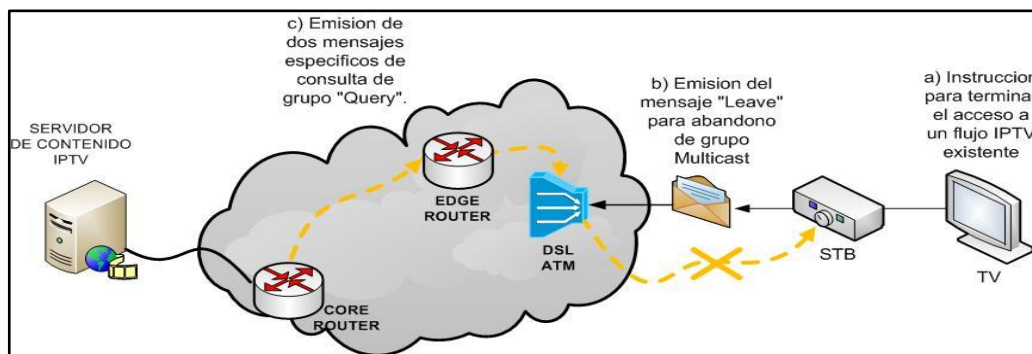


Figura 12. Proceso de abandono de grupo IGMPv2.

Cuando el usuario (generando una orden desde el control remoto del STB) abandona el canal actual y sintoniza otro, ocurre el siguiente proceso:

- a) El STB apunta hacia la dirección IP del grupo *Multicast* del canal (*Broadcast*) requerido.

- b) El protocolo IP comienza a recibir un flujo de tráfico *Multicast* proveniente de un servidor o plataforma de contenido.
- c) El *host* envía un mensaje “*Membership Report*” al *Router* local indicándole que está escuchando tráfico *Multicast* desde una dirección IP específica (canal *Broadcast* de televisión).

Cuando el usuario (generando una orden desde el control remoto del STB) abandona el canal actual y sintoniza otro, ocurre el siguiente proceso:

- a) El STB apunta hacia la dirección IP del grupo *Multicast* del canal (*Broadcast*) requerido.
- b) El protocolo IP comienza a recibir un flujo de tráfico *Multicast* proveniente de un servidor o plataforma de contenido.
- c) El *host* envía un mensaje “*Membership Report*” al *Router* local indicándole que está escuchando tráfico *Multicast* desde una dirección IP específica (canal *Broadcast* de televisión).

3.2. Aspectos fundamentales de IGMP V3.

El protocolo IGMPv2 maneja el enfoque ASM (RFC 3569, An Overview of Source-Specific Multicast (SSM), July 2003) (Any Source *Multicast*) para la transmisión de contenido *Multicast* sobre los grupos gestionados, es decir que un STB escuchara el tráfico *Multicast* del canal deseado, y adicionalmente todo el tráfico del grupo *Multicast*. La última versión del protocolo, IGMPv3, posee las siguientes características:

- Fuente específica de *Multicast* (Source Specific *Multicast* - SSM -): Este enfoque le permite al STB especificar la dirección IP Unicast del canal de contenido y la dirección IP del grupo *Multicast*, evitando de esta manera, que el *host* escuche todo el tráfico del grupo *Multicast* al cual desea asociarse (filtrado de fuente), este aspecto, agrega una componente de seguridad para el cliente dado que le permite al cliente recibir contenido de una única fuente conocida y certificada.
- Formato mejorado del mensaje “*Membership Report*”: El mensaje fue optimizado para el responder al proceso de adhesión y abandono (*Join & Leave*) de grupos *Multicast* (principalmente contenido televisivo), repuesta de mensajes “*Query*” hacia *Routers* e informar el estado de la recepción *Multicast*. La estructura de estos mensajes se muestra en la figura 13.

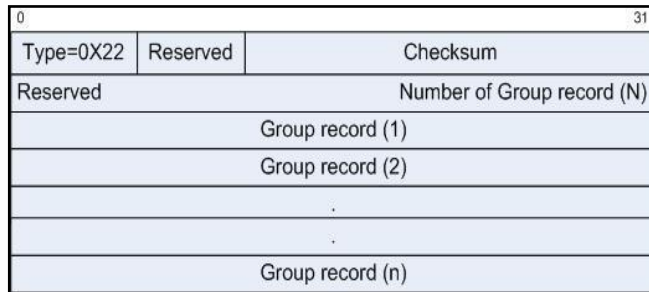


Figura 13. Mensaje “Membership Report” IGMPv3.

En este caso, los mensajes contienen uno o más registros de contenidos, diseñados para informar al *Router* el conjunto de acciones a tomar, por ejemplo para el cambio de canal: un registro informaría sobre el abandono del canal actual, y el segundo tendría información concerniente al próximo canal a sintonizar. En la tabla 2 se indica el formato de los registros para este tipo de mensajes.

<i>Record Type</i>	Hay tres tipos de registros usados por IGMPv3: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Current-State Record (CSR)</i>: responde a <i>Query</i>'s particulares y provee información al <i>Router</i> sobre el estado de la recepción de un STB particular. • <i>Filter-Mode-Change Record (FMCR)</i>: se envía cuando cambia el modo de filtrado de la interface del STB (<i>Include mode</i> o <i>exclude mode</i>). • <i>Source-List-Change Record (SLCR)</i>: Este registro se activa cuando la lista de contenido de la fuente cambia. La información de este registro puede incluir una lista de nuevos canales de IPTV que el dispositivo de acceso desea oír o una lista de secuencias de vídeo que el dispositivo ya no desea procesar.
<i>Aux data length</i>	Contiene datos de la cantidad de registros auxiliares disponibles en el registro.
<i>Number of sources (N)</i>	Cifra de la cantidad de direcciones IP proveedoras de contenido (fuentes)
<i>Multicast address</i>	Dirección <i>Multicast</i> del canal de televisión especificado.
<i>Source address [N]</i>	Serie de direcciones Unicast que identifican la ubicación de varios canales de IPTV.
<i>Auxiliary data</i>	Usado para almacenar información concerniente al registro de grupo, este campo generalmente no es usado.

Tabla 2. Formato interno de un registro de grupo.

A través de SSM (*Source Specific Multicast*) el *host* puede señalar un *Router* específico a través del cual podrá recibir tráfico *Multicast* desde una fuente (servidor de contenido) esperado. Esta cualidad permite al *Router* enviar tráfico solo desde fuentes escogidas por el cliente (*Host*); en tal caso, el *host* tiene dos opciones para filtrar tráfico (Minoli, 2008):

- Modo *INCLUDE*: el *host* anuncia la pertenencia a un grupo y provee una lista de direcciones IP desde las cuales permite/desea recibir tráfico.
- Modo *EXCLUDE*: el *host* anuncia la pertenencia a un grupo y provee una lista de direcciones IP desde las cuales no permite/desea recibir tráfico, lo cual indica que desea recibir tráfico solo desde fuentes cuyas direcciones IP no aparezcan en la lista de exclusión.

Esta capacidad de filtrado en el *host* del cliente ha ocasionado que el mensaje “Membership Query” sea modificado y en su última versión posea tres variantes de este mensaje:

- “General Query”: enviado por el *Router* local para determinar el estado de recepción sus interfaces vecinas (otros *Routers* o *Switch* capa 3).
- “Group-Specific Query”: enviado por el *Router* local para determinar el estado de recepción de sus interfaces vecinas respecto a una dirección *Multicast* única.
- “Group-and-Source-Specific Query”: enviado por el *Router* local para determinar si alguna interfaz vecina desea recibir paquetes enviados por una dirección *Multicast* especificada desde alguna lista especificada de fuentes *Multicast*.

3.2.1. IGMP modo *Snooping* & *proxy*

El método usado por los *Switchs* encargados de propagar paquetes *Multicast* a través de segmentos de red LAN hasta un grupo *Multicast*, donde se halla un cliente, consiste en la reproducción y envío de un mismo paquete (proveniente de un servidor de contenido) a través de todas las interfaces de red habilitadas (*host* clientes). Este mecanismo posee la desventaja de enviar el mismo contenido (tráfico) a uno o varios miembros del segmento de red que incluso no hayan realizado peticiones (ante el *Router*) de dicho contenido, lo cual se podría interpretar como una “inundación” de paquetes *Multicast* no solicitados, afectando el ancho de banda del segmento de red del *host* cliente.

En la modalidad de IGMP *Snooping* (RFC4541, Considerations for Internet Group Management Protocol (IGMP) and Multicast Listener Discovery (MLD) Snooping Switches, May 2006) El equipo de última milla (generalmente un *Switch* o *Dslam*) presente entre el *host* cliente y el *Router* (local) está en la capacidad de detectar los mensajes “Membership Report” y “Leave Group”, emitidos por el *host* cliente, los cuales almacena en una tabla de enrutamiento (listando direcciones *Multicast* origen y destino), realizando filtrado de tráfico *Multicast* entrante al *host* cliente; esta modalidad de filtrado garantiza la eficiencia del ancho de banda en los segmentos de la red de acceso. Aun que IGMP *Snooping* no se encuentra actualmente establecido como una recomendación emitida por algún organismo regulatorio, se han establecido las siguientes reglas para la aplicación de dicha funcionalidad en sección de control y secciones de datos, a continuación de muestra un resumen de las mismas.

En la modalidad de IGMP *proxy* (O’Driscoll, 2008), en este caso el *Dslam*, sea visto por todos los STB como un *Router Multicast*, hacia el cual enviarán todos sus

mensajes tipo “*Membership Report*” y “*Leave Group*”. Cuando la funcionalidad *IGMP Proxy* es habilitada, este asume las siguientes responsabilidades:

- Cuando lo requiere el *Router* local, *IGMP proxy* le envía mensajes “*Membership Report*”.
- Envía un conjunto de reportes no “solicitados” de adhesión en nombre de los STB para unirse a ciertos grupos *Multicast*.
- Envía flujos de canales solicitados hacia el STB y sube información hacia el *Router* desde el STB.
- Se encarga de enviar un mensaje “*Membership Report*” al grupo *Multicast* cuando el último del STB conectado a las interfaces del *Dslam* abandona el grupo.

De esta manera, cuando es habilitada la funcionalidad *IGMP proxy* (sobre un *Dslam* por ejemplo), este actúa como un servidor *IGMP* para la descarga de tráfico *Multicast* (en el caso de los STB) y como un cliente que envía tráfico (mensajes *IGMP* provenientes de los STB) hasta los *Routers* de borde. En la figura 14 se muestra la ubicación lógica de la funcionalidad *IGMP proxy*.

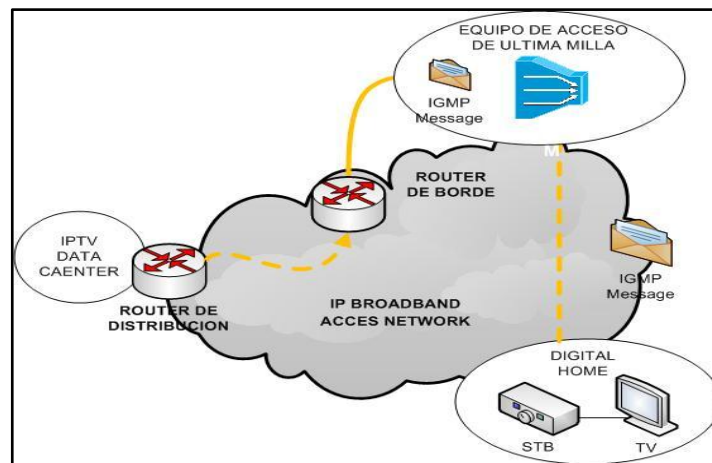


Figura 14. IGMP modo *proxy*.

3.3. Arquitectura de *Transporte Multicast*.

En la arquitectura de *Transporte Multicast* se aborda el tema del envío de paquetes *Multicast* de forma eficiente, desde la fuente(s) hasta cada uno de los diversos segmentos de red compuestos por cada uno de los miembros de un grupo. Tal procedimiento hace necesario la gestión de dichos grupos *Multicast* a

partir del protocolo IGMP, el cual fue presentado anteriormente, a si como del uso de mecanismos de enrutamiento adecuados para construir y mantener las rutas de entrega (arboles) de contenido *Multicast*. En la figura 15 se describe el planteamiento de dichos mecanismos en forma jerarquizada.

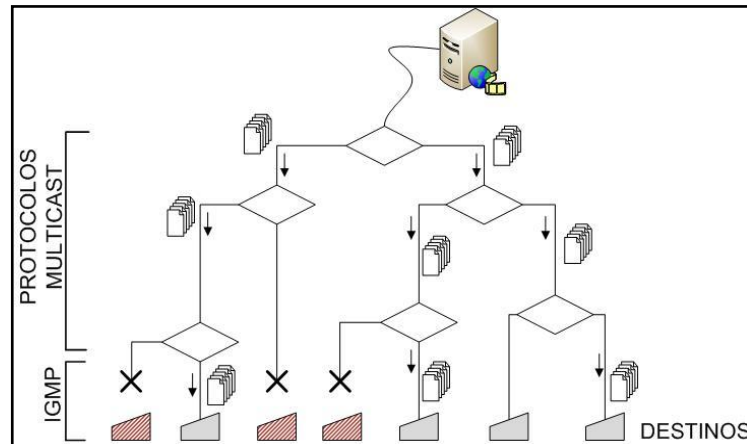


Figura 15. Árbol de distribución *Multicast*.

El envío de tráfico *Multicast* a través de una infraestructura IP y la extensión de dichas redes generalmente depende de dispositivos de enrutamiento con capacidad de multidifusión que estén en capacidad de soportar los siguientes mecanismos: (i) la capacidad de construir arboles distribución, (ii) soporte de protocolos de enrutamiento *Multicast* y (iii) técnicas de reenvío *Multicast*.

3.3.1. Arboles de distribución *Multicast*.

Se entiende por árbol de distribución, la capacidad que poseen los *Routers Multicast* de crear ramas de distribución para controlar un camino eficiente y enrutar el tráfico *Multicast* a través de la red hasta llegar a todos los receptores (Minoli, 2008). Estos *Routers* tienen la responsabilidad de realizar actualizaciones dinámicas cada vez que un usuario se asocia o abandona un grupo *Multicast*: en el caso de abandono de grupo, el *Router* corta las ramas de distribución desde el origen del árbol, deteniendo el envío de tráfico a través de la misma; en caso de que el usuario se asocie a otro grupo *Multicast*, el *Router* modificara dinámicamente el árbol de distribución (tablas de enrutamiento) e iniciara el envío de tráfico de nuevo. En términos generales, existen dos algoritmos o métodos usados por los *Routers* con capacidad *Multicast* para llevar a cabo la distribución los arboles y sus rutas (ramas): árbol fuente y arboles compartidos.

- Arboles fuente: Este tipo de distribución lógica está basada en el principio de identificación de la ruta más corta desde la fuente hasta el cliente (Reverse Shortest Path, RSP), este tipo de árbol se caracteriza por tener definido un *Router* raíz como única fuente de contenido (Root) el cual está

conectado a otros *Routers* (ramificaciones) generando un árbol expandido desde la raíz hasta los usuarios. Este principio de operación, consigue hallar la topología óptima de la ruta desde la fuente hasta el cliente en términos de número de saltos (*Hops*), caracterizándose por presentar latencias muy bajas para la transmisión de tráfico *Multicast*. En la figura 16, se presenta un esquema básico de este tipo de árbol.

- **Árbol compartido:** Este tipo de árbol posee un *Router* (punto) común en el cual convergen las diversas fuentes de contenido, llamado Rendezvous point (RP), como punto de distribución de tráfico a los demás *Routers* que componen la red. Este tipo de distribución lógica demanda menos memoria en cada *Router*, al requerir poca información sobre el estado de cada uno de estos dispositivos, lo cual origina, en contra parte, que los caminos entre la fuente (RP) y los clientes no sea la más óptima en términos de saltos y latencia. En la figura 16, se presenta esquema básico del árbol.

La arquitectura del árbol compartido ofrece un desempeño en escalabilidad superior a la arquitectura del árbol fuente a dada su característica de permitir múltiples fuentes de tráfico, lo cual permite desarrollar diversos tipos de aplicaciones: simulación interactiva distribuida, video juegos distribuidos, aplicaciones P2P⁴ y redundancia de fuentes *Multicast* entre otras.

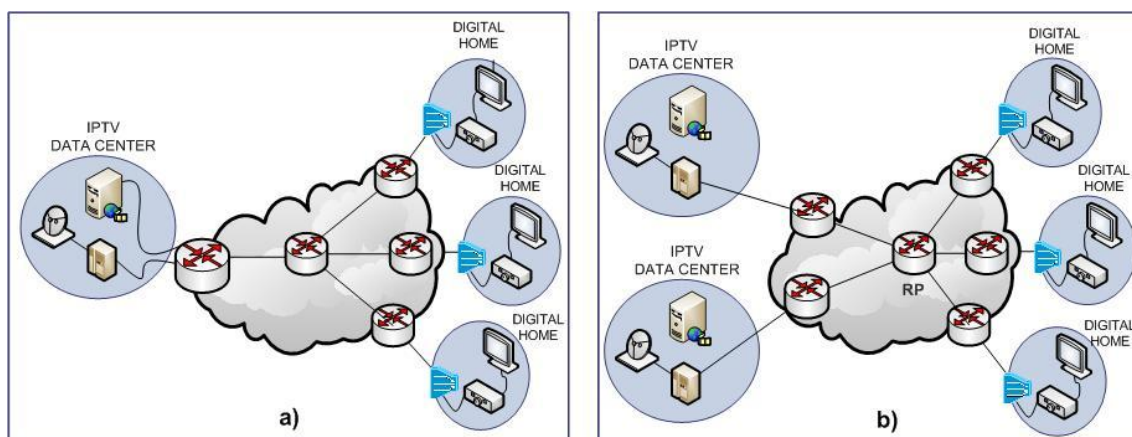


Figura 16. Tipos de distribución lógica: a) árbol fuente, b) árbol compartido.

3.3.2. Algoritmos de enrutamiento *Multicast*.

Los algoritmos de enrutamiento *Multicast* permiten la correcta operación de los árboles de distribución, permitiendo un óptimo desempeño en los *Routers*, con el fin de alcanzar a todos los miembros de un grupo. Estos algoritmos cumplen funciones tales como: envían los paquetes solo a los grupos *Multicast* requeridos,

⁴ Redes Peer to Peer o redes punto a punto.

evitan bucles optimizando los enrutamientos desde el origen hasta los destinos y realiza balanceo de carga entre las ramas de los arboles de distribución.

- Algoritmo de propagación de trayectoria inversa.

El algoritmo de propagación de trayectoria inversa (*Reverse Path Forwarding, RPF*) le permite a los *Routers* que conforman los arboles de distribución en la red, seleccionar la interface de entrada por donde llegará el trafico entrante, con el propósito de usar esta característica como condición para replicar dicho tráfico a las respectivas interfaces de salida (grupos *Multicast*) destino. Esto se lleva a cabo en el *Router* a través de una tabla de enrutamiento en donde se estipula la interface de entrada, la dirección IP origen (fuente de trafico entrante), las interfaces de salida y sus correspondientes direcciones IP destino; en caso de que ocurra lo contrario, (el mismo paquete intente entrar por otra interface no habilitada) este será rechazado. El propósito fundamental de este algoritmo es evitar *loops* en la red, dado que en el instante en que este se presente, intentara enviar el mismo paquete(s) a través de todos los dominios de *Broadcast* hasta llegar hasta el *Router* destino, lo cual implica tener el mismo paquete en varias interfaces de entrada del dispositivo. En la figura 17 se presenta un grafico representativo del algoritmo.

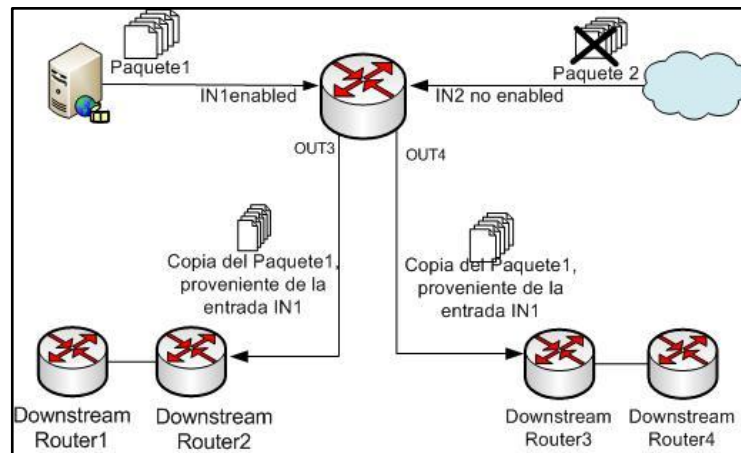


Figura 17. Modo de operación del algoritmo RPF.

- Árbol centralizado (CBT, *Center-based tree*).

Este algoritmo fundamenta su operación en la asignación de un *Router* principal denominado *Core*, el cual se encarga de construir un árbol con la ruta más corta (*Reverse Shortest Path, RSP*) con el resto de *Routers* de la red, de tal forma que el *Core* se convierte en el punto central (RFC 2201, *Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture*, September 1997), cada vez que una fuente desea transmitir un paquete hacia cierto grupo *Multicast*, lo hará a través del *Core*.

Cuando el paquete alcanza a este *Router* principal, este lo reenvía usando RSP. En la figura 18 se muestra la construcción de un árbol basado en CBT.

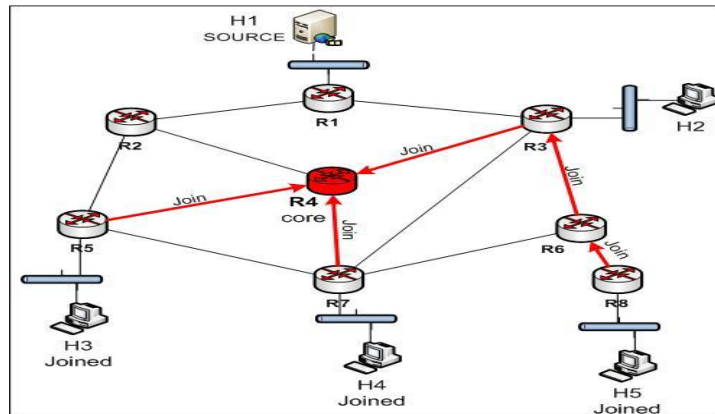


Figura 18. Construcción de un árbol basado en CBT.

La construcción empieza cuando los *Routers* "locales" (R3, R5, R7 y R8 según la figura 18) de cada grupo *Multicast* envían un mensaje "Join" al Core a través de una interface etiquetada como RFP (*Reverse Path Forwarding*, RFP) respecto al Core, en este instante puede ocurrir dos cosas:

- Si este *Router* "local" no está asociado al Core, este lo vincula a su tabla de enrutamiento, asociando la interface del *Router* por donde llego el mensaje "Join", como una interface de entrada tipo RFP.
- Si el *Router* ya forma parte del árbol compartido, el Core adhiere la interface por donde llego el mensaje a su lista de interfaces de salida sin replicar dicho mensaje.

En la figura 19 se representa la transmisión del mensaje "Join" usando el *Router* R4 como Core y los Host H3, H4 y H5 como miembros de grupos *Multicast*.

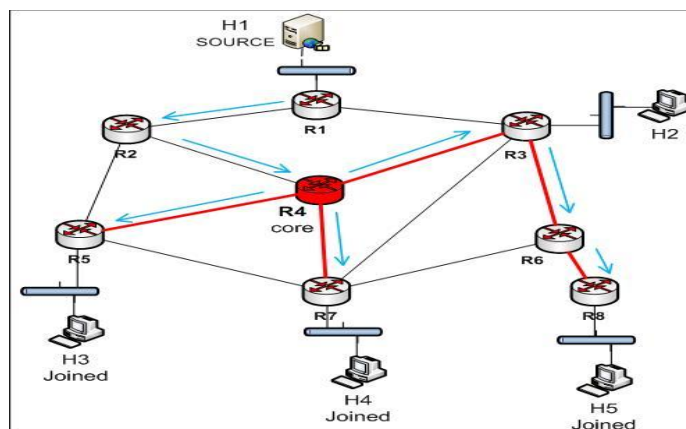


Figura 19. Transmisión de paquetes *Multicast* sobre un árbol basado en CBT.

Aquí se observa el proceso de transmisión de paquetes *Multicast* desde la fuente (H1) hasta los clientes (H2, H3, H4, H5): la fuente establece el camino más corto hasta el *Core* en forma *Unicast* (*Unicast Shortest Path*), en este caso $H1 \rightarrow R2 \rightarrow R4$, cuando el paquete alcanza al *Core*, este replica una copia del mismo, a todos los *Routers* de las ramas del árbol (R3, R5, R6 y R7). Las ramas de este tipo de árbol poseen sentido bidireccional, lo cual se puede apreciar al intentar enviar un paquete desde H1 hasta H5, tomando como enrutamiento los *Routers* R1, R3 y R4: el camino a tomar sería $R1 \rightarrow R3 \rightarrow R4 \rightarrow R3 \rightarrow R6 \rightarrow R8 \rightarrow H5$. Esta característica bidireccional (ruta reseñada en negrilla) hace que la selección del *Router* escogido como *Core* dentro de la red juegue un papel fundamental por parte del algoritmo CBT, ya que de acuerdo a la ubicación de este *Router* las rutas desde la fuente hasta los *Routers* "locales" a través del *Core* puede ser más larga que la conexión directa entre los mismos. La ventaja principal de este algoritmo es que un único árbol de distribución es requerido para cada grupo *Multicast*, lo cual reduce la complejidad de las tablas de enrutamiento y el volumen de los mensajes del protocolo de enrutamiento *Multicast*.

3.3.3. Visión general de los protocolos de distribución *Multicast*.

Respecto a la aplicación y dimensiones de la red, los protocolos de enrutamiento *Multicast* se clasifican en soluciones densas y soluciones esparcidos. Las soluciones densas están pensadas para redes que cuentan con gran cantidad de usuarios en la red y ancho de banda suficiente (por ejemplo, un árbol principal que conecte otros sub arboles), esta solución poda las subredes con *hosts* que no están interesados en la recepción de contenido *Multicast*, a partir de notificaciones explícitas de los mismos, habitualmente se utilizan algoritmos RPF en este tipo de aplicaciones. Las soluciones "esparcidas" se utilizan en redes de gran cobertura en las que no se cuenta con una gran presencia de miembros del grupo, construyen el árbol en función de la pertenencia al grupo con notificaciones explícitas por parte de los *Routers Multicast*, reduciendo la carga de control necesaria. Se basan en algoritmos CBT.

- Generalidades del protocolo DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*). Protocolo de tipo denso utilizado en pequeños o medianos sistemas autónomos⁵ (RFC 1075, Distance Vector Multicast Routing Protocol, November 1988), usa la técnica RPF (*Reverse Path Forwarding*) para la creación de arboles de distribución, versión adaptada del protocolo RIP incapaz de interconectar redes a más de 32 saltos lógicos por lo tanto emplea encapsulación de datagramas (túneles IP) para lograr dicha tarea, usa *Broadcast* para identificar todas las estaciones que forman un grupo *Multicast*. En general, la utilización de este protocolo se considera

⁵ Redes con gestión independiente entre sí.

inadecuada para topologías de red que cambian rápidamente, puesto que la información de encaminamiento se suministra muy lentamente.

Modo de operación:

- Periódicamente los Routers de la red envían mensajes de tipo "Probe" para detectar Routers adyacentes y tipo "Report" para compartir las tablas de enrutamiento entre los mismos. De esta manera un Router conoce las características RFP (Reverse Path Forwarding) de los otros Routers que están vinculados a él (interfaz UpStream del paquete emisor, interfaz DownStream para replicar el paquete, etc.).
- La generación del árbol toma lugar, cada vez que el Router emisor (principal) emite un paquete Multicast destinado al grupo, de esta manera cada Router crea las entradas en sus tablas de enrutamiento en función de la información de ruteo.
- Cuando un Router de la red no posee ningún hosts interesados en recibir tráfico Multicast, dicho Router envía un mensaje de abandono de grupo "*Prune*" directo al Router fuente, pasando por los Routers intermedio, de tal forma que estos mantienen la información concerniente a la interfaz podada. Pasado un tiempo, la información de poda desaparece de dichos Routers.
- En la figura 20 se representa el procedimiento abandono de grupo para un R9 y el proceso de adhesión de un host (miembro de un segmento de red) a un grupo Multicast. En este último caso, R8 envía un mensaje de mantenimiento "Graft" hacia la fuente, R5 habilita su interfaz de entrada para que este mensaje pase a través de él, R5 responde con un mensaje "Ack" a R8 y se encarga de propagar el mensaje original enviado por R8 (mensaje de mantenimiento, Graft) hasta la fuente RE.

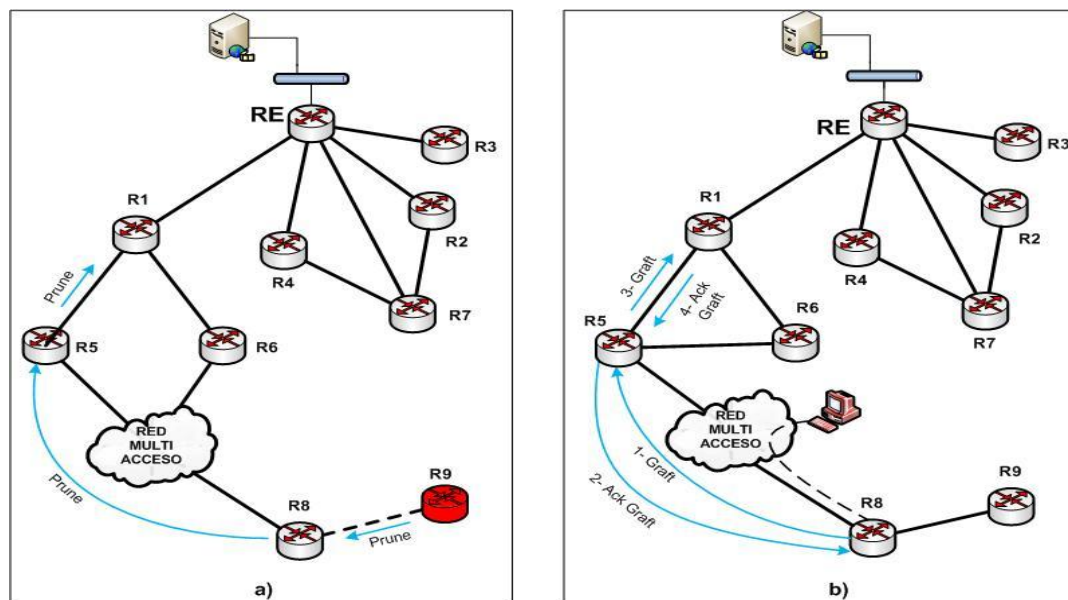


Figura 20. Protocolo DVMRP: Router abandona un grupo y adhesión de host.

- Generalidades del protocolo MOSPF (*Multicast OSPF*).

MOSPF es una mejora del protocolo OSPFv2 (RFC 1583, OSPF Version 2, Marzo 1994) que permite el enrutamiento de datagramas IP *Multicast*. Los *Routers* MOSPF hacen uso del protocolo IGMP para monitorear la membresía de los grupos *Multicast* dentro de la red, por medio del envío de mensajes "Query" hacia los *hosts* y recepción de mensajes "Report" desde los mismos. Esta información local es anunciada a todos los *Routers* a través del envío de paquetes de estado de enlace (LSA, *Link State Advertisement*) lo cual permite a los demás *Routers* enviar de forma más eficiente datagramas *Multicast* a múltiples destinos a través de la ruta más corta y cuya rama terminal (ramas del árbol de distribución) sean redes LAN que contengan miembros del grupo.

- Características de las rutas de los datagramas *Multicast* (RFC 1585, MOSPF: Analysis and Experience, Marzo 1994):
 - ✓ Los *Routers Multicast* soportan interacción con *Routers* OSPF (no *Multicast*), cuando esto ocurre, todos los *Routers* trabajarán en modo Unicast.
 - ✓ MOSPF no soporta la capacidad de realizar túneles (para el envío de datagramas *Multicast*) a través de *Routers* OSPF (no MOSPF).
 - ✓ Además de calcular una ruta distinta para cada datagrama (red fuente, destino *Multicast*) MOSPF puede establecer las rutas de acuerdo al tipo de servicio (*Type of Service, ToS*).

- ✓ MOSPF puede ser configurado para encapsular datagramas Multicast con destinos Unicast, lo anterior pensando en redes que fronterizas (sobre las cuales corren múltiples protocolos o múltiples copias del mismo protocolo de enrutamiento) con los sistemas autónomos (AS) donde corre OSPF.
- Generalidades del protocolo *Multicast* independiente (*PIM*).

PIM define un conjunto de protocolos de enrutamiento *Multicast* optimizados para el *Transporte* de diferentes tipos de servicios. A continuación se presenta un resumen de las cuatro variantes del protocolo:

- ✓ PIM fuente específica de *Multicast* (PIM-SSM): este protocolo de enrutamiento opera en la capa 3 del STB, siendo una derivación del protocolo PIM-SM. Este protocolo soporta SSM (fuente específica de *Multicast: Source Specific Multicast*, SSM) el cual permite al STB especificar que canal quiere recibir. Con SSM se lleva a cabo la ejecución de los comandos "Join" y "Prune" sobre la red.
- ✓ PIM modo denso (PIM-DM) (RFC 2362, Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification, June 1998): opera bajo el principio de inundación (*Flooding*) de paquetes *Multicast* a todos los *Routers* de la red, de tal forma que los *Router* que no posean miembros *Multicast* en sus subredes, enviarán un mensaje tipo "Leave" o "Prune" hasta la fuente. Una vez la fuente reciba este mensaje cesara la transmisión de contenido *Multicast* a dicho *Router*. Esta modalidad de inundación de tráfico *Multicast* no solicitado a través de la red demanda grandes anchos de banda, por tal razón esta modalidad es poco utilizada en redes IPTV, generalmente es aplicada a entornos LAN.
- ✓ PIM modo disperso (PIM-SM) (RFC 3973, Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification, January 2005): este protocolo está diseñado para enrutar tráfico *Multicast* a través de redes WAN, asumiendo que los usuarios de un canal, están dispersamente distribuidos a través de una red de IPTV. Define como los *Routers* deben operar y mantener diferentes tipos de arboles de distribución. Se basa en el mecanismo de entrega de contenido "Pull mode" y entrega tráfico de contenido TV solo a los STB que hayan hecho la solicitud del mismo. Cuando se implementa el protocolo en la red, se habilitan varias interfaces del *Router* con el fin de brindar escalabilidad y redundancia.
- ✓ PIM bidireccional (BIDIR-PIM): este protocolo es ligeramente diferente al PIM-SM, no posee porte para encapsulación de datagramas, presenta

problemas de retardo cuando es implementado sobre redes IP amplias.

Los distintos métodos de enrutamiento encontrados para determinar el camino que debe usarse para transmitir contenido de modo *Multicast* sobre IGMP han sido revisados. El protocolo IGMP se encuentra en constante evolución para asegurar la entrega rápida del contenido *Multicast* a los distintos usuarios.

4. IPTV

IPTV (*Internet Protocol Televisión*) es también llamado *Broadband TV*. El servicio se basa en la entrega, de forma segura, de contenido televisivo tipo difusión o contenido audiovisual por demanda sobre una red de banda ancha. Generalmente se aplica a la distribución de canales de TV, películas y contenido por demanda sobre una red privada de un operador. La definición oficial aprobada por la International Telecommunication Union focus group en IPTV (ITU-T FG IPTV):

“IPTV es definido como servicios multimedia tales como televisión/video/audio/texto/imágenes/ y datos entregados sobre una red basada en IP administrada para proveer el nivel requerido de calidad del servicio y experiencia, seguridad, interactividad y confiabilidad”

Es entonces importante establecer una diferencia con *Web TV*, porque si bien el contenido es entregado de manera similar a través de redes IP, el *Transporte* no es seguro ni posee características de calidad de servicio; las redes que transmiten IPTV son controladas por un operador de modo que se brinde calidad de servicio durante el *Transporte* hacia al cliente.

En este capítulo se observará entonces la arquitectura funcional de IPTV y las funciones que deben cumplir los distintos componentes del servicio, así como un elemento fundamental para la prestación del servicio de IPTV como lo es la codificación del *Motion Pictures Expert Group* MPEG. Esta codificación hace posible actualmente la transmisión de contenidos audiovisuales hasta los clientes con una calidad aceptable a una tasa de transmisión viable, dependiendo de la capacidad del enlace.

4.1. Marco de arquitectura funcional de IPTV según ITU-T.

El marco general de la arquitectura de IPTV se puede observar en la figura 21, en la cual se observa los grupos funcionales del servicio de IPTV. Los dominios del proveedor de contenido y el usuario final están bien delimitados, mientras que los dominios del proveedor de red y el proveedor del servicio no son usados debido a que esta distinción es de carácter comercial-operativo y no aplica para esta descomposición. Las funcionalidades de tasación no son tenidas en cuenta en esta descripción. En esta y en la siguiente sección se tendrá en cuenta la numeración propia del grupo de trabajo de ITU-T.

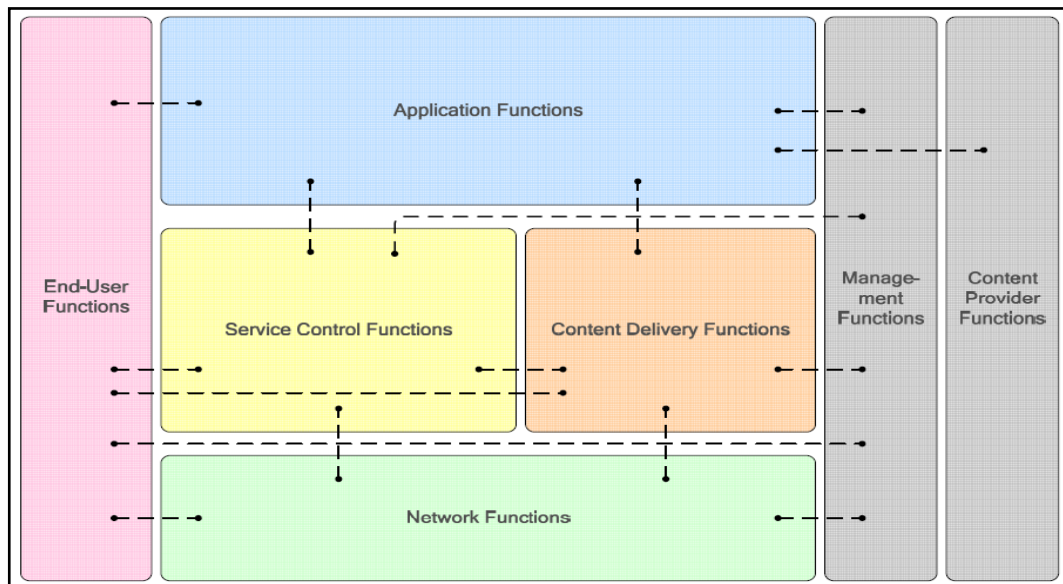


Figura 21. Marco de referencia de arquitectura funcional ITU-T IPTV (IPTV FocusGroup Proceedings 2008, 2008).

A continuación se realiza la descripción general de las funciones del marco de referencia de la arquitectura funcional de ITU-T IPTV:

- Funciones de Usuario Final. Las funciones de usuario final (*End-User Functions EUF*) realizan la mediación entre el usuario final y la infraestructura IPTV.
- Funciones de Aplicación. Las funciones de aplicación (*Application Functions AF*) habilitan las funciones de usuario final para seleccionar, comprar o rentar un ítem de contenido.
- Funciones de Control de Servicio. Las funciones de control de servicio (*Service Control Functions SCF*) proveen las funciones de requerimiento liberación de recursos de red y de servicio usados para soportar el servicio IPTV. Las funciones de control de servicio pueden solicitar a las funciones de entrega de contenido separar recursos y solicitar a las funciones de red reservar en ancho de banda requerido para el flujo de contenido. Las funciones de control de contenido pueden opcionalmente obtener la ubicación del usuario final de las funciones de red.
- Funciones de Entrega de Contenido. Las funciones de entrega de contenido (*Content Delivery Functions CDF*) reciben el contenido de las funciones de aplicación, lo almacenan, procesan y los entregan a las funciones de usuario final usando las capacidades de las funciones de red, bajo el control de las funciones de control de servicio.

- **Funciones de Red.** Las funciones de red (*Network Functions* NF) proveen conectividad de capa IP entre los componentes de servicio IPTV y las funciones de usuario final. Las funciones de red son compartidas a través de todos los servicios entregados por IP al usuario final. Adicionalmente las funciones de red contribuyen con el aprovisionamiento de la calidad de servicio (*Quality of Service* QoS) requerido por los servicios de IPTV.
- **Funciones de Administración.** Las funciones de gestión del sistema (*Management Functions* MF) realizan las funciones de administración del sistema (operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento OAM&P). Las funciones de administración no incluyen las funciones que aprovisionan durante las interacciones en las aplicaciones o las funciones que recopilan datos de tasación AAA. Por ejemplo, la instalación de una actualización de *software* para una aplicación VoD estaría en esta categoría, pero el aprovisionamiento de direcciones *Multicast* para canales de televisión lineal no estaría en esta categoría.
- **Funciones de Proveedor de Contenidos.** Las funciones del proveedor de contenidos (*Content Provider Functions* CDF) son provistas por la entidad que posee la licencia para proveer (venta, renta o permiso de dación para uso libre) contenido o propiedades de contenido (dueño del contenido, meta-datos y derechos de uso).

4.2. Descripción de la arquitectura de IPTV.

La figura 22 provee una vista general de la arquitectura funcional de IPTV. Se considera que los bloques rectangulares representan bloques funcionales, los rectángulos redondeados indican una agrupación de funciones, las líneas sólidas son relaciones directas mientras que las indirectas son representadas por líneas punteadas y vinculan a las funciones de usuario final.

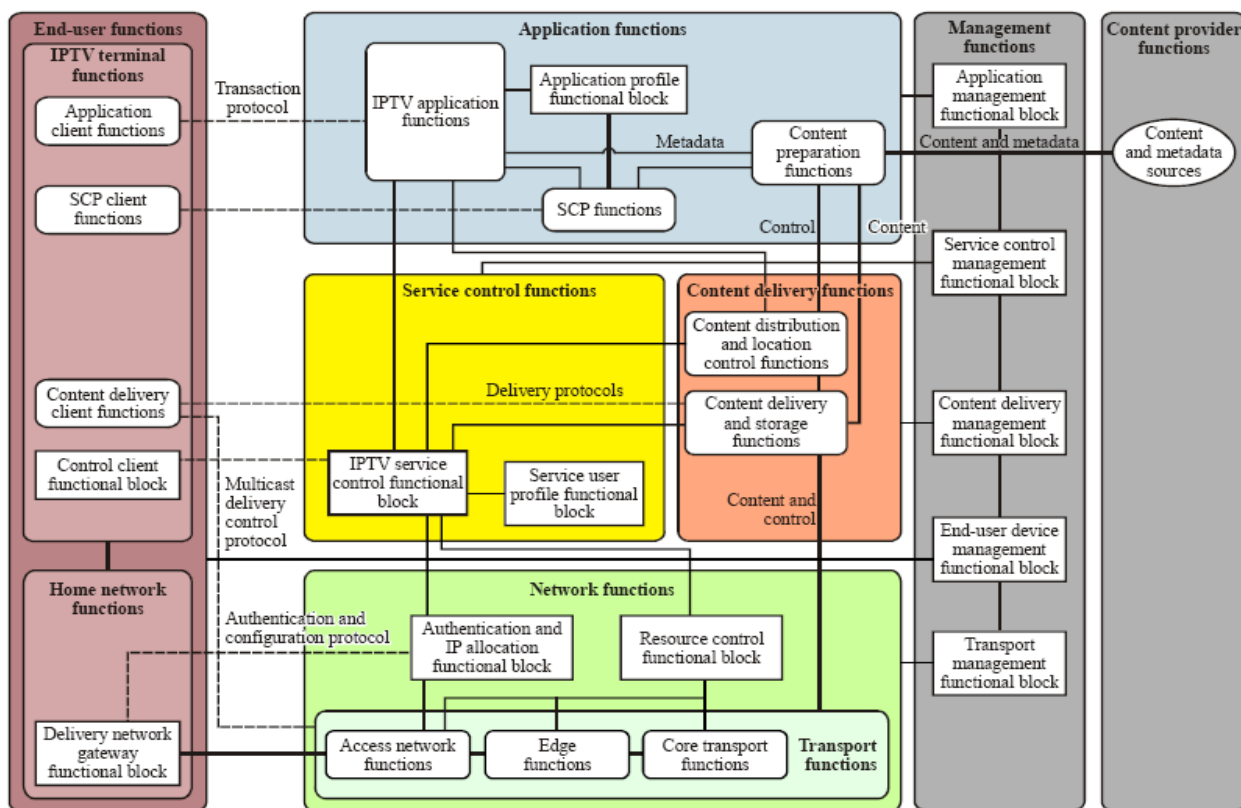


Figura 22. Ampliación del marco de arquitectura funcional de ITU-T IPTV (IPTV FocusGroup Proceedings 2008, 2008).

4.2.1. Funciones de usuario final (*End-User Functions*).

Las funciones de usuario final contienen las funciones del terminal de IPTV y las funciones de la red de hogar.

- **Funciones del Terminal de IPTV.** Las funciones del terminal de IPTV (*IPTV terminal Functions* ITF) son responsables de coleccionar comandos de control del usuario y de interactuar con las funciones de aplicación para obtener información de servicio (EPG), licencias de contenido y llaves de descryptación. Interactúan con las funciones de control de servicio y entrega de contenido para recibir servicios de IPTV y también proveen la capacidad de recepción de contenido, descripción y decodificación.
- **Funciones de Aplicación de Cliente.** Las funciones de aplicación de cliente (*Application client functions* ACF) intercambian información con las funciones de aplicación de IPTV para soportar servicios IPTV y otras aplicaciones interactivas.

- Funciones de Protección de Servicio y Protección de Contenido. Las funciones de protección de servicio y protección de contenido (*Service and Content Protection Client Functions SCP*) del cliente interactúan con las funciones SCP para protección del servicio y del contenido, verificando los derechos de uso y opcionalmente realizar marcas de agua sobre el contenido.
- Funciones de Entrega de Contenido del Cliente. Las funciones de entrega de contenido del cliente (*Content Delivery Client Functions CFCF*) reciben y controlan la entrega de contenido desde las funciones de entrega y almacenamiento de contenido (CD&SF). Después de recibir el contenido, las funciones de entrega de contenido pueden usar funciones SCP del cliente para des encriptar y decodificar, y soportar control de reproducción.
- Bloque Funcional de Control de Cliente. El bloque funcional de control de cliente (*Control Client Functional block CCFB*) permite al ITF iniciar peticiones de servicio al control de servicio de IPTV buscando prepararse para la conexión con las funciones de control de entrega.
- Funciones de Red de Hogar. Las funciones de red de hogar (*Home Network Functions HNF*) proveen conectividad entre la red externa y el terminal de IPTV. Estas funciones incluyen conectividad IP, ubicación de direcciones IP y configuración de las funciones de red del terminal IPTV. Todo el tráfico de contenido y control debe pasar a través de esta red para llegar a las funciones de usuario final en el terminal IPTV. Funciona como *Gateway* para la red del hogar.
- Bloque Funcional de Pasarela de Red de Entrega. El bloque funcional de pasarela de red de entrega (*Delivery Network Gateway Functional block DNGFB*) provee conectividad IP entre la red externa y el terminal IPTV. Este bloque administra la red del hogar y provee de direcciones a los dispositivos internos a la misma.

4.2.2. Funciones de aplicación (*Application Functions*).

- Funciones de Aplicación de IPTV. Las funciones de aplicación (IPTV *Application Functional block*) habilitan a las funciones de Terminal IPTV para seleccionar y comprar contenido. Cuando se reciben peticiones de las funciones de Terminal IPTV, las funciones de aplicación de IPTV realicen una aplicación, autorización y ejecución de la lógica de servicio IPTV basado en el perfil de usuario, meta-data del contenido y otras informaciones. Las funciones de aplicación IPTV también se comunican con las funciones de entrega de contenido para preparar la entrega del

contenido a las funciones de Terminal IPTV a través de las funciones de entrega de contenido.

- Bloque Funcional de Perfil de Aplicación. El bloque funcional de perfil de aplicación (*Application Profile Functional block*) puede incluir:
 - ✓ Ajustes de usuario final que incluyan información acerca de las capacidades del Terminal IPTV. Un usuario IPTV puede estar asociado con varios terminales IPTV con distintas capacidades.
 - ✓ Ajustes globales (por ejemplo, idioma).
 - ✓ Ajustes de televisión convencional.
 - ✓ Listas de paquetes de servicios de televisión lineal.
 - ✓ Ajustes VoD (por ejemplo, control parental).
 - ✓ Ajustes de grabador de video personal (PVR red/local preferencias, restricciones de usuario PVR, límite de almacenamiento PVR).
 - ✓ Datos de servicio de IPTV que contiene la información relacionada con las acciones del usuario:
 - Lista de servicios de TV que se han pausado y por tanto que son probables de continuar después, incluyendo las partes resaltadas;
 - Lista de contenidos VoDs que el usuario ha ordenado, y su status;
 - Lista de contenidos almacenados en el PVR.
- Funciones de Preparación de Contenido. Las funciones de preparación de contenido (*Content Preparation Functions*) controla la preparación y agregación de contenido como VoD, flujos de linear TV, meta-data y EPG, tal como son recibidas de la función proveedor de contenido. Las funciones de preparación de contenido pueden pre-procesar (transcodificar o editar) el contenido previo al paso de las funciones de entrega de contenido, aplicación de IPTV y SCP. La preparación de contenido puede también instanciar marcas de agua para rastrear el contenido.
- Funciones de Protección de Contenido y Servicio. Las funciones de protección de contenido y servicio (*Service and Content Protection Functions SCP*) controlan la protección de los servicios y el contenido. SCP incluye control de acceso a contenidos y la protección de contenidos con encriptación. La protección de servicio incluye autenticación y autorización de acceso además de ofrecer encriptación.

4.2.3. Funciones de control de servicio (*Service Control Functions*).

- Bloque funcional de control de servicio de IPTV. El bloque funcional de control de servicio provee las funciones para manejar inicio de servicio, solicitudes de modificación y terminación, realizar control de acceso al

servicio, establecer y mantener los recursos requeridos de red y de sistema para soportar los servicios de IPTV requeridos por las funciones de Terminal de IPTV. Puede además:

- ✓ Proveer funciones de registro, autenticación y autorización para las funciones de usuario final.
 - ✓ Procesar requerimientos de las funciones de aplicación de IPTV y reenviarlas a las funciones de entrega de contenido para seleccionar las funciones de almacenamiento de contenido en el usuario final.
 - ✓ Solicitar a las funciones de entrega de contenido o las funciones de aplicación para coleccionar información de cobros y tasación.
- Bloque Funcional Perfil de Usuario de Servicio. El bloque funcional perfil de usuario de servicio (*Service User Profile Functional block*): almacenar el perfil de servicio del usuario final, almacenar datos relacionado con el usuario, almacenar la ubicación del usuario, almacenar el estado del usuario (*online/offline*), desarrollar funciones de administración y mantenimiento básicas (actualización la información de suscripción y la información de la red (por ejemplo, el NAP y la localización en la red), responder a requerimientos de perfil de usuario (autenticación, autorización, información de suscripción del servicio, movilidad del suscriptor, locación y presencia).

4.2.4. Funciones de entrega de contenido (*Content Delivery Functions*).

Las funciones de entrega de contenido (CDF) realizan funcionalidades cache y almacenamiento y entregan el contenido de acuerdo a las solicitudes de los usuarios finales. La función de entrega de contenido puede también procesar contenido. Múltiples instancias de almacenamiento de contenido y entrega pueden existir, las funciones de entrega de contenido seleccionan la funcionalidad apropiada. Para mantener el mismo contenido en múltiples instancias, las funciones de entrega de contenido controlan la distribución del contenido a las múltiples instancias de las funcionalidades de almacenamiento y contenido.

El contenido es distribuido a las funciones de entrega de contenido antes o durante el proceso de ofrecimiento de servicios. Las funciones de entrega de contenido interactúan con las funciones de usuario final, y pueden operar en Unicast, *Multicast* o ambos. Las funciones de entrega de contenido abarcan las siguientes funciones: a) Funciones de distribución de contenido y control de localización (CD&LCF) y b) Funciones de almacenamiento y entrega de contenido (CD&SF).

- Funciones de Distribución de Contenido y Control de Localización. Las funciones de distribución de contenido y control de localización (*Content Distribution and Location control Functions*) incluyen, pero no están limitadas por:
 - ✓ Manejar interacciones con el bloque funcional de control de servicio IPTV.
 - ✓ Controlar la distribución de contenido desde las funciones de preparación de contenido hasta las funciones de entrega y almacenamiento de contenido.
 - ✓ Recopilar información concerniente a las funciones de entrega y almacenamiento, por ejemplo, uso del recurso, estado del recurso, carga del recurso e información de distribución.
 - ✓ Realizar la selección de las funciones de entrega y almacenamiento de contenido para servir a las funciones de usuario final de acuerdo a ciertos criterios, por ejemplo, la información recopilada y las capacidades del Terminal.
- Funciones de Entrega y Almacenamiento de Contenido. Las funciones de entrega y almacenamiento de contenido (*Content delivery and Storage Functions*) almacenan y realizan cache del contenido, lo procesan bajo el control de la función de preparación de contenido y los distribuye a las instancias de las funciones de entrega y almacenamiento de contenido basado en la política de las funciones de control de distribución y localización de contenido. Las funciones de entrega y almacenamiento de contenido son responsables de la entrega del contenido a las funciones de entrega de contenido usando las funciones de red (*Unicast/Multicast*).

4.2.5. Funciones de red (*Network Functions*)

Las funciones de son compartidas a través de todos los servicios entregados por IP a las funciones de usuario final. Las funciones de red proveen conectividad de capa IP para soportar servicios IPTV.

- Bloque Funcional de Autenticación y asignación de IP. El bloque funcional de autenticación y asignación de IP (*Authentication and IP allocation Functional block*) provee la funcionalidad de para autenticar el bloque funcional de pasarela de la red de entrega e cual conecta con las funciones de red, así como separar direcciones IP para el bloque funcional de pasarela de red de entrega y opcionalmente a las funciones de Terminal IPTV.

- Bloque Funcional de Control de Recursos. El bloque funcional de control de recursos (*Resource control Functional block*) provee control de los recursos que han sido separados para la entrega de los servicios IPTV a través de las funciones de *Transporte* de red acceso, borde y núcleo.
- Funciones de *Transporte*. Las funciones de *Transporte* (*Transport Functions*) proveen conectividad de capa IP ente las funciones de entrega de contenido y las funciones de usuario final. Las funciones de *Transporte* incluyen funciones *Transporte* y pasarela de red de acceso, borde y núcleo.
- Funciones de Red de Acceso. Las funciones de red de acceso (*Access Network Functions*) son responsables por agregar y reenviar el tráfico IPTV enviado por las funciones de usuario final hacia el borde de la red de núcleo. También reenvían el tráfico IPTV desde el borde de la red de núcleo hacia las funciones de usuario final.
- Funciones de Borde. Las funciones de borde (*Edge functions*) son responsables por reenviar el tráfico IPTV agregado por las funciones de red hacia la red de núcleo, y también reenviar desde la red de núcleo hacia las funciones de la red de acceso.
- Funciones de la Red de Núcleo. Las funciones de la red de núcleo (*Core Transport Functions*) son responsables por reenviar tráfico IPTV a través de la red de núcleo.

4.2.6. Funciones de Administración (*Management Functions*).

Las funciones de administración manejan en conjunto la configuración y el estado de del sistema. Pueden ser centralizada o distribuida, y comprenden los siguientes bloques funcionales: Bloque funcional de administración de la aplicación, bloque funcional de administración de entrega de contenido, bloque funcional de administración de control de servicio, bloque funcional de administración de dispositivo de usuario final y bloque funcional de administración de *Transporte*.

4.2.7. Funciones de Proveedor de Contenido (*Content provider functions*)

Las funciones de proveedor de contenido proveen el contenido y los *meta-datos* asociados para las funciones de preparación de contenido. Contienen además las fuentes de contenido:

- Fuentes de Contenido y meta-datos. Las Fuentes de contenido y meta-data (*Content and Metadata Sources*) incluyen fuentes de derechos de protección de contenido, Fuentes de contenido y Fuentes de meta-data para los servicios de IPTV. Luego, desde el punto de vista el operador, IPTV

demanda la adquisición, procesamiento y entrega segura de contenido – generalmente video- sobre su infraestructura basada en IP, implicando una gestión importante sobre los recursos de red desde el núcleo hasta el acceso en cuanto a ancho de banda y QoS, a la vez que genera una nueva renta y un nuevo nicho de mercado. Para los usuarios, IPTV trae soporte para televisión interactiva y navegación, desplazamiento en tiempo con PVR, personalización de la experiencia y acceso desde múltiples dispositivos que soporten esta tecnología, además del contenido por demanda (CoD).

En general, se puede establecer una capa de protocolos para realizar una presentación del servicio de IPTV *Broadcasting*:

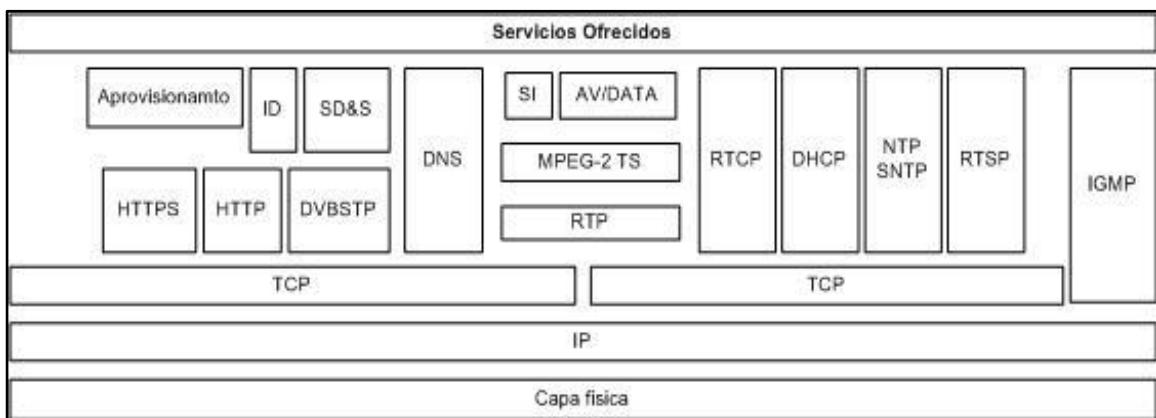


Figura 23. Pila de protocolos para Difusión video digital con IP.

En general, estos contenidos son entregados a través de codificación MPEG-2, MPEG-4 por medio de *Transport Streams TS*, que *Transportan* el contenido de audio/video, texto y control para que los decodificadores en el cliente puedan organizar y sincronizar el flujo de datos. Dada la complejidad de la codificación de video, se presenta una reseña acerca del protocolo de codificación MPEG.

4.3. Codificación de video MPEG (*Motion Picture Expert Group*).

El estándar del MPEG consiste en un conjunto de métodos para comprimir contenido multimedia de modo que se permita su transmisión sin una pérdida significativa de calidad de la imagen. En la actualidad, se cuenta con:

4.3.1. Generalidades sobre MPEG-2.

Este estándar se caracteriza por soportar ratas de transmisión de hasta 40Mbps, hasta 5 canales de audio (por ejemplo, *surround sound*), HDTV, video entrelazado.

El estándar MPEG-2 (ISO/IEC 14496 Part 10: Advanced Video Coding, 2010) es publicado en 4 partes:

- Específica el sistema de capas de codificación de MPEG-2 a través de una estructura multiplexada que combina audio y video junto a una representación temporal para re sincronizar la secuencia.
- Video. Especifica la representación codificada de los datos de video y el proceso de decodificación requerido para la reconstrucción de imágenes.
- Audio. Especifica la representación codificada de los datos de audio.
- Test de conformidad.

En un flujo de datos de video de MPEG-2 se puede observar:

- Secuencia de Video (*Video Sequence*). Comienza con un código cabecera de secuencia e incluye uno o más grupos de imágenes GOP, terminando con un código fin de secuencia.
- Grupo de Imágenes (*Group of Pictures –GOP–*). Es la cabecera y la serie de imágenes que permiten acceso “aleatorio” a la secuencia.
- Cuadro (*Picture*). Unidad primaria de codificación de una secuencia de video. Una imagen consiste de 3 matrices rectangulares que representan la Luma (Y), la Cromo Roja (Cr) y la Cromo Azul (Cb). La matriz Y tiene un número par de columnas y filas, mientras que las matrices Cb y Cr son de la mitad del tamaño de la matriz Y en cada dirección. También se conocen como *Frames*.
- Corte (*Slice*). Macro bloques continuos. El orden de los macro bloques dentro de una rebanada es de izquierda a derecha y de arriba abajo. El Slice es importante para manejar errores. Si el *BitStream* contiene un error, el decodificador puede saltar al siguiente inicio de slice. Al tener más slices se permite más encubrimiento de errores, pero también se incrementa el uso de bits que no son para representar la imagen.

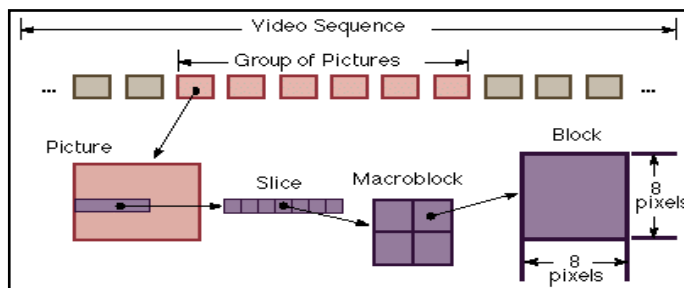


Figura 24. Diagrama de un GOP en una secuencia de video MPEG-2 (Technische Hochschule Mittelhessen).

- Macro bloques (*Macroblock*). La unidad básica de codificación del algoritmo MPEG. Es un segmento de 16 x 16 píxeles en un cuadro. Como cada componente Croma tiene la mitad de la resolución del componente de Luma, un macro bloque consiste en 4 bloques Y, un bloque Cb y un bloque Cr. En la figura 25 se representa un macro bloque.

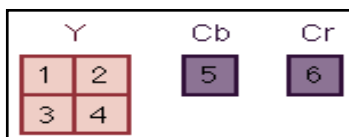


Figura 25. Representación básica de un macro bloque.

Un macro bloque puede ser particionado en partes más pequeñas para ganar ventaja en codificación con compensación de movimientos en MPEG-4 (ISO/IEC 14496 Part 10: Advanced Video Coding, 2010).

- Bloque (*Block*). Representa la unidad más pequeña de codificación del algoritmo MPEG, consiste en un bloque de 8 x 8 píxeles y puede ser de Luma, Croma Roja (Cr) o Croma Azul (Cb). El bloque es la unidad básica de la codificación *intraFrame*.

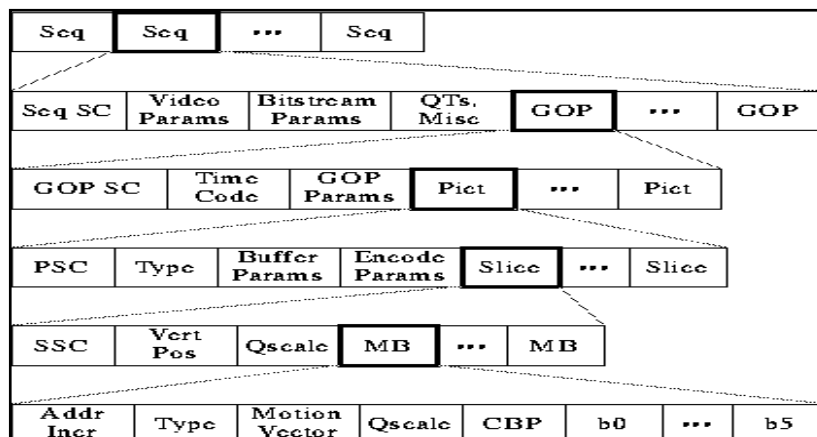


Figura 26. Esquema de 4 capas dentro de un flujo de bits de video GOP (ISO/IEC 14496 Part 10: Advanced Video Coding, 2010).

La codificación MPEG establece tipos de cuadros (*Pictures*) y hace uso de la correlación espacial (dentro del mismo cuadro) y la correlación temporal (entre los distintos cuadros) para disminuir la cantidad de datos necesarios para representar una imagen en movimiento (Image and video compression for multimedia engineering, 2008). Si se toma una imagen como referencia, las demás se pueden codificar como una variación de la misma a través de vectores de movimiento que indican el movimiento estimado de los objetos. De este modo se establece una referencia y otros cuadros serán codificados a partir del mismo:

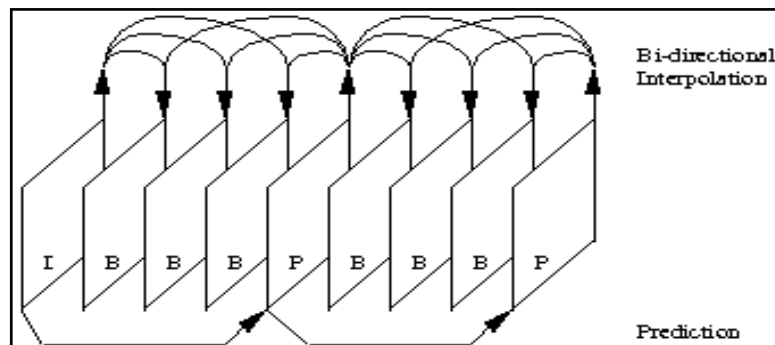


Figura 27. Composición de un GOP: cuadros I, P, B (MPEG-4 Natural Video Coding - An overview, 2000).

- Cuadros I (*Intra Pictures*). Estos son codificados usando solo la información presente en la imagen misma, y provee un acceso aleatorio potencial al flujo de datos de video. Usa únicamente codificación de transformación y brinda compresión moderada. Usa aproximadamente 2 bits por píxel codificado.
- Cuadros P (*Predicted Pictures*). P-Pictures son codificadas con respecto al cuadro P o I anterior más cercano. Esta técnica es llamada forward Prediction y se muestra en la figura anterior. Tal como se observa, los cuadros P ofrecen referencia similar a los cuadros I. Además brindan compensación de movimiento para comprimir aún más que los cuadros I.
- Cuadros B (*Bidirectional Pictures*). B-Pictures son cuadros que usan como referencia a los cuadros P y a los cuadros I más cercanos. Esta codificación bidireccional brinda la mayor compresión de todas, pero también consume la mayor capacidad computacional.

El Método de codificación de cuadros I, P, B se describe brevemente:

- Cuadros I (*Intra Pictures*). En la figura 28 se representa de forma general el esquema codificación para los cuadros I. El algoritmo de codificación de

MPEG usa los siguientes pasos: a) Transformada coseno Discreto (DCT), b) Cuantización y Codificación RLE (*Run-length*). Los bloques de imagen y los bloques de predicción de error tienen alta redundancia especial. Para reducir esta redundancia de información, el algoritmo de MPEG transforma los términos de los bloques de 8 x 8 píxeles o los bloques de 8 x 8 para predicción de error del dominio espacial al dominio de la frecuencia con la transformada coseno discreto (DCT). La combinación de DCT y Cuantización resulta en muchos coeficientes de frecuencia en cero, especialmente para las frecuencias espaciales altas. Para tomar máxima ventaja de esto, los coeficientes son organizados en zigzag para producir largas cadenas de cero.

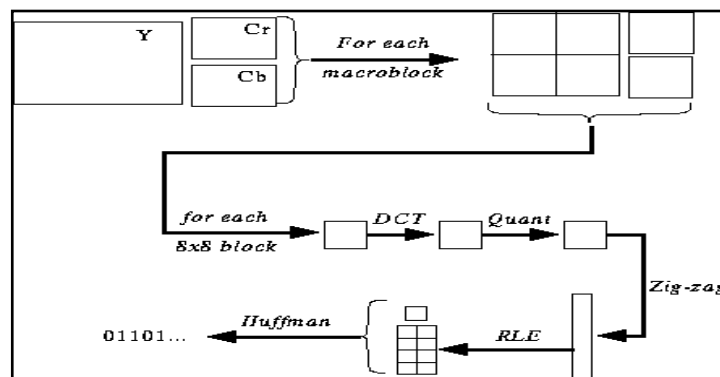


Figura 28. Esquema de codificación de cuadros I (Technische Hochschule Mittelhessen).

Posteriormente se usa RLE y finalmente se codifican con codificación Huffman, que usa códigos cortos para los términos más recurrentes y códigos largos para los menos comunes. La cuantización puede ser variable para cada macro bloque, permitiendo ajustarse a distintas ratas de transmisión y calidades de imagen.

- Cuadros P (*Predicted Pictures*). Un cuadro P es codificado usando como referencia una imagen previa P o I de la figura anterior. En la grafica 29 se observa como el bloque resaltado en el cuadro P objetivo es similar a un cuadro de referencia anterior incluyendo el desplazamiento hacia arriba a la derecha. Como la mayoría de los cambios en las imagines objetivo y referencia pueden ser aproximados como traslaciones de pequeñas regiones, se usa la técnica clave de compensación de movimiento.

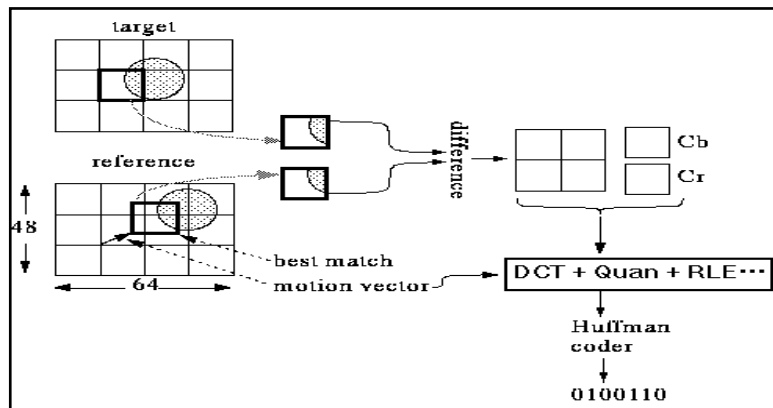


Figura 29. Esquema de codificación de cuadros P (Technische Hochschule Mittelhessen) .

La predicción basada en compensación de movimientos explota la redundancia temporal; dado que los cuadros están cercanamente relacionados, es posible representar o “predecir” los datos de un cuadro basado en el desplazamiento de la imagen precedente, de manera estimada. El proceso de predicción ayuda a la reducción del número de bits a transmitir por un gran margen. En los cuadros P, cada macro bloque de 16 x 16 es predicho de un cuadro anterior I, luego los cuadros son tomas instantáneas de un objeto en movimiento, como no están ubicados en el mismo espacio, se realiza una búsqueda del macro bloque precedente que “más se parezca” al bloque en consideración. La diferencia entre los dos macro bloques se llama error de predicción, y es codificado en el dominio DCT, resultando en pocos coeficientes de alta frecuencia, los cuales después de la cuantización requieren pocos bits para ser representados. Los desplazamientos en la dirección horizontal y vertical del bloque original respecto del objetivo son llamados vectores de movimiento. Estos vectores son transmitidos como en los cuadros P consecutivos, economizando bits en la transmisión. Finalmente se usa RLE y Huffman para la codificación final.

- Cuadros B (*Bidirectional Pictures*). En la figura superior se observa que hay información que no está en el cuadro de referencia anterior, pero aparece en el cuadro de referencia futuro. De este modo los cuadros B usan referencia como los cuadros P pero además pueden usar referencias futuras.

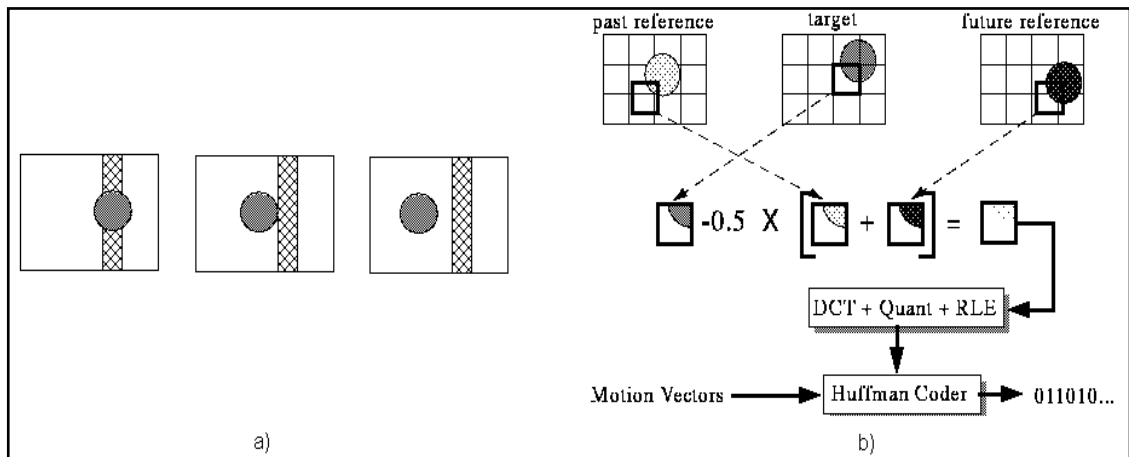


Figura 30. Esquema de codificación de cuadros B (Technische Hochschule Mittelhessen).

4.3.2. Generalidades sobre MPEG-4.

Este estándar se caracteriza por soportar Ratas de transmisión desde 5Kbps hasta 10Mbps, video progresivo y entrelazado, 176 x 144 x 10Hz, desde QCIF hasta superior a HDTV. Los principales cambios que vienen en MPEG-4 (MPEG-4 Natural Video Coding - An overview, 2000) se pueden observar en la imagen siguiente, en la que se muestra una mejor compresión, Interactividad a partir del contenido y acceso universal. Estos propósitos se logran optimizando la compresión en categorías a ratas de 1) menos de 64Kbps, 2) 64 - 384 Kbps y 3) 384kbps – 4Mbps; adicionalmente tiene la posibilidad de modelar objetos de formas arbitrarias, ajustándose al contenido transmitido; permitiendo además escalabilidad y flexibilidad en el uso de recursos al transmitir la forma y la textura de un objeto de modo separado.

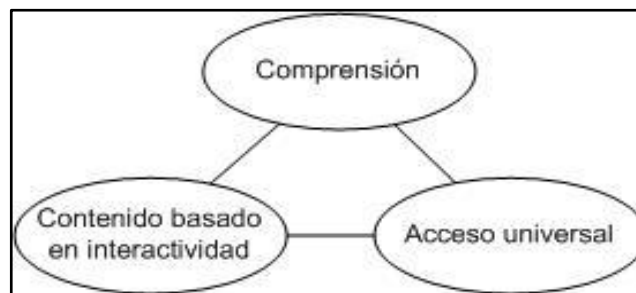


Figura 31. Esquema general de cambios respecto a MPEG-2.

Entre las mejoras de codificación se encuentra la posibilidad de seleccionar bloques de 16x16 como en MPEG-2 pero también 4 bloques de 8x8, realizar codificación de texturas y de formas (muy útil para el reconocimiento de objetos e interactividad), y la estimación/compensación de movimiento para un objeto de forma arbitraria en el plano de objetos VOP (Image and video compression for

multimedia engineering, 2008). MPEG-4 usa un sistema de capas, lo que permite tener un tipo de fondo y añadir distintas capas de acuerdo a la capacidad y complejidad del sistema mientras se respeta el tipo de objeto transmitido; sin embargo, para casos extremos se puede usar también la codificación por cuadros de MPEG-2 para mantener la compatibilidad hacia atrás.

4.3.3. Esquema jerárquico de codificación de MPEG-4.

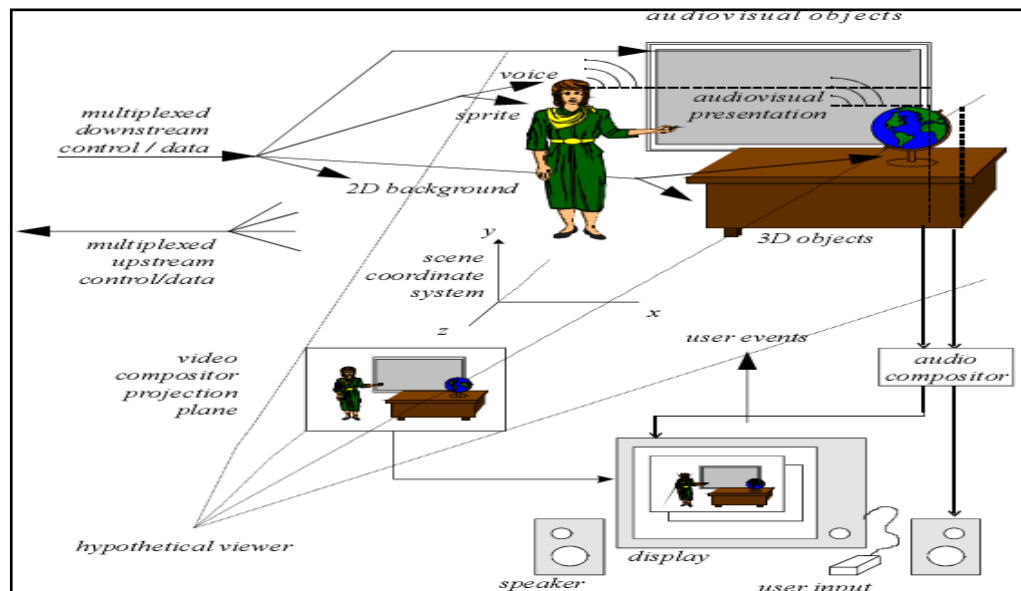


Figura 32. Composición de una escena en MPEG-4 (Overview of the MPEG-4 Standard, 2001).

MPEG-4 usa una estructura jerárquica que permite describir una escena tal como lo muestra la figura 32. Cada nivel puede ser accedido en el flujo de datos ya que tiene su código especial llamado de código de inicio. En general la escena se describe a través de:

- Secuencia de Objetos Visuales (*Visual Object Sequence VS*). Es la escena completa de MPEG-4 que puede contener objetos 2D y 3D con sus respectivas capas de profundización.
- Objeto de Video (*Video Object VO*). Un objeto video corresponde a un objeto particular en 2D en la escena. En el caso más simple corresponde a un rectángulo, pero también puede ser de forma arbitraria y compleja como un objeto real o un fondo de la escena.

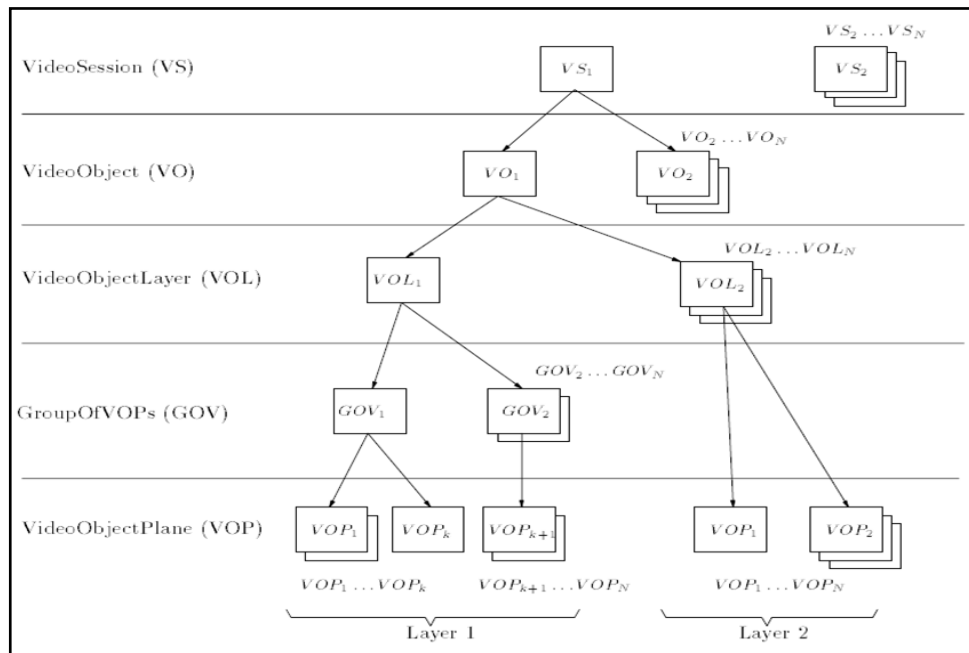


Figura 33. Esquema Jerárquico de codificación de MPEG-4 (MPEG-4 Natural Video Coding - An overview, 2000).

- Capa de Objeto de Video (*Video Object Layer VOL*). Cada objeto video puede ser codificado de manera escalable (múltiples capas) o no-escalable (capa única) dependiendo de la aplicación (recordemos la compatibilidad hacia atrás y la posibilidad de funcionar en dispositivos de escasos recursos) a través de las Capas de Objeto de Video VOL. Un objeto puede ser codificado usando escalabilidad temporal o espacial, desde resolución rústica hasta una escala fina, para ajustarse a los requerimientos de ancho de banda, poder computacional y preferencias de usuario disponibles en el decodificador.

Existen dos tipos de capas VOL, uno provee funcionalidad complete de MPEG-4 mientras que el otro tipo provee funcionalidad sencilla y corta para facilitar compatibilidad con H.263 baseline (Adding the Community to Channel Surfing A new Approach to IPTV Channel Change, 2009). Cada objeto de video es muestreado en el tiempo, y cada muestra es un plano del objeto video. Los planos del objeto video pueden ser agrupados para formar grupos de planos de objetos video:

- Grupo de Planos de Objetos de Video (*Group of Video Object Planes GOV*). agrupan los planos de objetos video. Pueden proveer puntos de le flujo de datos donde los planos de objeto video son codificados independientemente, generando de ese modo un punto de acceso aleatorio RAP; sin embargo, son opcionales.

- Plano de Objeto de Video (*Video Object Plane VOP*). es una muestra de un objeto video. Los VOP se pueden codificar de manera independiente o dependiente a través del esquema de compensación de video. Un cuadro “tradicional” de MPEG-2 puede representarse como un VOP rectangular. Los VOP son codificados usando macro bloques que *Transportan* forma, parámetros de movimiento y textura.

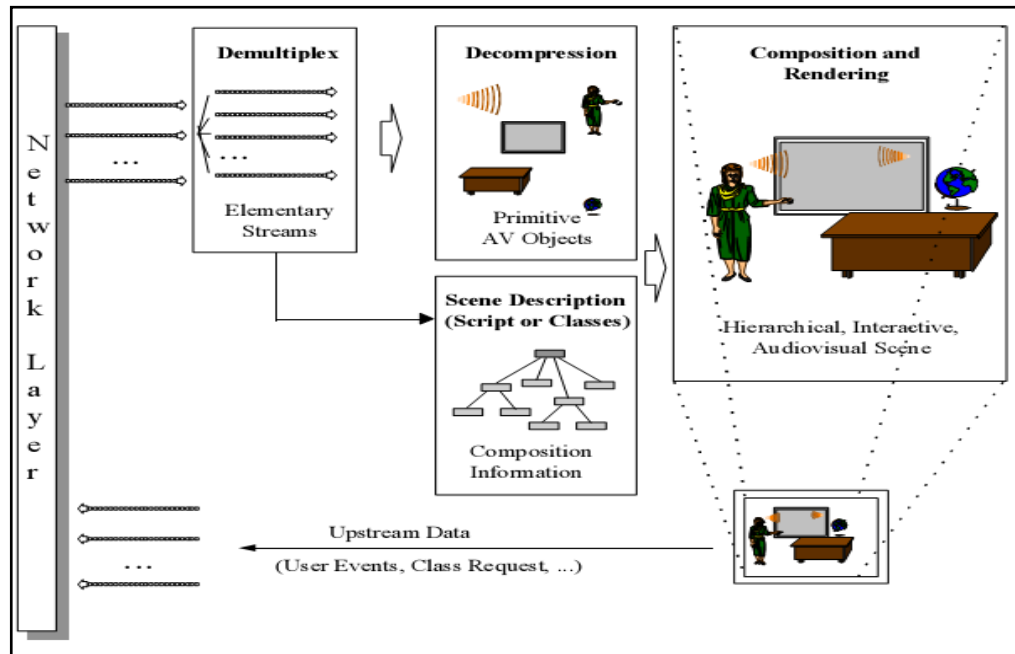


Figura 34. Ejemplo de Composición del video a través de las distintas capas en MPEG-4. Multiplexación de Objetos de video y planos [34]

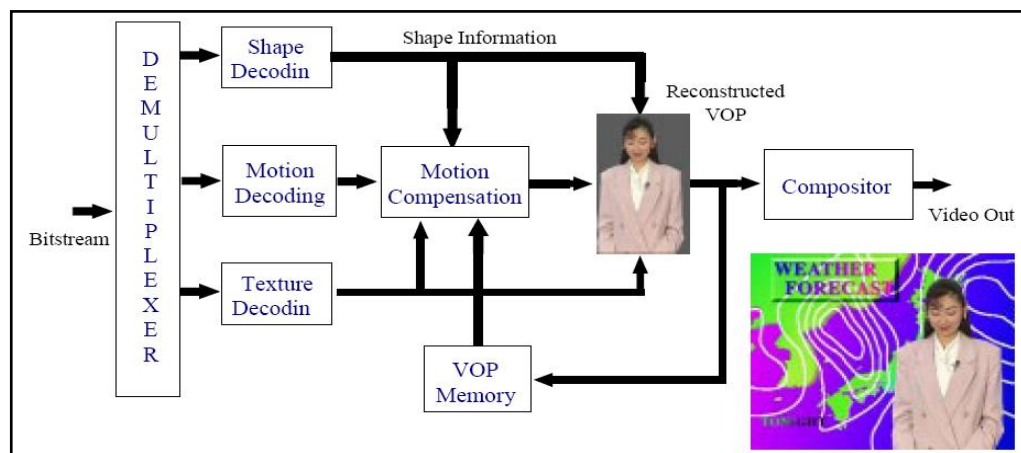


Figura 35. Ejemplo de codificación/decodificación de video en MPEG-4 (MPEG-4 Natural Video Coding - An overview, 2000).

De manera similar se puede construir imágenes en las que el fondo cambia relativamente poco y la rata de transmisión es relativamente baja con Sprites – *Sprite* es un término utilizado para definir un objeto-imagen que es visible durante toda una secuencia de video, lo que incluye desde un fondo estático hasta una figura de forma arbitraria-, construyendo los objetos más complejos y móviles serian construidos con GOV en varias capas. Esto se hace para mejorar la posibilidad de despliegue de una imagen en distintos dispositivos (Scalable Video Coding for IPTV Services, Junio 2009) y con capacidades de transmisión y despliegue variado.

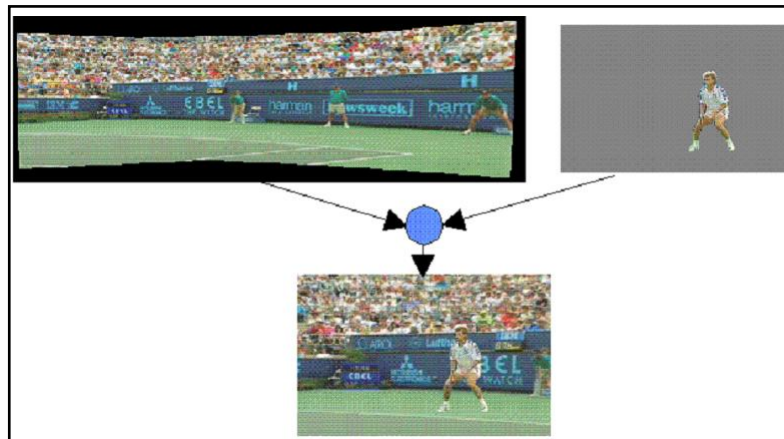


Figura 36. Composición de video a través de Sprites (Overview of the MPEG-4 Standard, 2001).

- Eficiencia de Codificación.

Cuando el contenido es codificado entrelazado, se puede lograr mayor eficiencia de codificación al usar codificación adaptativa tipo campo o tipo cuadro. La codificación de textura se realiza en modo cuadro o modo campo, intercambiable en la base de los macro bloques, de modo:

- *Frame DCT coding*: Cada bloque luma es compuesto de líneas de de dos campos alternadas.
- *Field DCT coding*: Cada bloque luma es compuesto de líneas de solo uno de los dos campos. La codificación modo campo es usada únicamente en los bloques luma debido a que los bloques croma siempre son codificados en modo cuadro. Un ejemplo se observa en la siguiente figura: en modo cuadro (parte superior de la figura) y en modo campo (parte inferior de la figura).

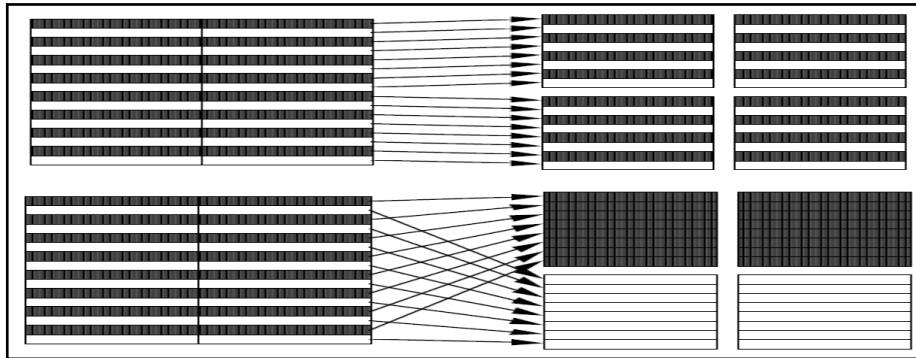


Figura 37. Codificación de Luma en modo cuadro y en modo campo (A Unified Approach for Repairing Packet Loss and Accelerating Channel Changes in Multicast IPTV, 2009).

4.3.4. Flujos de *Transporte* - *Transport Streams* (TS)

Un canal de IPTV consiste de n flujos elementales (*Elementary Streams* ES) que contienen video, audio, texto y aplicaciones (A benchmark for fast channel change In IPTV, 2006). Los ES son codificados independientemente y encapsulados en un distribuidor de contenido que los empaqueta y distribuye multiplexados (como los *Transport Stream*) o como un conjunto de ES independientes (como en *Real Time Protocol*). En el primero de los casos el canal será asociado a un solo Puerto y dirección *Multicast*, mientras que en el Segundo caso el canal será asociado como un conjunto de direcciones y puertos *Multicast*.

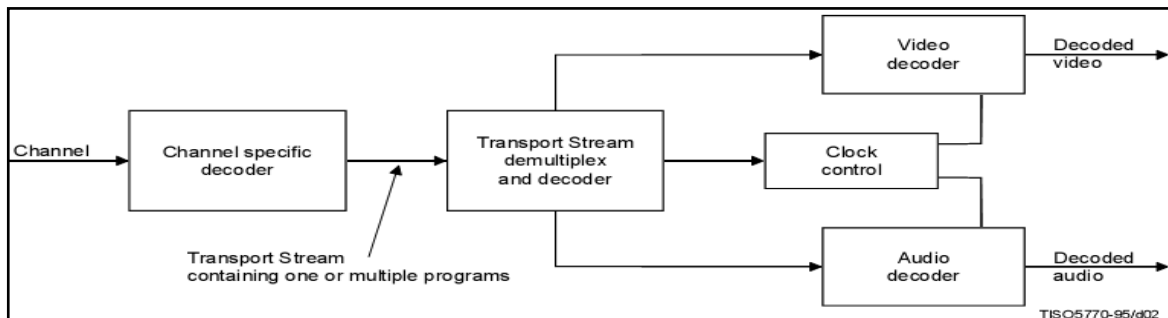


Figura 38. Diagrama de decodificación de canal⁶ a través de TS (Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems, 2000).

En MPEG se Transporta el video y el audio de manera multiplexada y en modo auto-descriptivo, a través de distintas tablas de control que Transportan información acerca de cómo decodificar el contenido. Esta información debe ser recopilada de las tablas y analizada para poder determinar cómo usar el resto del flujo de datos (se puede Transportar aplicaciones, video y audio en varios formatos).

⁶ El Clock Control es usado en el Program Clock Reference para sincronización.

Los TS permiten encapsular contenido de audio y video digital unido a aplicaciones y meta-datos de modo que se permita transmitir de modo multiplexado con sincronización interna. Describe el esquema usado para transmitir audio y video, y la información de control en banda, lo cual es Transportado en *Elementary Streams* (ES). Los TS se usan para transmitir en difusión y soportan el *Transporte* de varios tipos de contenido. Las tablas principales para la decodificación de contenido en los TS son Transportadas en la Información de Programa Específica (Program Specific Information PSI):

- PAT - Tabla de Asociación de Programa (*Program Association Table*): tiene la información de todos los programas Transportados en el TS. Lista los identificadores de programa (PID) para todos los PMTs, asociándolos con programas individuales.
- PMT – Tabla de Mapa de Programa (*Program Map Table*): Contiene los PID de cada ES asociado a un programa en particular, e incluye datos privados asociados al PID en la *Entitlement Control Messages* (ECM).
- CAT- Tabla de Acceso Condicional (*Conditional Access Table*): define el tipo de codificación usado e identifica todos los PIDs de los paquetes de TS que contienen los Mensajes de Administración de Autorización (*Entitlement Management Messages* EMM).

Los datos contenidos en los mensajes EMM y ECM son vitales en la organización y decodificación de los contenidos encriptados. Los PSI son Transportados en claro sin codificar de modo que sean inmediatamente analizadas al ser recibidas. Las tablas PAT CAT y PMT deben ser recuperadas del flujo, siendo analizadas y decodificadas para poder encontrar los flujos ES y la información de encriptación del contenido Transportado.

4.4. Conclusiones.

Se revisó como la ITU plantea la distribución del servicio de IPTV para operadores con red NGN, bajo lo cual los distintos bloques funcionales definen sus funciones de administración y entrega. Adicionalmente en este capítulo se consideró que el modo de codificación validado en todo el mundo es MPEG para distribución de contenido multimedia (audio/video) en *Multicast* aplicado en IPTV para operadores. Profundizando en MPEG, se ilustró la manera en que se usa las imágenes para producir el flujo elemental ES de video, a la vez que se visualizó como los flujos de Transporte TS permiten la distribución del contenido a través de una codificación clara para el decodificador de IPTV, generalmente un *Set-Top box*.

5. Fuentes de retraso en el cambio de canal en IPTV.

En la televisión convencional de difusión el sintonizador se puede ajustar localmente a la señal en un solo cuadro de tiempo y reproducirlo en video inmediatamente, por lo que los tiempos de *Zapping* (cambio de canal) son menos de 200ms y la demanda no tiene impacto en él; sin embargo, en el caso de IPTV el flujo de información llega individualmente para cada canal, por lo que al realizar un cambio de canal se debe cancelar el flujo enviado del canal anterior y enviar el nuevo flujo de datos del canal a desplegar.

Para poder prestar el servicio de IPTV en una red TCP/IP es necesario tomar en cuenta los códec usados en la conversión del servicio de televisión y VoD –video en demanda- para poder ser Transportados, debido a que estos códec determinarán la manera en que se transmite la señal de video y la cantidad de ancho de banda requerido para el Transporte de la señal; se hace necesario tener en cuenta también el modo en que se realizará la distribución de la información a través de un protocolo *Multicast*, y las condiciones propias de la red encargada de distribuir el contenido en tiempo real a través de *Real Time Protocol* RTP y *Real Time Streaming Protocol* RTSP.

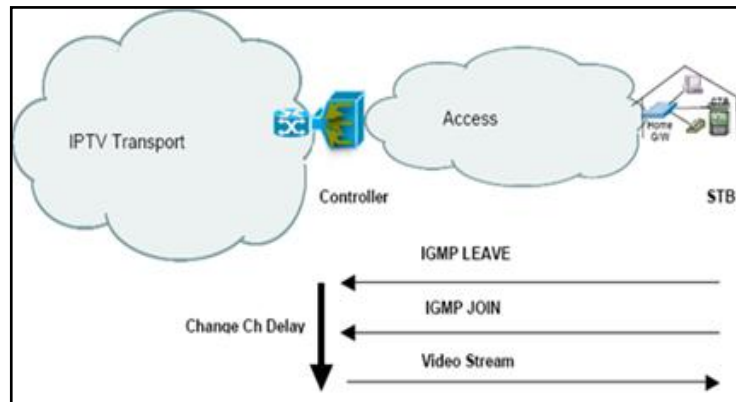


Figura 39. Esquema general de interacción IGMP para un cliente de IPTV (Agilent N2X Testing IPTV Channel Zapping, 2005).

El retraso en el cambio de canal es un problema importante que afecta significativamente la calidad de la experiencia del cliente. Además de los problemas propios de la televisión digital en cuanto a la decodificación y el manejo de buffers, en IPTV se tiene de manera adicional la dificultad de los posibles retrasos generados en la red de transmisión (TCP/IP) desde el cliente final hasta el servidor que controla la emisión de video.

5.1. Degradación de la señal percibida en el servicio de IPTV.

IPTV ha logrado perfilarse como un servicio integrador de medios clásicos de comunicación (voz, datos y video), llevando a otro nivel las aplicaciones soportadas por estos (VoIP, Internet, Video *Streaming*, etc.), permitiéndole al usuario establecer un alto grado de interactividad entre las mismas al ofrecer un compendio de estos servicios como un solo producto de cara al cliente (O'Driscoll, 2008): Guía electrónica programable (EPG), Personalización de canales, Video en demanda (VoD), Búsqueda web, Envío y recepción de e-mails, Aplicaciones centralizadas para grabación de video digital (DVR), Mensajería instantánea (tipo chat); Generación, Identificación, Desvío, y Conferencia de llamadas telefónicas; Juegos en demanda (GoD), Sistemas de alerta basados en convergencia IP, Video vigilancia; y todo esto bajo una único punto de vista para cliente: un servicio de televisión.

Comparado con el método tradicional de emitir televisión (NTSC-TV), la transmisión a través de redes IP actualmente representa una nueva oportunidad de negocio para los proveedores del servicio, generalmente ISP y proveedores de contenido, como para los clientes del mismo, replanteando la definición de “ver” televisión: convergencia de diversos servicios de telecomunicaciones sobre diversas formas de acceder a ellos (dispositivos de acceso), lo cual conlleva a replantearnos ¿quien es un televidente? Tradicionalmente este era concebido como una persona o grupo de personas que hacían uso del servicio a través de un televisor, en ciertos recintos dedicados al mismo. ¡En este momento, se considera televidente a cualquier persona que tenga acceso a una red IP, a través de un entorno móvil (telefonía celular 3G), inalámbrico (Wifi, Wimax, satelital), o convencionalmente por redes cableadas (xDSL)!

Independiente del medio de acceso a la red, al realizar el disfrute del servicio IPTV, el usuario puede experimentar cierto tipo de deterioros sobre la señal de video recibida (tales como pérdida de paquetes, *Jitter* tanto en los paquetes ip como en los paquetes de video, error de bit en cada tipo de paquete), los cuales afectan directamente la calidad percibida por el mismo (generando pérdida de definición, recuadros, imagen borrosa o con errores concentrados en un punto), dichos detrimentos están generalmente causados por dos factores: a) los deterioros causados desde la fuente emisora de la señal *Multicast* y b) la degradación que dicha señal sufre toda vez que realiza el trayecto desde la fuente hasta el usuario final. En la figura 40, se describe de forma general las etapas inmersas en el proceso de envío de video *Streaming*, para el servicio de IPTV.

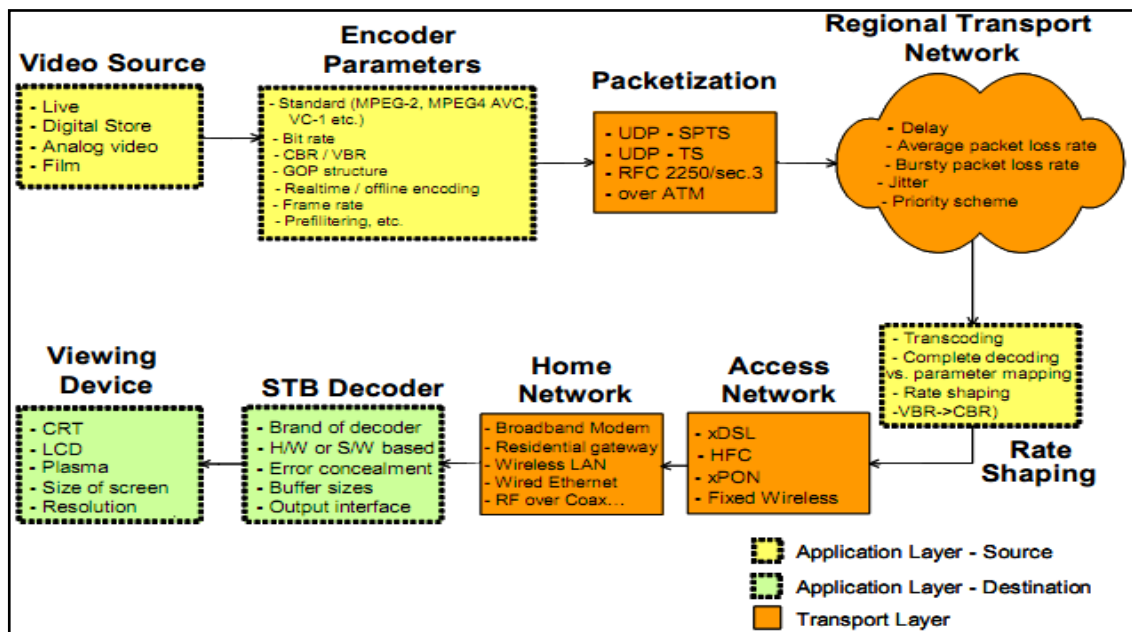


Figura 40. Sistema de entrega de video Streaming para servicio de IPTV (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006).

5.1.1. Deterioros causados desde la fuente de emisión.

Como se observa en la figura 40, los deterioros desde la fuente de emisión están directamente relacionados con la etapa de digitalización y compresión de la señal de audio/video desde la fuente y la interacción entre las múltiples señales a codificar (múltiples canales de contenido audiovisual) previas a ser enviadas a la red de Transporte. En este caso los principales factores que afectan la señal codificada previa interacción con la capa de Transporte son (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006):

- Errores de transmisión provenientes de la señal fuente hacia la etapa de compresión y digitalización: característico en señales fuente provenientes de redes tipo HFC.
- Formato de compresión empleado: actualmente, la mayoría de los esquemas de compresión de video están basados en el formato MPEG, dado que consume poco ancho de banda respecto a la red de *Transporte*, tal formato es vulnerable a la pérdidas “instantáneas” de la señal fuente, dado que su concepción general radica en replicar una copia digitalizada y comprimida de la señal fuente sin opción de recuperar porciones de señal entrante perdidas.
- Reducción de la resolución horizontal en pro de emplear un Bit Rate más bajo, lo cual afecta directamente la nitidez del video percibido, ejemplo de

estos ajustes se encuentran en los formatos (ATSC Digital Television Standard: Part 4 – MPEG-2 Video System Characteristics, 2009) SD, HD y Full HD.

- *Bit Rate*: tal parámetro puede ser afectado durante intervalos de tiempo en el que la cantidad de canales “fuente” puede afectar la calidad del equipo encargado de realizar la compresión de señales entrantes al sistema. Lo anterior puede producir que fracciones de imágenes no sean comprimidas totalmente.
- Salida del video codificado VBR Vs CBR: los *Stream* codificados con VBR (Variable Bit Rate) responden con calidad constante ya que el Bit Rate se adapta a la complejidad del video fuente a codificar, aunque el diseño de tráfico para este tipo de *Stream* sean más difíciles de llevar a cabo. Los *Streams* codificados con CBR (*Constant Bit Rate*) poseen calidad variable dado que en cierto el Bit Rate fijado en el codificador no sea suficiente para procesar la complejidad de cierta grupo de imágenes del video fuente.
- Configuración y calidad del equipo codificador. Estas características del equipo codificador hacen referencia la configuración puntual de la estructura (longitud) del grupo de imágenes (GOP):
 - ✓ A menor GOPs mejora la calidad pero se reduce el desempeño del Bit Rate de compresión.
 - ✓ A mayor GOPs mejora la relación de compresión máxima pero aumenta el tiempo de cambio de canal y la probabilidad de perder paquetes.
 - ✓ GOPs dinámicos pueden mejorar el cambio de escenas, pero este tipo de configuración no es gestionable en todos los tipos de Setup-Box, además esta configuración puede aumentar la latencia acarrear tiempos de cambio de canal variables.
- Rango de búsqueda del vector de movimiento:
 - ✓ Búsquedas amplias aumentan la calidad, pero incrementan el procesamiento del codificador y retardos del mismo.
 - ✓ Las búsquedas amplias son generalmente aplicadas a escenas muy dinámicas como por ejemplo deportes, comics, etc.

En la figura 41 se observan algunos tipos de deterioros en la señal percibida por el usuario, a raíz de errores de cuantización o estimación de vectores de movimiento propios del codificador de video.



Figura 41. Deterioros en la señal percibida⁷ por el usuario (ITS).

Si los vectores de movimiento no han sido bien calculados, se puede presentar el efecto de la ventana sucia, donde la imagen estática se encuentra en orden pero la parte móvil de la imagen esta borrosa (Image and video compression for multimedia engineering, 2008).



Figura 42. Efecto⁸ de la “ventana sucia” (Image and video compression for multimedia engineering, 2008).

⁷ Deterioros percibidos a raíz de errores de cuantización o estimación de vectores de movimiento.

⁸ Errores debido a errores en la estimación del vector de movimiento.

5.1.2. Degradación de la señal desde la fuente hasta el usuario final.

Los detrimentos sufridos por la señal *Multicast* cuando esta debe recorrer la red hasta llegar al usuario final, están determinados por la forma y características de la ruta que deba seguir. La “forma” y algunas características de dicha ruta están básicamente definidas por la “topología de la red” (arquitectura física y lógica); otras características que perfilan el desempeño de la ruta están dadas por la cantidad de equipos de conmutación y enrutamiento de paquetes, las políticas de enrutamiento aplicadas (prioridades y optimización de tráfico *Multicast*), y el tipo de segmentación física y lógica establecidas en las diferentes capas de la red (acceso, agregación y *Core*) y en especial la calidad de la red de “ultima milla” que para el caso de los enlaces de cobre, representan un porcentaje significativo en lo concerniente a la degradación de la señal *Multicast*.

Respecto a la cuantificación de la degradación de la señal *Multicast*, determinada desde el usuario final, los parámetros más comunes que definen su comportamiento están dados por las magnitudes de parámetros como:

- Relación de pérdida de paquetes IP (IPLR): es la relación del total de paquetes IP perdidos respecto al total de paquetes transmitidos.
- Relación de error de paquete IP (IPER): es la relación entre el total de paquetes erróneos respecto al total de los paquetes exitosos, resultante de la transferencia de paquetes IP.
- Retardo en la transferencia de paquetes IP (IPTD): este retardo abarca el resultado de paquetes con éxito y con errores a través de un segmento de la red. IPTD es el tiempo ($t_2 - t_1$) cuando se presenta la tranferencia de dos paquetes IP de referencia (IPREs, a través de un punto de medición, en la figura siguiente se muestra un ejemplo).

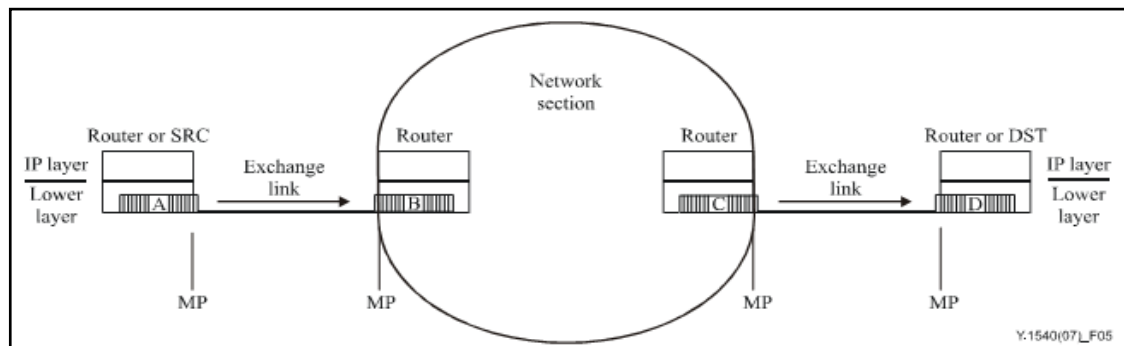


Figura 43. Ejemplo de una transferencia de paquete IP (Y.1540, Internet protocol data communication service IP Packet transfer and availability performance parameters, 2002).

La medición de IPTD se lleva a cabo cuando un ingresa un paquete IPRE1 al tiempo t_1 y sale un paquete IPRE2 en el tiempo t_2 , donde $(t_2 > t_{21})$ y $(t_2 - t_1) \leq T_{max}$. El retardo de transferencia IP de extremo a extremo es el retardo en un sentido (en una vía) entre el punto de medición MP, la fuente y el destino. La figura siguiente representa un retardo en una transmisión de extremo a extremo en un sentido.

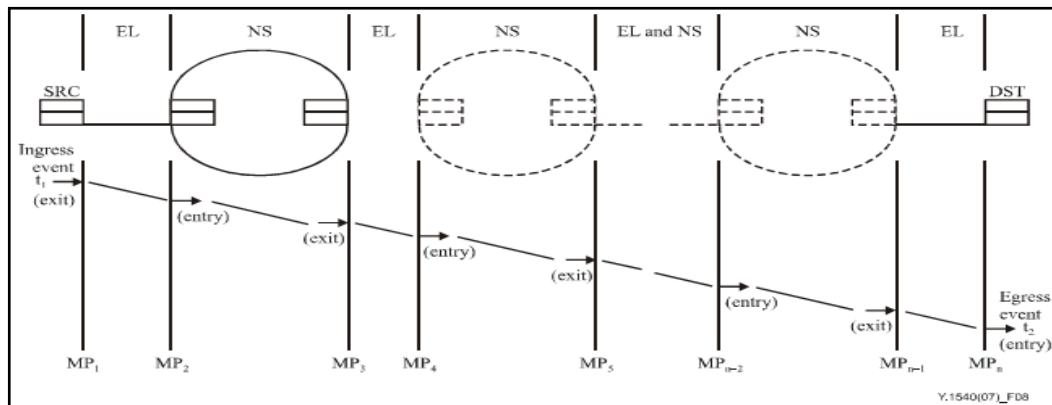


Figura 44. Retardo en transferencia de un paquete IP (Y.1540, Internet protocol data communication service IP Packet transfer and availability performance parameters, 2002).

- Variación del retardo de paquetes IP (IPDV) (RFC 3393, IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM), November 2002): este término generalmente hace referencia a la variación del retardo respecto a una referencia métrica (retraso medio o mínimo) entre un par de paquetes, medidos desde un punto A hasta pasar por un punto B. IPDV también es definido como el retardo en una “vía” o un sentido, de los paquetes seleccionados, por ejemplo, dentro de un flujo *Multicast*. La definición de este parámetro para el caso de una vía, dos vías, metodologías, sincronización y formas de llevar a cabo las mediciones para ambos tipos de vías, están definidas en la recomendación [b-IETF RFC 3393].
- Retardo de cambio de canal (*Zap time*): el retardo en el cambio de canal (*Zapping Delay*), es un aspecto clave en la calidad de la experiencia (QoE) o calidad percibida por el usuario final y una métrica fundamental en la prestación del servicio de IPTV. Este retardo está definido como la diferencia de tiempo entre una petición hecha por el usuario (a través de un *Set-Top box* generalmente) para cambiar de canal *Multicast* y la visualización de la primera trama del canal requerido en la pantalla de su equipo de televisión (Channel Change Delay in IPTV Systems, 2009).

5.2. Perspectiva del usuario y de proveedor del servicio respecto al *Zapping*.

El *Zapping* como factor degradante de la calidad del servicio (QoS) y de la experiencia (QoE) en el servicio de televisión IP (IPTV) puede ser analizado bajo dos perspectivas: desde la perspectiva del usuario y desde la perspectiva de las empresas programadoras de contenido televisivo y/o marketing. Desde la perspectiva del cliente, el fenómeno del *Zapping* es visto como una falencia en el servicio de televisión el cual agrega retardo al contenido audio visual siempre que ocurra un cambio de canal. Desde la perspectiva de las empresas programadoras de contenido televisivo y/o marketing, como la reacción de un conjunto de usuarios demográficamente catalogados (sexo, edad, ubicación geográfica, estrato social, etc.) ante la aceptación o no, de la combinación de ciertos contenidos emitidos a ciertas horas del día, bajo ciertos espacios publicitarios y la duración de los mismos; desde tal perspectiva, puede ser concebido bajo tres percepciones, según su naturaleza (Caracterización de los individuos propensos al cambio de canal de televisión, Segundo trimestre 2000): i) desconexión física del individuo: producida cuando la persona abandona el recinto donde se encuentra el televisor, ii) desconexión mecánica: ocasionada a partir del uso de dispositivos electrónicos (conocidos como "controles remotos" o mandos a distancia, etc.), para llevar cabo el cambio de canal o filtrado de anuncio publicitario, iii) definiciones relativas a la desconexión psicológica: producida cuando la persona se expone al medio televisivo pero no dedica ninguna atención, razón por la cual el contenido televisivo es interrumpido.

El enfoque de esta tesis se basa en primer esquema del usuario, reseñando el fenómeno del *Zapping* como un conjunto de factores propios de la red de telecomunicaciones usada por este para el disfrute de su contenido televisivo. Como se ha citado en capítulos anteriores, el servicio de IPTV emplea la transmisión *Multicast* a través de la red para llevar el contenido televisivo hasta el usuario, permitiendo interactividad en dos vías (esquema cliente-servidor). Se cita lo anterior para reseñar que la respuesta del cliente, en lo concerniente a la exploración de canales, se conserva respecto a la transmisión análoga tradicional en modo *Broadcast*: realizando saltos aleatorios en lo concerniente al cambio de canal y frecuencia del mismo, en el modo *Surfing* el usuario realiza consultas cíclicas del canal adyacente hacia arriba (n+1) o hacia abajo (n-1).

5.2.1. QoS y QoE en el servicio de IPTV.

Uno de los objetivos intrínsecos en la prestación del servicio de IPTV radica en la calidad del contenido audiovisual brindado, tal calidad está descrita básicamente en dos definiciones: la primera (QoS), consiste en la aplicación de técnicas y mecanismos adecuados para que el "mejor esfuerzo" realizado por la red supla los requerimientos demandados por el usuario; la segunda definición de calidad (QoE) está determinada por la perspectiva generalizada del usuario respecto al servicio provisto por la red, la cual no está exenta de opiniones subjetivas y personales de

la misma, variando según factores característicos del usuario (entorno social, contexto cultural, escolaridad, tipo de aplicación a emplear, etc.). En la figura 44 se observa la relación ambas definiciones.

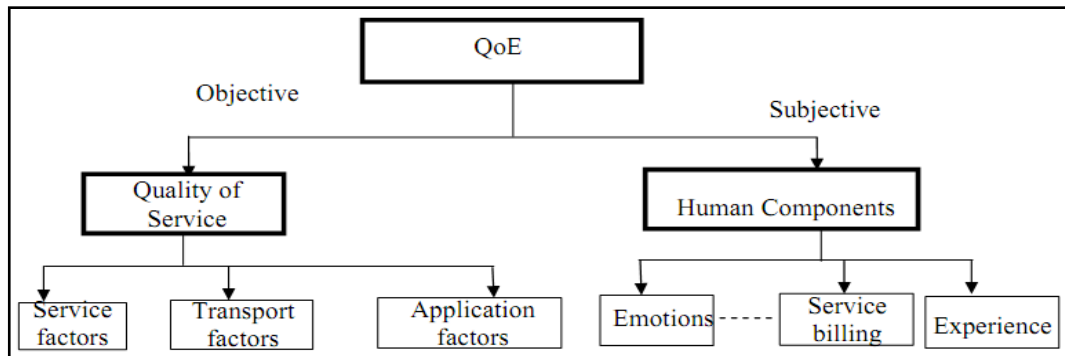


Figura 45. Relación entre QoE y QoS (ITU-T G.1080; Quality of experience requirements for IPTV services, December 2008).

QoE es el desempeño global de un sistema desde el punto de vista del usuario, incluyendo los efectos del sistema de extremo a extremo (usuario, terminales, red, infraestructura de servicios, etc.) y un indicador de cuán bien el sistema suple sus necesidades (ITU-T, May 2007), QoS es una medida del desempeño a nivel del paquete desde la perspectiva de la red, haciendo referencia a un conjunto de mecanismos que permiten gestión diferenciación de servicios o de usuarios (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006). Ambos conceptos, están ligados mutuamente, ya que los mecanismos de QoS aplicados a la red en pro de acrecentar el “mejor esfuerzo” de calidad hacia el cliente, afectaran directamente la “opinión” que el usuario posea respecto a su concepto particular de QoE. En figura 45 se observa la relación entre uno y otro; la relación entre ambos conceptos es netamente empírica aunque en el ámbito de ingeniería el QoE es analizado a partir de datos objetivos (retardos, pérdida de paquetes, tiempos de indisposición del servicio, etc.), propios de los mecanismos de QoS.

Como se observa en la figura 46, la topología empleada para el proceso de aseguramiento de QoE en el cliente, posee un enfoque descendente (*Top/Down*) donde el cliente es la primicia para la extracción de métricas de desempeño y objetivos de calidad. Tal topología incluye el análisis de requerimientos mínimos de rendimiento para difusión en de contenido televisivo en formato SD, HD y VoD, estos criterios fueron tomados de la recomendación ITU-T G.1080.

- Requerimientos para mínimos de desempeño para formato SD (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006).
- ✓ Fuente: Relación de aspecto 4:3, la inserción de la cabecera puede ser análoga o digital.

- ✓ Resolución máxima visualizable: 720 pixeles x 480 líneas (América del Norte) ITU-R BT.601-5 o 720 pixeles x 576 líneas (Europa).
- ✓ Velocidad de reproducción (*Frame Rate*): 29,97 fps (North América) o 25 fps (Europa). 23,97 / 24 fps se puede también utilizar para los materiales de película (con tracción 3:2 en América del Norte para la conversión a 30 fps).

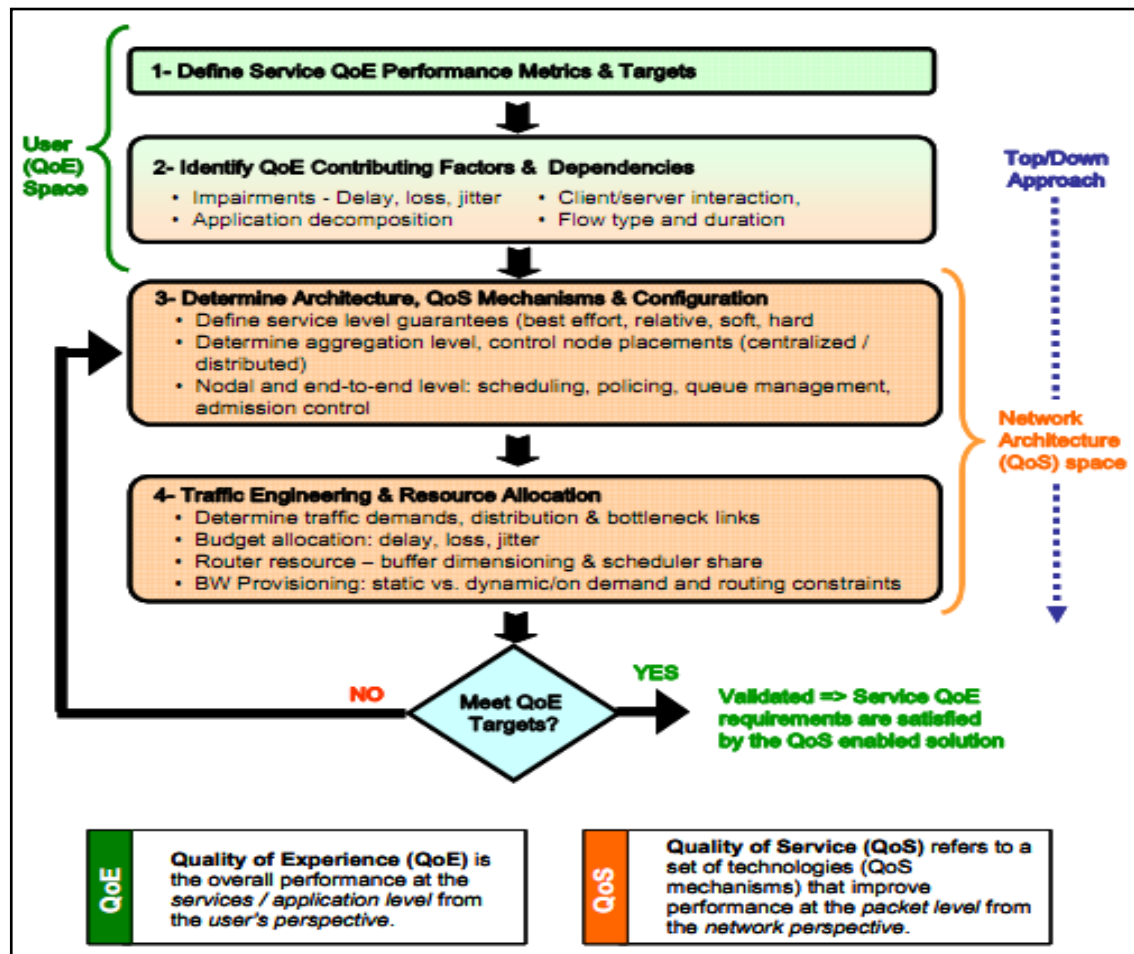


Figura 46. Proceso ingeniería QoE a partir de datos objetivos (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006).

Códec de video estándar	Bit Rate mínimo (nivel de flujo de video elemental)
MPEG 2	2.50 Mbit/s CBR
MPEG 4	1.75 Mbit/s CBR
SMPTE 421M	1.75 Mbit/s CBR
AVS	1.75 Mbit/s CBR

Tabla 3. Requerimientos mínimos para emisiones en formato SD (ITU-T G.1080; Quality of experience requirements for IPTV services, December 2008).

- Requerimientos para mínimos de desempeño para formato HD (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006).
 - ✓ Fuente: ATSC (América del Norte) o DVB (Europa) o TBD (Asia Pacífico). Relación de aspecto 16:9. La inserción de la cabecera debe ser digital.
 - ✓ Resolución máxima visualizable: 720p60 (por ejemplo, SMPTE 296M) o 720p50 (DVB).
 - ✓ Horizontal x Vertical: 1280 píxeles x 720 líneas.
 - ✓ 50, 59,94, 60 cuadros de exploración progresiva fps (*Frames* por segundo).
 - ✓ 1080i60 (por ejemplo, SMPTE 274M) o 1080i50 (DVB).
 - ✓ Horizontal x Vertical: 1920 píxeles x 1080 líneas.
 - ✓ 29,97 (59,94), 30 (60i) cuadros entrelazados por segundo, dos campos por cuadro.

Códec de video estándar	Bit Rate mínimo (nivel de flujo de video elemental)
MPEG 2	15 Mbit/s CBR
MPEG 4	10 Mbit/s CBR
SMPTE 421M	10 Mbit/s CBR
AVS	10 Mbit/s CBR

Tabla 4. Requerimientos mínimos para emisiones en formato HD (ITU-T G.1080; Quality of experience requirements for IPTV services, December 2008).

- Requerimientos para mínimos de desempeño para emisión de video en demanda VoD (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006).
 - ✓ Fuente: NTSC (América del Norte) o PAL/SECAM (Europa/ Asia pacífico). Relación de aspecto 4:3.
 - ✓ Resolución máxima visualizable: 352 píxeles x 480 líneas (América del Norte) de la UIT-R BT.601-5 (también conocido como ½ D) o 352 píxeles x 576 líneas (Europa).
 - ✓ Se recomienda resolución ¾ D (528x480 / 528x576) para lograr alineación con los máximos permitidos a operadores de cable.
 - ✓ Velocidad de reproducción (*Frame Rate*): 29,97 fps (Norte América) o 25 fps (Europa). 23.97 fps se puede también utilizar para los materiales de película (con tele cine 3:2 en América del Norte para la conversión a 30 fps). Dos campos entrelazados por cuadro.

Códec de video estándar	Bit Rate mínimo (nivel de flujo de video elemental)
MPEG 2	3.18 Mbit/s CBR
MPEG 4	2.10 Mbit/s CBR
SMPTE 421M	2.10 Mbit/s CBR
AVS	2.10 Mbit/s CBR

Tabla 5. Requerimientos mínimos de desempeño para emisión VoD (ITU-T G.1080; Quality of experience requirements for IPTV services, December 2008).

5.3. Protocolo *Multicast*.

Para lograr transmitir canales de televisión en redes IP, se usan direcciones *Multicast* que en el pasado tenían poco uso debido a que solo se envía información a un grupo determinado. Por esto, los resultados de operar *Multicast/Unicast* en las redes de los proveedores de servicios de internet (I.S.P) no han sido probados de manera extensiva y las interacciones que se pueden presentar se encuentran poco documentadas. Como un compromiso importante entre el cliente y el I.S.P, la calidad de la experiencia percibida por el consumidor (QoE), se convierte en un factor de vital cuidado, dado que el cliente debe percibir el menor retraso en el cambio de canal y preferiblemente la mejor calidad de la que ofrecen los cable-operadores convencionales (por ejemplo, operadores de redes Coaxiales).

El retraso en el cambio de canal se presenta debido a las distintas interacciones entre la red del Proveedor del Servicio de Contenidos (CSP por sus siglas en inglés) y el *Set-Top box* (STB). Debido a que se usa cada grupo *Multicast* como un canal de TV, cada usuario viendo un determinado canal A pertenece a un determinado grupo A de *Multicast*, y por tanto, cada cambio de canal significa una petición de retiro/unión a un grupo de *Multicast* a través de *Internet Group Managment Protocol* (IGMP *Join/Leave*).

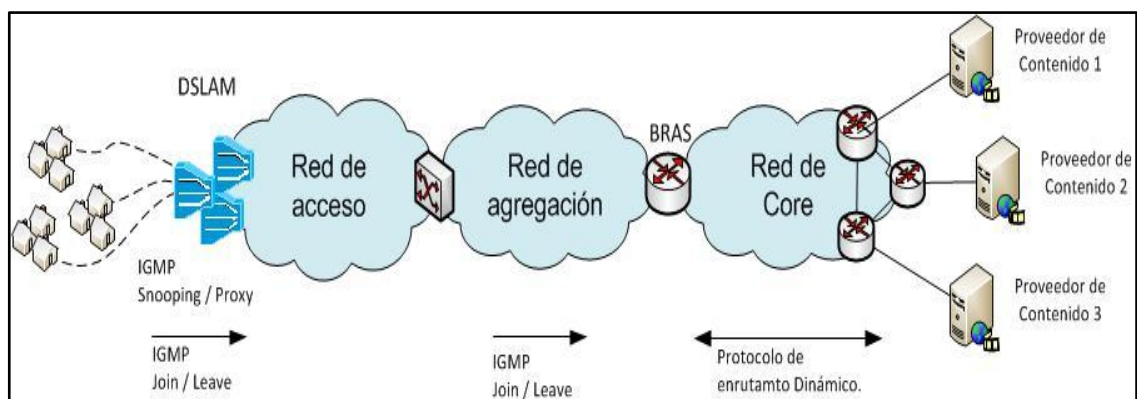


Figura 47. Modelo típico de red para distribución *Multicast* sobre xDSL (Agilent N2X Testing IPTV Channel Zapping, 2005).

Durante estos cambios se debe entender que los retardos del cambio de canal en la red pueden ser interpretados como la mezcla del retardo del plano de control IGMP más los retardos de las interacciones en la red en el Transporte de la señal de video, en general estas interacciones de enrutamiento PIM-SSM, unión/abandono IGMP y envío de contenido *Multicast* a través de los distintos grupos se observan de manera superficial en la figura 47.

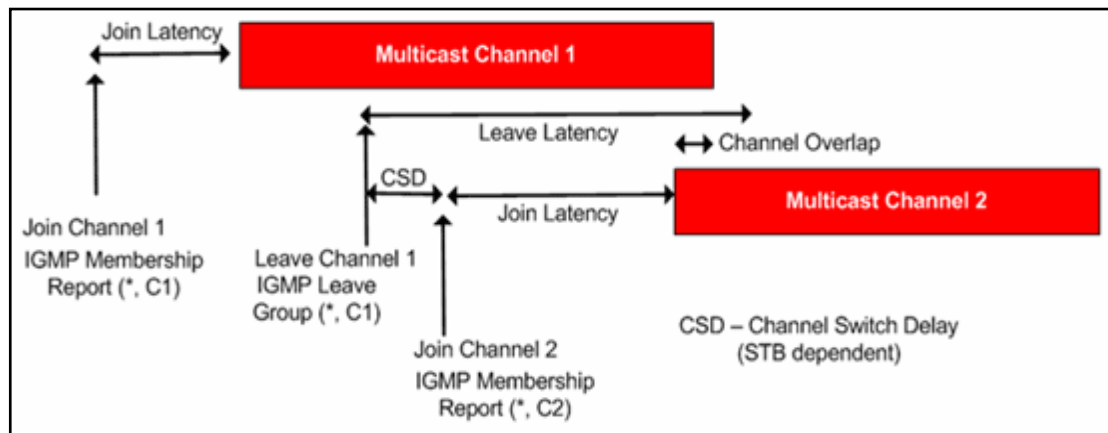


Figura 48. Interacción básica de IGMP para cambiar de canal 1 al canal 2 (IXIA Communications).

Para entender el retardo en el cambio de canal, es necesario entender ciertos actos que se deben realizar durante el proceso de estar viendo un canal y cambiar al siguiente en IPTV, que se asocia al cambio de grupo de *Multicast* tomando como referencia la figura 48:

- *IGMP Join Latency*: Es el lapso de tiempo existente entre el requerimiento de unirse a un grupo *Multicast* y la recepción del primer byte de datos obtenido del grupo *Multicast* requerido.
- *IGMP Leave Latency*: Es el lapso de tiempo existente entre el requerimiento de abandonar un grupo *Multicast* y la recepción del último byte de datos del grupo *Multicast* abandonado.
- *Channel Overlap*: Es el lapso de tiempo cuando se recibe datos de un grupo nuevo de *Multicast* y del anterior grupo de *Multicast* al mismo tiempo.
- *Channel Switch Delay* (dependiente del STB): Es un lapso de tiempo asociado al procesamiento de los requerimientos de *Join/Leave* de IGMP interno al STB.

De acuerdo con (Channel Change Delay in IPTV Systems, 2009), un criterio para tener en cuenta el diseño de una red de IPTV es qué tan cerca se trae la distribución de canales hacia el cliente. Si se tiene suficiente ancho de banda en

la red de agregación (se entiende que en la red de núcleo el ancho de banda también debe ser suficiente) se podría enviar los canales hasta un *Router* distribuidor de video prácticamente en el acceso; aún si el ancho de banda no es lo suficientemente amplio para enviar todos los canales, se podría realizar encuestas –vía logs de usuarios- para enviar hasta el mencionado *Router* los canales favoritos de los consumidores, de modo que solamente se presenten solicitudes a la red de agregación, a través de una solicitud de *Join Multicast*, cuando los clientes soliciten canales que no sean tan populares.

5.4. Codificación de Video.

Para codificar video se tiene aceptado el uso de dos tipos de códec estándar como son el ITU H.263_MPEG-2 y H.264_MPEG-4_part10, los cuales permiten la transmisión de video a aproximadamente entre 3.5Mbps y 1.5Mbps por canal a definición estándar respectivamente. Esto antepone una gran carga para el operador en cuanto a requerimientos de ancho banda en los hogares colombianos, donde en promedio se cuenta con 2-3 televisores por hogar de estrato 3 en adelante (Portafolio.co), requiriendo entre 8 y 12 Mbps para prestar además el servicio de acceso a internet de banda ancha.

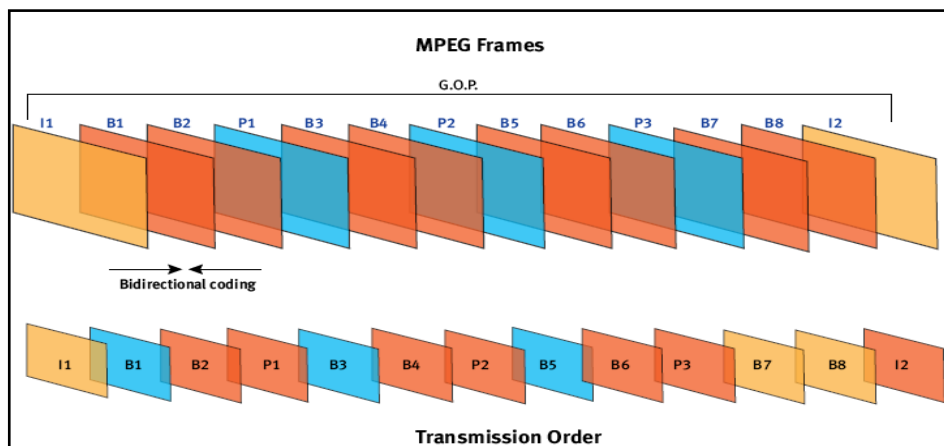


Figura 49. GOP en la codificación MPEG-2 y MPEG-4 (An Effective Channel Control Algorithm for Integrated IPTV Services Over DOCSIS CATV Networks, 2007).

Acerca de la codificación de video, en general se puede decir acerca de MPEG-2 H.263 (SD o HD), MPEG-4 AVC (H.264), que usan un tipo de compresión donde el video se divide en un conjunto de cuadros que “se despliegan en grupo” formando un grupo de imágenes GOP –group of Pictures- (An Effective Channel Control Algorithm for Integrated IPTV Services Over DOCSIS CATV Networks, 2007). Un GOP comprende 3 tipos de cuadros: I-intraFrame (cuadro entre-imágenes), P-predictive Frame (cuadro predictivo) y B-bidirectional Frame (cuadro bidireccional); su funcionamiento es como sigue: en un cuadro I se *Transporta* toda la información necesaria para desplegar una imagen, en un cuadro P se

Transporta los cambios que se producen del cuadro I precedente –Transportando información que va a “moverse” en el cuadro I precedente, pero omitiendo las partes que no cambian, por ejemplo, el fondo estático de una imagen-; esto implica que con un cuadro P no se puede desplegar una imagen completa, es mandatorio usar un cuadro I con anterioridad. El cuadro B es similar al cuadro P en cuanto a que Transporta cambios, pero difiere en el hecho de que Transporta información referida al cuadro P o I inmediatamente anterior y posterior. Se tiene que un cuadro I contiene 2 o 3 veces más información que un cuadro P y un cuadro B, por lo que requieren mayor ancho de banda para transmitir; además, entre más cantidad de cuadros I mayor número de puntos de acceso para desplegar el fluido de video. Un GOP típico es encapsulado en un paquete IP contiene entre 7 y 10 cuadros en un patrón IBBPBBPBBP, aunque el orden de transmisión puede ser ajustado de modo distinto.

En la codificación MPEG-4 se tiene además la codificación jerárquica, donde las referencias se dan en niveles más altos para mejorar la rata de compresión, estos sucede debido a que los GOPs van referenciados con otros GOPs (el VO y sus distintas capas dentro de un entorno de sesión de video VS). Lo anterior implica un tiempo de espera más largo mientras el STB puede obtener un punto de referencia RAP para comenzar a decodificar y desplegar el video. Los retos en cuanto al uso del códec se pueden considerar como número de cuadros I que se van a usar en la transmisión, relacionados directamente con el ancho de banda, más la velocidad de enganche del STB para llenar su buffer y desplegar después de un cuadro I.

5.5. Sincronización y protección de errores.

Para facilitar el *Transporte* rápido del video se puede usar UDP, implicando que pueda presentarse variaciones en el tiempo de llegada de los paquetes (*Jittering*), llegada de paquetes en desorden y hasta pérdida de paquetes. Dentro del *Channel Switch Delay*, que es dependiente del STB, debemos tener en cuenta también el retraso introducido por el Buffering que requiere el equipo antes de ser enviados los paquetes al Decoder. Este tiempo de Buffering es necesario (Adding the Community to Channel Surfing A new Approach to IPTV Channel Change, 2009) debido a que se debe proteger el *Stream* de video de los posibles *Jitters* que pueda tener la red, y para evitar “descargas de buffers” que inducirían errores en el despliegue del video. Este tipo de retrasos por llenado de buffers para evitar los errores de transmisión se incrementa con la codificación del video, la cual requiere de un punto de acceso para comenzar la decodificación y posterior despliegue del contenido RAP. Adicional a las fuentes de retrasos ya mencionadas, se debe tener en cuenta las condiciones de la red para el manejo de errores y retransmisiones. En general, el servicio de IPTV se *Transporta* a través de los siguientes protocolos (An Implementation of the Broadband Home Gateway supporting Multi-Channel IPTV Service, 2006):

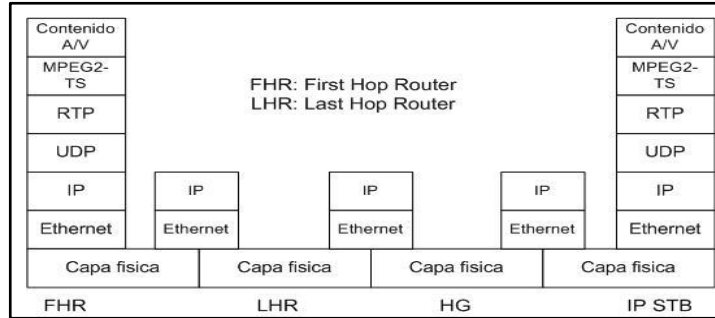


Figura 50. Protocolos para la transmisión de contenidos en IPTV (An Implementation of the Broadband Home Gateway supporting Multi-Channel IPTV Service, 2006).

El protocolo RTP Transporta cada contenido multimedia –audio y video- como un flujo elemental separado que debe ser integrado a través de *Time Stamps* (marcas de tiempo usadas para coordinar los flujos) que son enviados a través de reportes de control en RTCP, estrategia bajo la cual todos los elementos de la red deben sincronizarse con un dominio con reloj común. Si existe un retraso o pérdida en la transmisión del mensaje RTCP, o si el mensaje llega descoordinado respecto al cuadro I, se presentará una fuente adicional de retraso en el STB debido a que los flujos sólo pueden reproducirse de manera integrada y combinada.

Adicional a estas situaciones retomamos el problema de los errores debido a que si se presenta una pérdida en un paquete se puede generar una retransmisión, con la consecuencia adicional de perder la secuencia de GOP que se traía; este problema aumenta en el caso de televisión encriptada (canales Premium).

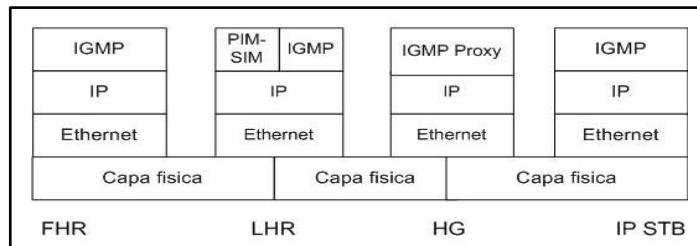


Figura 51. Protocolos para la transmisión *Multicast* del lado del operador (An Implementation of the Broadband Home Gateway supporting Multi-Channel IPTV Service, 2006).

Para la corrección de errores se puede utilizar varios métodos recomendados en (A Unified Approach for Repairing Packet Loss and Accelerating Channel Changes in Multicast IPTV, 2009) por el *Reliable Multicast Transport Working Group*⁹. En el

⁹ <http://www.ietf.org/mail-archive/web/rmt/>. El propósito de este grupo de trabajo es la estandarización de transporte Multicast confiable.

caso de FEC, se puede usar de manera proactiva o bajo demanda para proveer una transmisión confiable de manera escalable donde la corrección se lleva a cabo en el cliente; sin embargo este método implica que el tamaño del buffer debe incrementarse conforme aumenta el bloque FEC y la capacidad de recuperación del protocolo. En el caso de RTP-SSM, se puede usar servidores locales para retransmisión de tramas, evitando el tiempo de respuesta desde la fuente misma; la solución implica entonces un tiempo de retransmisión si bien más corto que el original.

5.6. Resumen del proceso

Se ha observado en este capítulo que las fuentes de retraso y degradación de la calidad del servicio en la transmisión de IPTV son diversas dada la gran cantidad de protocolos y sistemas que soportan este servicio. Las fuentes de degradación pueden presentarse desde la fuente misma de contenido audiovisual, como durante la transmisión del servicio en la red de Transporte hacia el cliente; una última fuente de retraso también es el *Set-Top box* del cliente, donde finalmente se realiza la recepción del *Transport Stream*. Para la toma de la señal de un canal nuevo, el cliente debe realizar una solicitud IGMP de unión a un nuevo grupo y abandono del anterior. Posteriormente el contenido debe viajar con QoS hasta el STB, donde se reciben los paquetes IP que luego son decodificados desde TS hasta los ES de video y audio. El video y el audio debe ser decodificado y se deben sincronizar nuevamente para poder desplegar en el TV; para decodificar el contenido de video en particular, se requiere de datos acerca de contenido anterior y futuro (en cuadros B), con la restricción adicional del tiempo de entrega dado que se tiene exigencias en cuanto al *Jitter* tanto de los paquetes IP como del *Program Clock Reference* del TS.

5.7. Conclusiones

Las fuentes de error en IPTV son tan variadas como complejo el proceso de obtención, transmisión y presentación del contenido. Desde el punto de vista de la fuente, los errores indican problemas de codificación y desempeño del codificador, así como retrasos en la transmisión de las fuentes y los problemas asociados a la calidad/resolución de la imagen (tamaño del GOP, rango de búsqueda de vector de movimiento, rata de transmisión de la fuente, respuesta al dinamismo de la imagen, protocolo de codificación usado).

Desde el punto de vista de la transmisión, los errores indican problemas en la administración del tráfico implicando QoS de la red principalmente, y la distancia (medidas como el tiempo de tráfico) de las señales asociadas con el cambio de canal; así mismo, se tiene en cuenta la posibilidad de degradación por pérdida de paquetes y/o retrasos variables en la entrega de los paquetes.

Desde el punto de vista del usuario final, los errores se asocian con la capacidad del enlace de última milla y el dispositivo final, incluyendo el ancho de banda disponible, el tamaño de buffer del dispositivo y la capacidad de recuperación de errores; también implica la velocidad del procesamiento del dispositivo incluyendo la capacidad de des-criptar el contenido Premium y el manejo de servicios adicionales en el cliente.

6. Técnicas para la reducción de retardo en el cambio de canal.

En este capítulo se presentan las distintas técnicas utilizadas para disminuir el retraso en el cambio de canal durante la prestación del servicio de IPTV; dado que las principales fuentes de retraso para el *Channel Zapping* o cambio de canal en IPTV están principalmente asociadas al tiempo de respuesta de la solicitud de unión/retiro de grupo en IGMP en la red de Transporte y al tiempo de despliegue del contenido del TS enviado desde la fuente en el STB, el enfoque consistirá en disminuir la respuesta total del sistema.

El tiempo de respuesta de la solicitud de unión/retiro de grupo de IGMP tiene como factor principal la distancia en saltos y el tiempo de *Transporte* de la solicitud entre el STB y el *Router* controlador de contenido; por su parte el tiempo de despliegue del contenido en el TV está asociado con la velocidad del STB de decodificar el componente visual del TS, que se puede considerar inversamente proporcional al número de *I-Pictures* presentes en la codificación MPEG de video. Debido a esto, el enfoque de este capítulo es revisar las técnicas involucradas en la disminución de los tiempos que más influyen en el retardo en el cambio de canal.

6.1. Comparativo entre tendencias actuales.

En el capítulo 5 se observó las distintas fuentes de retraso durante el cambio de canal para la distribución de contenido IPTV. En la figura 52 se observa las distintas partes involucradas en el cambio de canal, donde se tiene una fuente de contenido, que debe ser codificada en audio/video, el enrutamiento del contenido a través de PIM, el control del *Dslam IGMP Proxy*, la recepción en el *Home Gateway* y dentro de este se debe tomar el *Transport Stream* a través de las tablas PSI y descomponerlo con los distintos PID. Cada uno de los *Elementary Streams* deben ser decodificadas (MPEG-4) y sincronizadas a través de los *Time-Stamp*, para llenar el Buffer del STB y poder desplegar el contenido. El proceso en total se despliega de modo rápido para aclarar las posibles soluciones que disminuyan el retardo en el cambio de canal. Básicamente se puede considerar, de acuerdo a (O'Driscoll, 2008), que existen 5 aproximaciones para disminuir el retraso en el cambio de canal:

- Implementar *IGMP proxy* en el acceso.
- Incrementar el número de cuadros I en el flujo IPTV.
- Aumentar la frecuencia de las tablas CA para canales encriptados.
- Reducir el tamaño del buffer del STB.
- Ajustar la distribución de manera predictiva y estadística.

Estas soluciones concuerdan perfectamente con las necesidades de mejora en la distribución de contenido *Multicast*, aunque en general se puede clasificar de una manera más comercial las técnicas de solución al problema del retardo en el cambio de canal como se enfrenta en este documento:

- a) La vertiente de Soluciones en Banda que enfatiza en la reducción del tiempo de sincronización del STB con el mismo flujo transmitido, sin aumentar los dispositivos de red.
- b) La vertiente de Soluciones con Agregación de Dispositivos que enfatiza en la reducción del tiempo de IGMP *Join/Leave* y en la sincronización del STB a través de la agregación de equipos servidores (generalmente en la red de distribución/acceso) que acerquen el contenido a los usuarios.

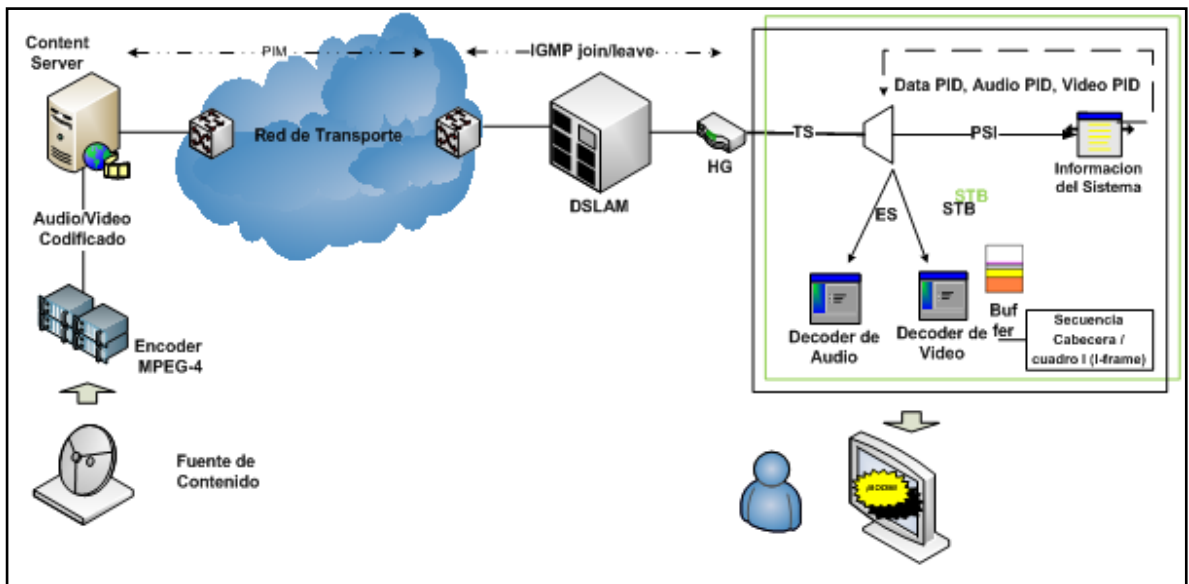


Figura 52. Esquema distribución *Multicast* usando con xDSL en el acceso.

6.2. Soluciones en Banda.

La vertiente sin agregación de dispositivos pretende alterar ciertos parámetros de los protocolos involucrados para permitir un despliegue más rápido, disminuyendo la resolución de la imagen desplegada. En este tipo de soluciones se tiene:

6.2.1. Cuadros I con mayor frecuencia pero menor calidad.

La solución planteada en (Fast Efficient Channel Change, 2005) plantea que durante la codificación de los canales se inserte cuadros tipo I de menor calidad de imagen pero con una frecuencia superior a la rata normal de cuadros I en el flujo del contenido normal de un GOP, permitiendo entonces que el STB obtenga

más rápidamente una referencia para poder sincronizarse y comenzar a decodificar (recordemos que es a partir de los cuadros I que MPEG permite crear una imagen completa, todos los otros cuadros son referenciados). En el artículo es planteado que aún con el incremento de ancho de banda debido a la inserción de contenido adicional, el resultado neto es un despliegue 50% más rápido con una reducción del 20% de ancho de banda, si se realizase con cuadros I de calidad normal. Esta solución tiene como inconveniente el aumento de ancho de banda al flujo convencional, y plantea un esquema que ataca el problema del retardo de la sincronización del STB únicamente; sin embargo, también implica una mejora en todos los cambios de canal efectuados.

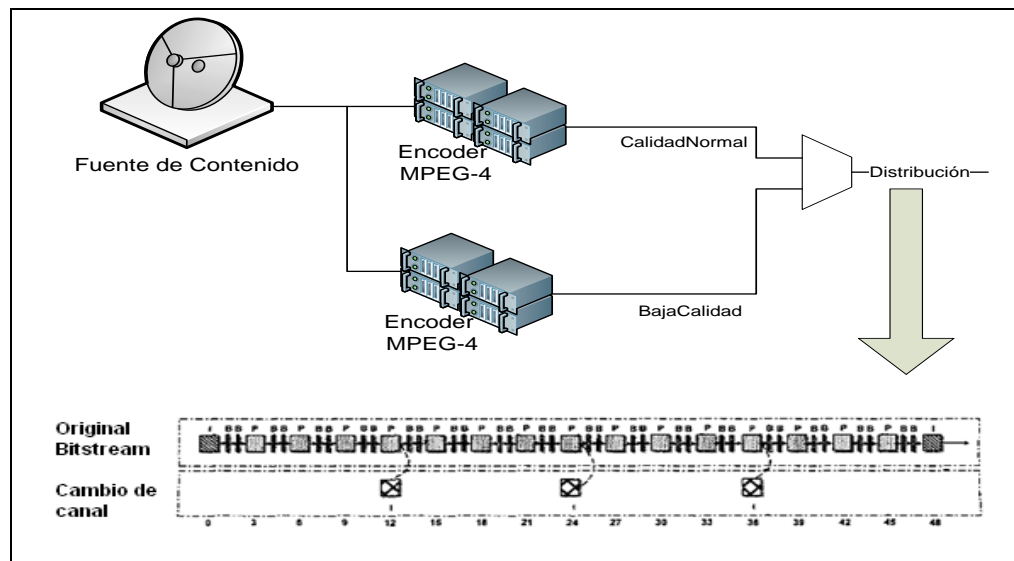


Figura 53. Esquema de inserción de tramas I de baja calidad (Fast Efficient Channel Change, 2005).

6.2.2. Sintonización del cambio de canal en el *Stream*.

Esta técnica está basada en el envío de un segundo *Stream* (grupo *Multicast* independiente), paralelo al *Stream* original, el cual tiene como función complementar “más rápido” el proceso de sincronización de los RAP's en el buffer del cliente: este *Stream* posee una alta frecuencia de RAP's, de modo que al usuario cambiar el canal, se sintoniza con este *Stream* permitiéndole reducir el retardo de decodificación, al introducir con inmediatez la siguiente trama I necesaria para construir el primer GOP del canal deseado. En la figura 53, se muestran dos versiones de esta técnica: a) para baja resolución y b) para alta resolución.

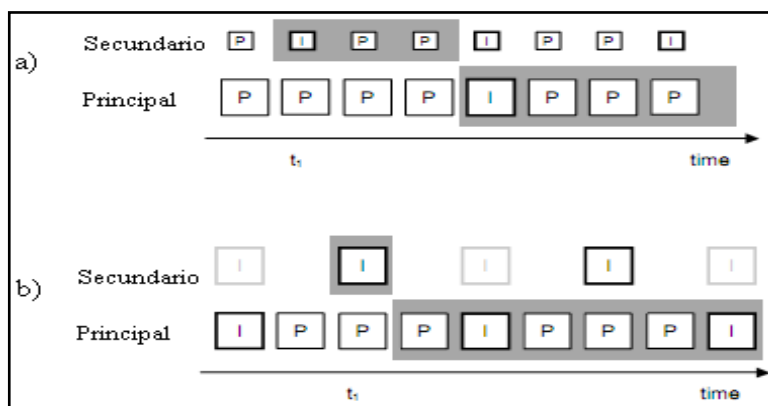


Figura 54. Sintonización en el *Stream*: a) baja resolución y b) alta resolución.

En el caso de la sintonización en baja resolución se suele emplear RAP's trimestrales (como se muestra en la figura anterior, la cual está compuesta de una trama I seguida de dos tramas P) cada 0,5 segundos. Cuando el cliente cambia de canal, en el tiempo t_1 recibirá la trama I del *Stream* secundario (la cual es de baja resolución respecto al *Stream* principal), las tramas siguientes del *Stream* secundario (P, P) seguirán siendo insertadas en el buffer del cliente hasta que llegue una trama I al *Stream* principal, cuando esto ocurra, el *Stream* secundario es detenido.

En el caso de la sincronización en alta resolución, el *Stream* secundario está compuesto únicamente por tramas I, con resolución temporal baja (tramas por segundo). Una vez el usuario cambia de canal, este comienza a recibir ambos *Streams* esperando la llegada de la primera trama I, si dicha trama proviene del *Stream* secundario el buffer detiene la recepción de este comenzando a recibir tramas solo del *Stream* principal. En caso de que lleguen ambas tramas I al mismo tiempo en ambos *Streams*, el buffer escogerá el *Stream* principal por defecto y detendrá al *Stream* secundario.

Similar al caso anterior, esta solución tiene como inconveniente el aumento de ancho de banda al flujo convencional, y plantea un esquema que ataca el problema del retardo de la sincronización del STB únicamente; adicionalmente implica el uso de mayor ancho de banda al requerir un flujo secundario que realice las funciones de aceleración, creando carga en codificación y Transporte del canal.

6.2.3. Envío de canales adyacentes.

Una solución planteada en (Improvement of Channel Zapping Time in IPTV Services Using the Adjacent Groups Join-Leave Method, 2004) implica el envío de los canales adyacentes al canal que está siendo visualizado en el momento. Esto implica que cuando el STB solicita un canal, es decir solicita unirse a un grupo nuevo, debe recibir de manera adicional los dos canales adyacentes. Esto sugiere

que en el STB siempre esté disponible el canal siguiente y anterior al canal desplegado; si bien esta solución permite despliegue rápido, el costo en ancho de banda es bastante alto. Para disminuir esta sobrecarga de ancho de banda, se plantea usar Picture in Picture, transmitiendo una versión “reducida” de la imagen del canal siguiente, encogiéndolo los requerimientos de ancho de banda para la transmisión. En (Channel Smurfing, 2010) se indica que esta solución se usa de manera efectiva transmitiendo únicamente durante los periodos de *Zapping* y hasta un minuto después del evento, contando de manera adicional con el contenido directamente en la red de acceso.

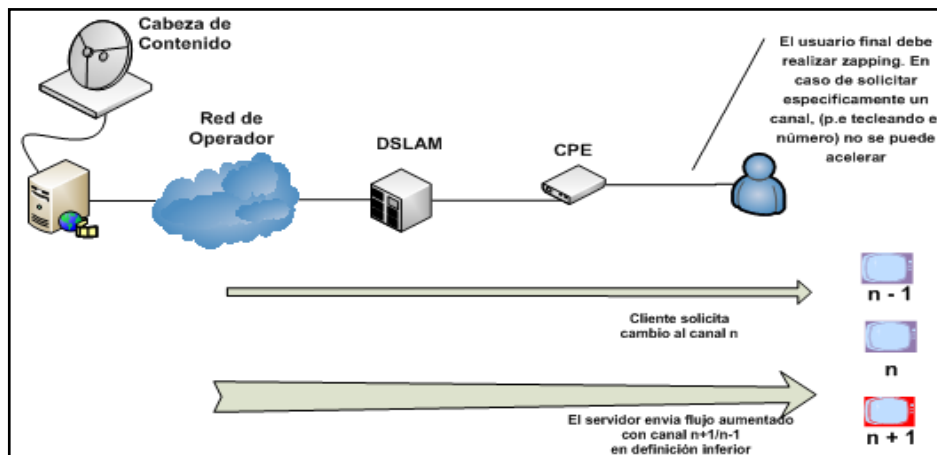


Figura 55. Envío de canales adyacentes para acelerar el cambio de canal¹⁰.

Esta solución presenta la desventaja de saturar el canal de transmisión en la red de acceso aún con la disminución de la calidad de la imagen haciendo de última milla un cuello de botella por el ancho de banda requerido, además es progresivamente complejo en la medida en que se incrementen el número de STB's en el cliente y solo mejora el cambio de canal de manera progresiva.

6.2.4. Control de la rata de transmisión del codificador.

El análisis realizado en (Channel Change Delay in IPTV Systems, 2009) presenta como solución parcial el control de la rata de transmisión del codificador de video para cada canal, recomendando a través de los resultados del estudio el uso de 12 *Frames* como tamaño de los GOP (480ms), limitando el pico de la transmisión hasta 2.25Mbps y el tamaño del buffer recomendado fue de 50ms, para soportar con holgura 4 enlaces de video en un canal de 10Mbps con una rata de pérdida de paquetes no superior a 10^{-4} . En (Fuzzy Joint Encoding and Statistical Multiplexing

¹⁰ Los canales se adyacentes permanecen hasta 45-60 segundos después de recibido el canal solicitado en el CPE del cliente.

of Multiple Video Sources with Independent Quality of Services for Streaming over DVB-H, 2007) se plantea una solución similar que si bien es presentada para DVB-H, aplica igualmente a la transmisión de contenido *Multicast* en MPEG, como lo hace IPTV. Este enfoque pretende de manera similar demostrar que controlando la rata de transmisión del codificador hacia una rata de bits constante (*Constant Bit Rate*) en el lado fuente de la red se puede disminuir el buffer necesario en el STB para la decodificación del contenido, asegurando entonces un menor tiempo de despliegue de imágenes.

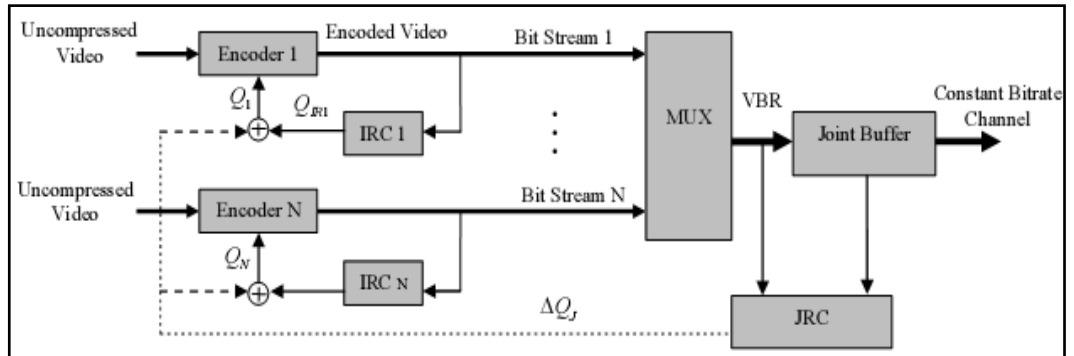


Figura 56. Control la rata de transmisión¹¹ del codificador fuente (Fuzzy Joint Encoding and Statistical Multiplexing of Multiple Video Sources with Independent Quality of Services for Streaming over DVB-H, 2007).

Relacionado con este trabajo se puede tomar también (Internet Multicasting of IPTV With Essentially-Zero Delay Jitter, 2009) que pretende modificar el algoritmo de encolamiento y distribución de contenido en los *Routers* a través del denominado *low-Jitter* GR scheduling junto con el tamaño del buffer para la transmisión de video, presentando cero *Jitter* para el árbol de distribución *Multicast* en enlaces de 10Gbps con alta carga de tráfico. De este modo el tiempo de llenado del buffer es de tan solo 50ms, lo suficientemente bajo como para iniciar la decodificación de la GOP de manera semi-instantánea, mientras que se evita a nivel de red el buffer de recepción por fluctuación de transmisión, optimizando el tiempo de despliegue en el STB a través de parámetros de la red.

Esta solución presenta un nivel de complejidad alto debido a que implica el cambio de la configuración de los equipos que generalmente vienen con algoritmos configurados de fábrica por el proveedor, sin embargo es una solución limpia que no plantea desventajas visibles y que una vez implementados permiten mejorar el desempeño de la red.

Esta vertiente presenta entonces soluciones que pueden sobrecargar la red de acceso relativamente a la vez que implican la modificación de ciertos parámetros

¹¹ Técnica enfocada en disminuir el tamaño del buffer en el decodificador del STB.

de fabricante, siendo particularmente difícil en el caso de la última solución; sin embargo, la transmisión de un canal de menor calidad para reducir el retardo en el cambio de canal es aceptada aún en la televisión digital terrestre de acuerdo con (DVB-Scene June 2010, 2010), por lo que se puede tomar como aceptable dentro las condiciones de la distribución de contenido digital. De modo similar, se presenta en una muestra del servicio real implementado con 150 canales y 255000 usuarios, donde se hace énfasis en el hecho de que los usuarios, a pesar de contar con EPG, continúan usando el cambio de canal adyacente como método para visualizar nuevos contenidos. Lo que se puede concluir a partir de estos datos es que el usuario al cambiar de televisión convencional a servicios con EPG continua con las costumbres de uso, tendencia que con el pasar del tiempo puede verse disminuida.

6.3. Soluciones con servidores aceleradores.

La vertiente con agregación de dispositivos pretende acercar el contenido al usuario final. Este método implica el uso de servidores en el acceso que permitan por lo menos la redistribución de los canales favoritos de los usuarios; en la versión más completa el servidor debe ser capaz de codificar canales con MPEG-4 usando únicamente tramas tipo I, acelerando el envío a través de *Unicast* RTP. Para este tipo de solución se tiene:

6.3.1. Servidor de Comunidades Vecinas.

Esta solución, tomando como base (Effect of Multicast on IPTV Channel Change Performance, 2008); se plantea en (Adding the Community to Channel Surfing A new Approach to IPTV Channel Change, 2009) y pretende acercar la distribución de video al cliente a través de servidores *proxy* por “comunidades vecinas”, teniendo en cuenta la popularidad de los canales vistos en los usuarios finales. En la figura 56 se muestra un esquema básico del mismo.

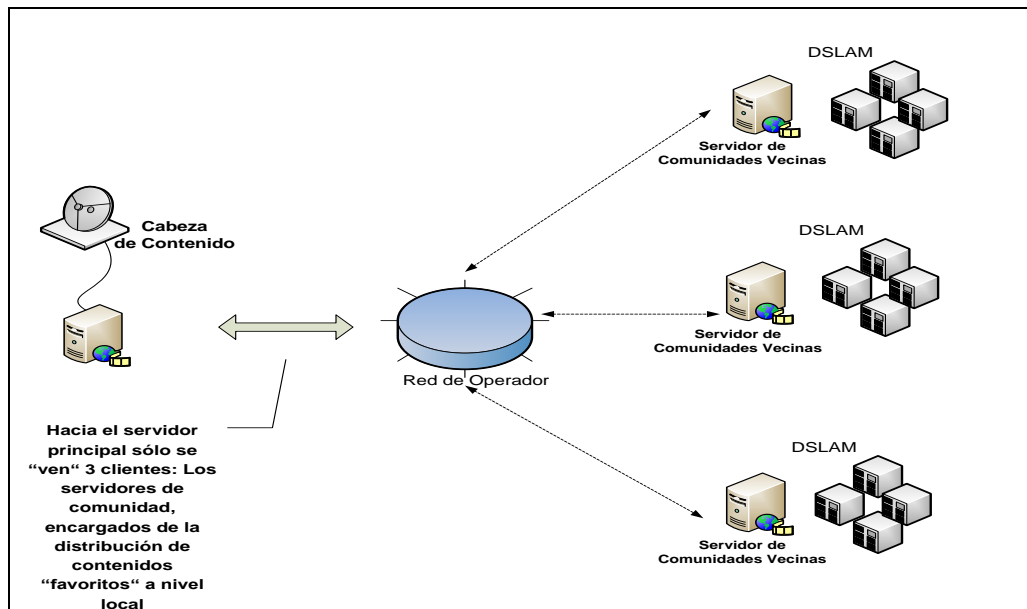


Figura 57. Esquema básico de red con servidores de comunidades vecinas.

De acuerdo con (Effect of Multicast on IPTV Channel Change Performance, 2008), la popularidad de los canales en los usuarios finales se comporta de manera logarítmica, dando entonces como recomendación que los canales más populares se unan de manera estática (siempre), mientras que los canales con un nivel de popularidad bajo sean visitados de manera dinámica (en demanda) por el servidor cercano. El administrador de la vecindad sería un servidor *proxy*, quien controlaría qué usuarios pueden pertenecer a sus grupos: hacia la red del operador, el servidor *proxy* haría la solicitud de canal cada vez que los usuarios lo requieran, y se presentaría como un único cliente ante el servidor de video; del lado de los usuarios vecinos, el servidor *proxy* actuaría como controlador de la distribución del contenido e intérprete de los usuarios. Las "Comunidades Vecinas" estarían formadas por vecinos geográficos dentro de la red del operador para facilitar el cambio de canal. El servidor *Proxy* debería usar *Snooping* en IGMP para actuar como pasarela y controlador de contenidos.

Con esta solución se disminuye la carga sobre la última milla mientras se controla el retardo de unión/retiro del canal (mientras sea favorito), pero también se presenta la dificultad de que el servidor debe ser realizar cada solicitud nueva de acuerdo a las solicitudes del cliente, lo que implica que el primer cliente que solicite un canal recibirá todo el retraso de la transmisión desde su STB hasta el servidor de video real; si bien ahorra tráfico en la red y permite que se desplieguen rápidamente los canales previamente solicitados (y mantenidos localmente), los canales que no han sido "vistos" previamente tendrían el retraso completo de la red, además de los costos de operación y mantenimiento por este tipo de servidores cercanos a los usuarios.

6.3.2. Flujo secundario de cambio de canal del servidor *proxy*.

Para disminuir la demanda de ancho de banda sobre el enlace se plantea, dentro de esta tendencia, una solución con una calidad del canal “auxiliar” inferior a la calidad de video del canal “real”, lo que disminuye la cantidad de ancho de banda requerido para soportar las ráfagas de tráfico cuando el cliente realiza el *Zapping*, en la figura 57 se muestra el esquema básico.

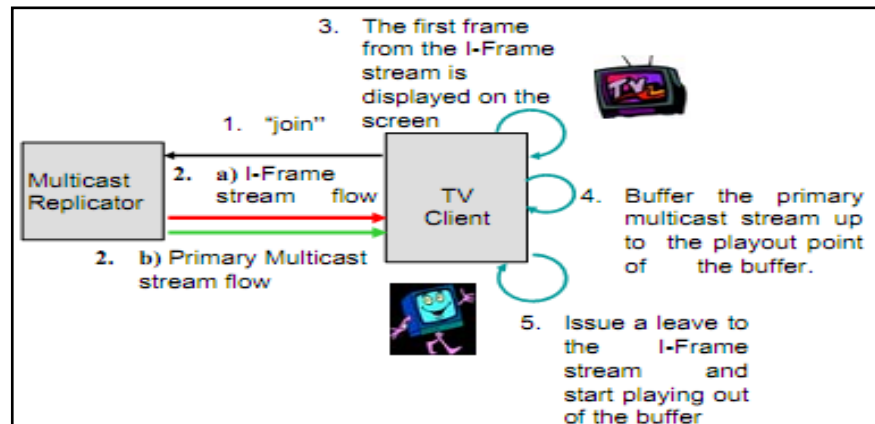


Figura 58. Técnica de *Stream* secundario de cambio de canal (Multicast Instant Channel Change in IPTV Systems, 2008).

Es también importante pensar en el método de *Transporte* del video y del audio en MPEG: los *Transport Stream* TS, en los cuales la PAT debe ser transmitida cada 100ms y la PMT cada 400ms tomando la recomendación de (Adding the Community to Channel Surfing A new Approach to IPTV Channel Change, 2009). Los RAP para H.264, según SCTE (*Society of Cable Telecommunication Engineers*) y DVB *Digital Video Broadcasting*, deben ser cada segundo, y las imágenes deben ser desplegadas dentro de 500ms después de ser recibido el RAP. Esto permite que el STB del cliente perciba un primer flujo de cuadros I (flujo retrasado 2,6secs) de manera inmediata, mientras se llena el verdadero flujo en el buffer donde viene el video transmitido desde el servidor principal *Multicast*. Similar a su predecesor, este sistema disminuye el retardo de decodificación pero implica un aumento de ancho de banda de al menos 50% de la capacidad normal utilizada para el despliegue de la imagen.

6.3.3. Servidores de aceleración independientes (ICC).

En (Channel Change Delay in IPTV Systems, 2009) se menciona el modelo de Microsoft Instant Channel Change (ICC) para reducir el tiempo de cambio de canal. Este tipo de solución plantea el uso de “servidores de aceleración de cambio de canal” ubicados en el borde del acceso, los cuales proveen un flujo Unicast RTP con cuadros I únicamente a una tasa de transmisión más alta de lo normal inmediatamente el cliente solicite un cambio de canal, permitiendo que el

STB despliegue el video más rápidamente al asegurar un RAP semi-instantáneo hasta que llegue el verdadero flujo *Multicast* para la transmisión del canal, dando una imagen completa –cuadro I- para desplegar inmediatamente. Se debe considerar entonces que los servidores *proxy* deben tener capacidad de codificar MPEG, añadiendo complejidad y por tanto incrementando el costo de la red y del mantenimiento. También implica la capacidad de la última milla de soportar tráficos en ráfaga altos, aumentando la presión sobre el sistema en la medida que se aumenta el número de STB's en el cliente, logrando con estos esfuerzos una disminución considerable del retardo por sincronización del STB a la vez que se disminuye el retardo de la red al proveer un servidor de video muy cerca al acceso.

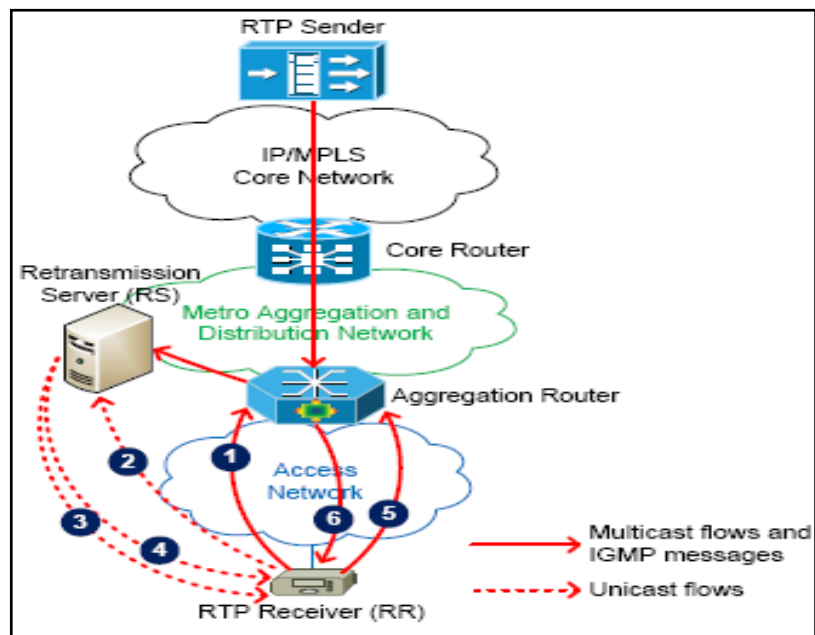


Figura 59. Esquema básico¹² de la técnica ICC (A Unified Approach for Repairing Packet Loss and Accelerating Channel Changes in Multicast IPTV, 2009).

6.3.4. Sintonización del cambio de canal a partir de servidores auxiliares.

En esta técnica, este servidor se ubica cerca al nodo de acceso de la red, tiene la cualidad de recibir todos los *Streams Multicast* y almacenar cierta cantidad de periodos de acceso aleatorio (*Random Access Point*) de cada *Stream* (de cada canal de contenido televisivo). En la figura 60 se observa el esquema general de este tipo de servidores dentro de la red.

¹² El STB debe realizar la solicitud de cambio de canal y mientras el canal Multicast llega al STB, es desplegado de manera acelerada la versión Unicast del canal desde el "servidor proxy de sincronización rápida"

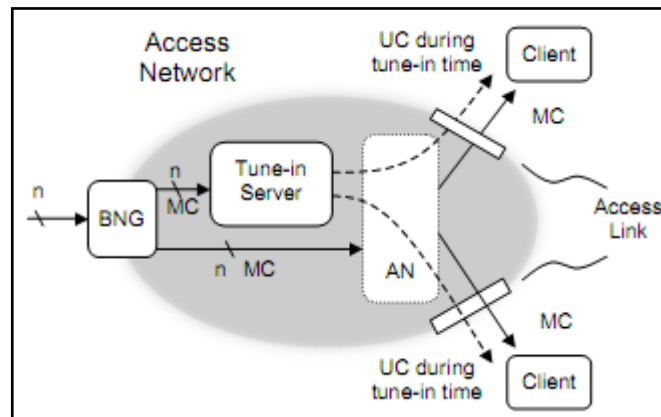


Figura 60. Esquema general de la técnica a partir de servidores *Multicast* (Optimizing channel change time in IPTV applications, 2008).

Cuando el cliente realiza un cambio de canal, el servidor envía dos *Streams* hacia el buffer del cliente: uno *Multicast* (contenido original) y otro *Unicast* (*Stream* secundario, denotado con líneas punteadas en la figura anterior) el cual emite el último RAP previamente almacenado. Para prevenir traslapo de tramas I, el buffer del cliente tiene como prioridad recibir tramas I del *Stream* principal.

La solución de servidores de aceleración implica que los servidores deben estar codificando MPEG de manera constante todos los canales para mantener un caché y proveer rápidamente un RAP para los distintos requerimientos (o al menos los canales favoritos), congestionando la red de agregación/distribución. Si estos servidores no se encuentran lo suficientemente cerca a la red de acceso, la cantidad de solicitudes en ráfaga podría eventualmente colapsar el servicio por ancho de banda.

En (Statistical Analysis of Multicast versus Instant Channel Changing Unicast IPTV Provisioning, 2008) se encuentra, a partir de la medida del tráfico IPTV de acuerdo al comportamiento de los usuarios, que el 10%-20% de los canales distribuidos toman el 80% del tráfico total de la distribución, siguiendo el principio de Pareto¹³; adicionalmente se menciona que este comportamiento es estático durante el día en el grupo de prueba. Por tanto, recomiendan que la distribución *Multicast* del contenido de IPTV debería usar arboles de distribución estáticos, donde los canales más populares son distribuidos a todos. Se recomienda también que la rama de los otros canales (no-favoritos) sea distribuida dinámicamente. De manera inesperada, recomiendan también el uso de la técnica de envío de canales adyacentes tal como 6.2.3 para los canales favoritos para evitar ráfagas muy fuertes de cambios de canal Unicast. Indican también que el sistema de aproximación de 6.3.1 es recomendado particularmente para Telcos, dirigiéndose

¹³ Principio de Pareto, también conocido como la regla 80/20.

desde el *Core* hasta el acceso progresivamente mientras el ancho de banda de la red hacia el cliente crece.

Estas últimas tendencias, se enfocan a solucionar los problemas de retardo en el cambio de canal a través de la red a nivel de *Core* y Agregación para la distribución del contenido, usando servidores de aceleración en la entrega de contenido ubicados al borde del acceso a través de ráfagas. Comparando con DVB en (Server-Based Fast Channel Change for DVB-IPTV Systems, August 2010), se tiene también que esta solución es aceptada como “estándar”; sin embargo, omiten una característica fundamental en el caso de las Telcos y relativamente importante en los cable-operadores: la red de acceso. Tal como se muestra en (Packet Loss Characteristics of IPTV-like Traffic on Residential Links, 2009), los principales problemas relacionados con la pérdida de paquetes, y en consecuencia con los procesos de reparación-recuperación, tienden a presentarse en la última milla, mientras que los niveles superiores de red se encuentran en casi todos los operadores sobre-estimados. Si consideramos como se presenta por ejemplo, límites de capacidad del enlace de acceso (para poder obtener prestación del servicio en condiciones normales de operación) y *Traffic-Shapping*, se puede observar que un serio cuello de botella bloqueará la capacidad de cualquier nivel de red superior, imposibilitando una solución completa.

6.4. Conclusiones

Para disminuir el retraso en el cambio de canal se usa un enfoque mixto que pretende atacar las principales fuentes de retraso como lo son el tiempo de respuesta del *Router* controlador de contenido IGMP y el tiempo de despliegue del contenido en el STB. Básicamente para disminuir el tiempo de respuesta de las solicitudes de unión/retiro en IGMP las soluciones pretenden acercar el contenido al cliente, de modo que la solicitud no deba “ser *Transportada*” demasiado tiempo para recibir una respuesta desde el *Router* IGMP; así mismo, para disminuir el tiempo de despliegue el contenido en el STB, el cual cuenta principalmente como el tiempo de sincronización del audio/video, se debe permitir que el STB decodifique los paquetes MPEG de la manera más rápida, entregando más cuadros I. Con este tipo de soluciones siempre viene un costo asociado, el cual radica en el incremento de equipos en la red y su *Opex-Capex*, y el incremento substancial del ancho de banda requerido para la aceleración a través del envío de canales adyacentes y/o más tramas I aceleradas, lo que implica dificultades de implementación principalmente en la red de acceso y la última milla.

7. Planteamiento del esquema de pruebas.

La arquitectura de distribución del servicio de IPTV del Operador de Telecomunicaciones¹⁴ permite identificar puntos de prueba para encontrar los valores reales de retraso en el servicio, enfocándose en el problema del retraso en el cambio de canal como objetivo de este trabajo de grado. Siguiendo las recomendaciones de ITU en cuanto a parámetros de prueba, se usa como dispositivo de prueba el EXFO-ASX200¹⁵, dispositivo que se encarga de verificar los principales parámetros de desempeño para una red de distribución de contenido *Multicast* IPTV, particularmente en clientes del Operador que establecen sesiones a través de conexiones de ADSL hasta una red Metro *Ethernet*.

7.1. Parámetros de Prueba.

Siguiendo la recomendación ITU-T Y.1544 (07/2008) concernientes a los Parámetros de Desempeño en IP *Multicast* correspondientes a calidad de servicio y desempeño de la red, se puede muestrear bajo las condiciones de prueba determinadas en la clausula 4, 5 y 6 concernientes a las condiciones de retraso en el cambio de canal. Dentro de las definiciones de la recomendación se observa que una diferencia fundamental es la información de enrutamiento, que busca principalmente generar arboles de distribución de contenido para cada fuente y grupo *Multicast*, generalmente a partir de la información de enrutamiento en modo *Unicast*. Adicionalmente, la información *Multicast* solo debe ser enviada a otra sección básica (Y.1540, Internet protocol data communication service IP Packet transfer and availability performance parameters, 2002) si es válida para el enrutamiento de *Multicast*; por tanto, los puntos de medida (Measurement Points o MP) son aquellos que permiten enviar y recibir tráfico a partir del enrutamiento *Multicast*. De modo similar, la clausula 5 de define que las pruebas de parámetros punto a multipunto se pueden obtener a partir de un grupo de parámetros punto a punto, definidos en la clausula 6 como grupos de interés.

A través de la figura 61 se muestra como considerando el tiempo del punto de interés T_{poi} para la medición en un grupo, se tiene el (Commence reference event-CRE-) como el primer paquete que se recibe desde el origen después de unirse a un grupo *Multicast* (*JOIN*), el tiempo de transmisión de paquetes desde el grupo $T_{R,n}$ y cuando el destino abandona el grupo *Multicast* (*Leave*) el último paquete se considera un TRE (*Termination Reference Event*).

¹⁴ www.emcali.com.co

¹⁵ www.exf.com

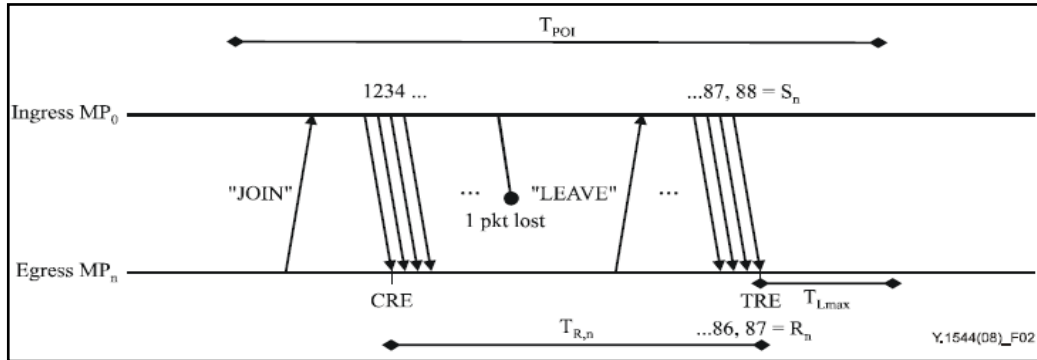


Figura 61. Efecto del cambio de pertenencia de un grupo de interés (ITU-T Y.1544; Multicast IP performance parameters, 2008).

7.1.1. Parámetros relacionados con pérdida de paquetes.

Promedio de paquetes Enviados S_n , paquetes Recibidos R_n y paquetes Perdidos L_n . Así mismo, se tiene que diferenciar entre dos grupos de parámetros, los cuales son globales (para todos los paquetes) y de grupo (pertenecientes a un grupo *Multicast* con N destinos); las ecuaciones (1, 2, 3, 4, 5, 6) están referenciadas en todo esto referenciado en (ITU-T Y.1544; Multicast IP performance parameters, 2008).

$$\bar{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_N\} \quad \bar{R} = \{R_1, R_2, \dots, R_N\} \quad \bar{L} = \{L_1, L_2, \dots, L_N\} \quad (1)$$

- Tasa de pérdida global (Global Loss Ratio): la suma de todos los paquetes perdidos divididos entre la suma de todos los paquetes transmitidos.

$$\frac{\sum_{n=1}^N L_n}{\sum_{n=1}^N S_n} \quad (2)$$

- Rata de pérdida media de grupo (Mean Group Loss Ratio): se calcula a partir de la rata de pérdida de paquetes para cada uno de los miembros de un grupo entre el número total de elementos que pertenecen al mismo grupo durante el T_{poi} :

$$\frac{\sum_{n=1}^N IPLR_n}{N} \quad \text{donde } IPLR_n = \frac{L_n}{S_n} \quad (3)$$

7.1.2. Parámetros relacionados con el retraso.

Retraso Global medio en un sentido (*Global mean one-way delay*): se calcula a partir de la suma del retraso de todos los paquetes recibidos dividido entre la suma total de paquetes entregados.

$$\frac{\sum_{n,r}^{N,R_n} IPTD_{n,r}}{\sum_{n=1}^N R_n} \quad (4)$$

Retraso grupal medio en un sentido (*Group mean one-way delay*): es la suma de los retrasos de cada destino en un grupo dividido entre el número de miembros registrados de un grupo.

$$\frac{\sum_{n=1}^N media(IPTD_n)}{N} \text{ donde } media(IPTD_n) = R_n^{-1} \sum_r^{R_n} IPTD_{n,r} \quad (5)$$

Rango de retraso medio de un sentido sobre un grupo (*One Way mean delay range Over group*): se toma el mínimo y el máximo valor de de los valores punto a punto de los elementos del grupo.

$$\max(\overline{media(IPTD)}), \min(\overline{media(IPTD)}) \quad (6)$$

7.1.3. Parámetros relacionados con el acceso a la comunicación.

Como los equipos destino usan el protocolo IGMP para unirse o dejar un grupo *Multicast*, indicando el requerimiento de recibir un flujo particular de información desde una fuente particular a través de una subred LAN y un *Router Multicast*. En el *Router* se tiene la información de la pertenencia a los grupos *Multicast*, información que debe ser refrescada periódicamente por el *Router Multicast* a través de un *Query*. Si al menos un *host* responde al *Query* en un grupo particular, se considerará al grupo como activo. Si en una sub-red se incluye un *Switch*, entonces el *Switch* también puede almacenar información de pertenencia a grupos *Multicast* para restringir el flujo de información hacia *host* que no estén afiliados a cierto grupo.

Los intercambios de mensajes IGMP son más relevantes en el desempeño orientado al usuario en cuanto al ingreso/ retiro de un grupo, observados como el enlace de la red con el cliente (*User Network Interface UNI*). Al momento de esta versión de la recomendación, se tiene parámetros provisionales que pueden ser cambiados de acuerdo a la experiencia. En la interfaz UNI, se pueden tomar varios eventos de referencia:

- Punto de Prueba de Ingreso (*Ingress MP*).
 - ✓ Evento Ingreso (*Joint Reference Event*): ocurre cuando ingresa un paquete IP con mensaje IGMP indicando el requerimiento de unirse a un grupo *Multicast*.
 - ✓ Evento Retiro (*Leave Reference Event*): ocurre cuando ingresa un paquete IP con mensaje IGMP indicando el requerimiento de abandonar un grupo *Multicast*.

- Punto de prueba de Egreso (*Egress MP*).
 - ✓ Evento Comienzo (*Commence reference event CRE*): ocurre cuando un paquete IP egresa la UNI y contiene contenido de un grupo particular de *Multicast*.
 - ✓ Evento Terminación (*Termination reference event TRE*): ocurre cuando un paquete IP egresa a UNI y es el último paquete observado que *Transporta* contenido de un grupo particular de *Multicast* (y no se capturan nuevos paquetes dentro de un tiempo de espera de fin de flujo TLmax).

- Acceso:
 - ✓ Velocidad: tiempo de Ingreso exitoso desde que ingresa un paquete IP con mensaje IGMP de adhesión a un grupo *Multicast* hasta que egresa un paquete con la dirección fuente y la dirección *Multicast* del grupo.
 - ✓ Precisión: numero de intentos de fallidos de unirse a un grupo *Multicast* dividido entre todos los intentos realizados.

- Retiro:
 - ✓ Velocidad: tiempo de egreso exitoso desde que ingresa un paquete IP con mensaje IGMP de abandono de un grupo *Multicast* hasta que egresa el último paquete con la dirección fuente y la dirección *Multicast* del grupo.
 - ✓ Precisión: numero de intentos de fallidos de abandono de un grupo *Multicast* dividido entre todos los intentos realizados.

Estas mediciones se realizan con el dispositivo de pruebas empleado para la verificación del servicio, dado que la posibilidad de realizarlo a través de otros métodos “manuales” podría arrojar valores menos acertados. Se sigue la Recomendación G.1081 de ITU-T, en particular el PT4 que es donde se puede verificar los parámetros de calidad del servicio de IPTV referente a calidad del flujo (*Stream Quality*) (ITU-T G.1081 Performance monitoring points for IPTV, 2008) y calidad audiovisual.

7.2. Resultados preliminares del servicio de IPTV del Operador.

Para confirmar el estado del servicio de IPTV se realizaron pruebas preliminares durante 2 días con tipos de cargas distintas, de modo que se permitiese observar el comportamiento de la red de acuerdo a los horarios de trabajo. La arquitectura planteada se observa en la figura 62 e incluye un servidor de *Streaming*¹⁶ emitiendo 3 canales de manera continua con videos pre formateados en MPEG-2, con calidad SD. El servidor se encuentra ubicado dentro del anillo de servicio del cliente, de modo que durante la prueba el servicio no debió atravesar saltos de enrutamiento, por lo que la calidad de servicio se brinda únicamente a través de nivel 2 siempre vinculado a una misma *VLAN*. El servicio atraviesa en *Ethernet* 10gbps sobre fibra 2 Switchs carrier class, y continua *Ethernet* 1gbps sobre cobre hasta la unidad Multiservicios UAM, a partir de la cual la conexión se realiza sobre ADSL2+ sobre cobre de extensión de 2kms. Se usa un cliente promedio con conexión a Internet de 2Mbps.

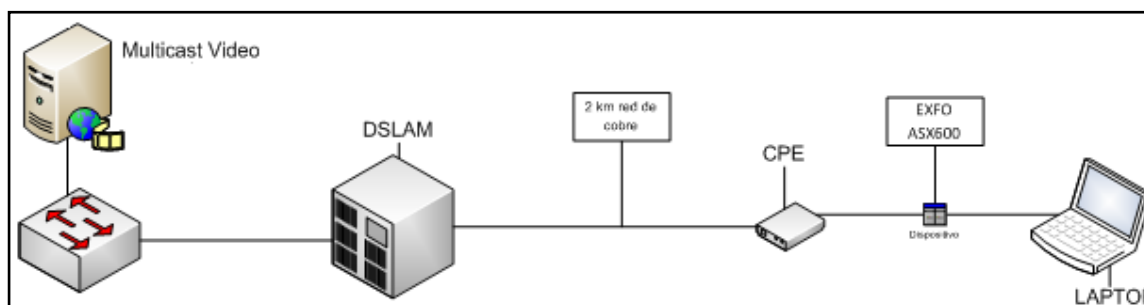


Figura 62. Esquema físico de la prueba de IPTV del operador de telecomunicaciones (ITU-T Y.1900-series – Supplement on IPTV service use cases., 2008).

La primera prueba consistió en realizar el análisis de la capacidad del canal, para lo cual se encontró que el cliente tenía configurado el acceso al límite de su banda. Una vez ampliado el servicio a 4Mbps, los parámetros de la conexión comenzaron a caer de manera significativa, imponiendo un límite real a la capacidad total del canal de comunicación presionado por la última milla.

Una vez determinado el límite del canal real se procedió a observar el comportamiento del servicio IPTV, siguiendo las recomendaciones ITU-T RecG.1081 PT4 para analizar el servicio en el cliente, usando como elemento de medición el equipo EXFO ASX600 ubicado entre el CPE del cliente y el computador que hace las veces de *Set-Top box* para el despliegue de video.

¹⁶ Este servidor se implementó a partir de un computador de escritorio tipo DELL OPTIPLEX GX280 e implementando la aplicación VLC como servidor Multicast.

Nombre	Parámetro considerado
Ancho de Banda	rata de flujo, uso de ancho de banda, dirección <i>Multicast</i>
IP	errores de secuenciamiento y perdida de paquetes
<i>Jitter</i>	desviación del retardo de arribo IP
PCR <i>Jitter</i>	<i>Jitter</i> del MPEG program clock reference –PCR-
ZAP	tiempo de cambio de canal

Tabla 6. Parámetros medidos por el dispositivo de pruebas¹⁷.

El límite superior de pérdida de paquetes es 10%, el *Jitter* no debe superar 30ms, el tiempo de *Zapping* no debe superar 100ms y el *Jitter* PCR –MPEG debe ser inferior a 100ms. También se tuvo en cuenta el ancho de banda percibido en el cliente, pero el dispositivo no posee la capacidad de medir el *Media Delivery Index*, por lo que se omite. También se omite las relaciones de grupos, tomando las pruebas en los puntos posibles de la red que permiten la comprobación del servicio.

7.2.1. Prueba de Conexión 4Mbps con red sin carga.

Encontrándose la red del proveedor sin ningún stress, y en condiciones de línea favorables –aunque lejos de ser optimas- , se procedió a realizar la prueba del servicio, arrojando los siguientes resultados:

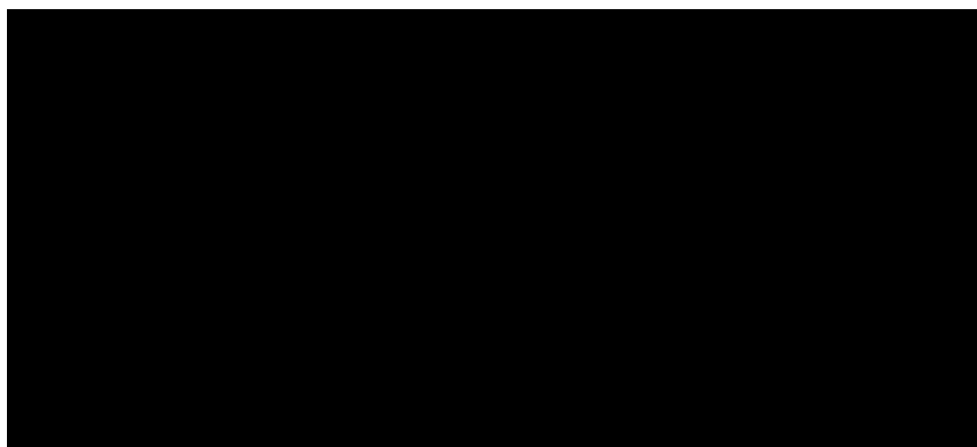


Figura 63. Estado de línea del usuario probado para 4Mbps.

¹⁷ Se toman los parámetros que se consideran pertinentes al trabajo.



Figura 64. Consumos de ancho de banda y pérdidas de paquetes para 4Mbps.

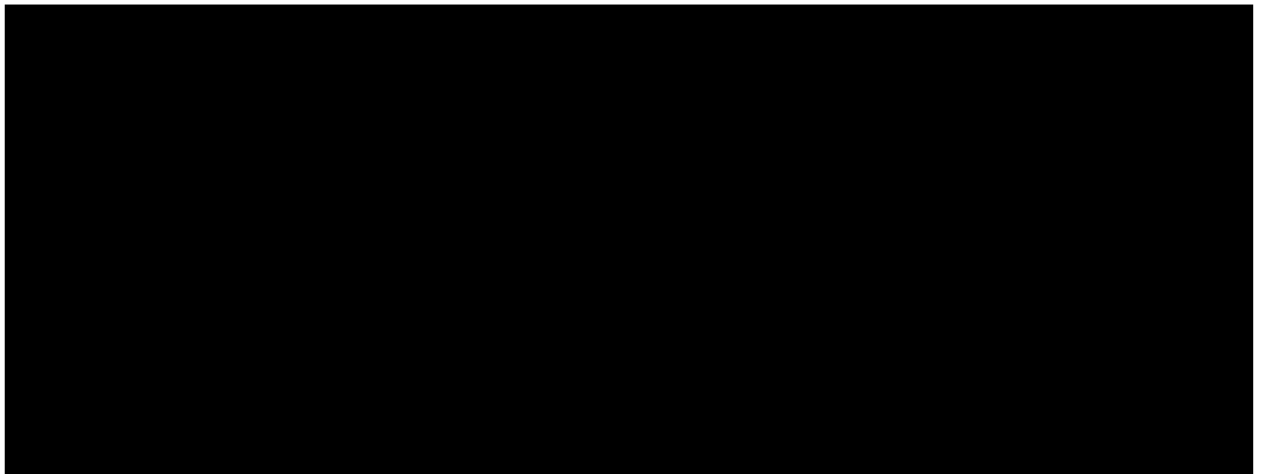


Figura 65. Jitter y PCR obtenido para 4Mbps.

En las pruebas se observa que cuando el servidor se encuentra atendiendo a un solo cliente, y cuando la red se encuentra en condiciones de carga cercanas a nula, los resultados respecto al Channel *Zapping* son aceptables bajo las condiciones de prueba establecidas y sugeridas en el capítulo 6 de (Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements, 2006)

7.2.2. Prueba de conexión de 2,5Mbps con red con carga.

Encontrándose la red del proveedor con stress, y en condiciones de línea normales (los parámetros del cliente de prueba no permitieron una conexión con ancho de banda superior), se procedió a realizar la prueba del servicio, arrojando los siguientes resultados:

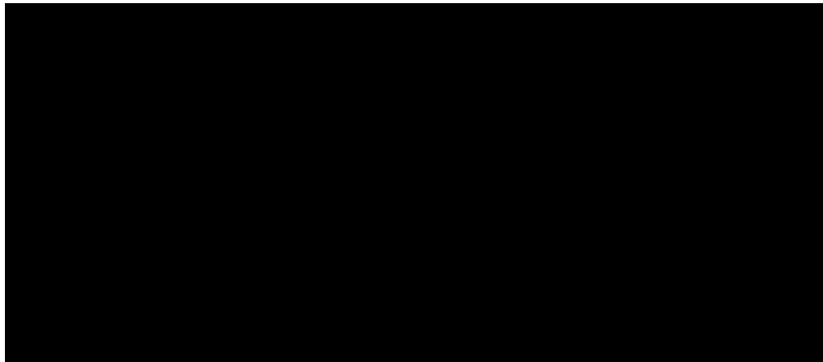


Figura 66. Estado de línea del usuario probado para 2,5Mbps.

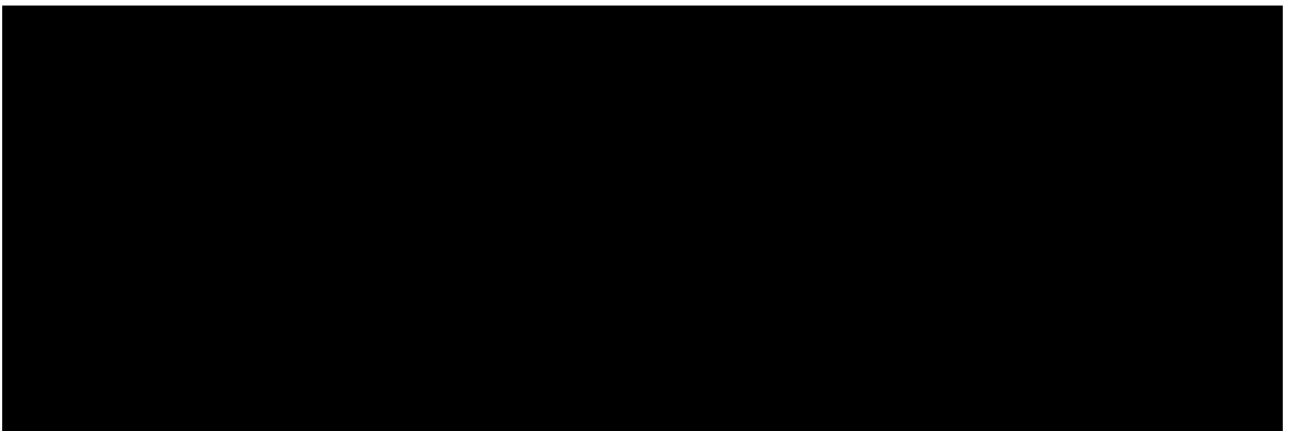


Figura 67. Anchos de banda y pérdidas de paquetes para 2,5Mbps.

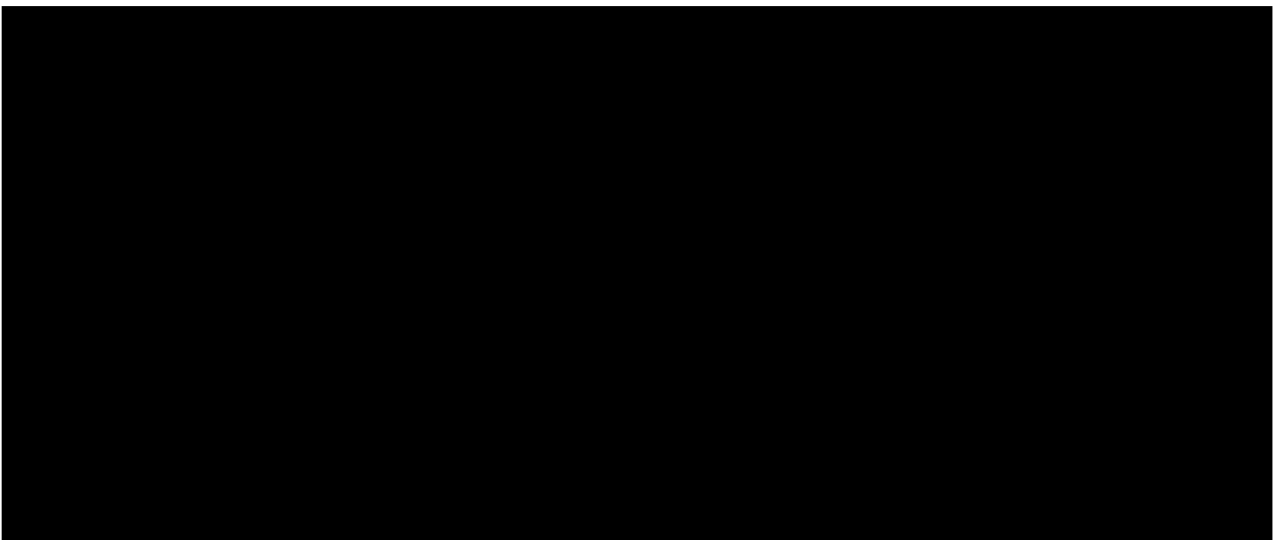


Figura 68. Zap time y PCR obtenido para 2,5Mbps.

Los resultados muestran que a pesar de seguir siendo un servidor que atiende a un solo cliente, las condiciones de la red y del cliente de prueba presentan un detrimento significativo de la calidad y la experiencia del servicio percibida.

7.2.3. Prueba de conexión de 2,5Mbps con red con carga + navegación.

Encontrándose la red del proveedor con stress, y en condiciones de línea normales –los parámetros del cliente de prueba no permitieron una conexión con ancho de banda superior-, se procedió a realizar la prueba del servicio incluyendo descarga de contenido a través de Internet dando mayor presión, arrojando los siguientes resultados:

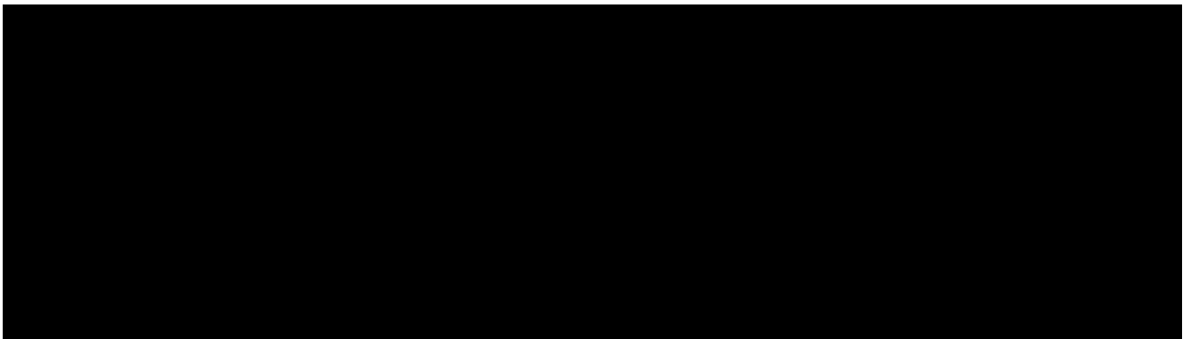


Figura 69. Anchos de banda y pérdidas de paquetes para 2,5Mbps¹⁸.

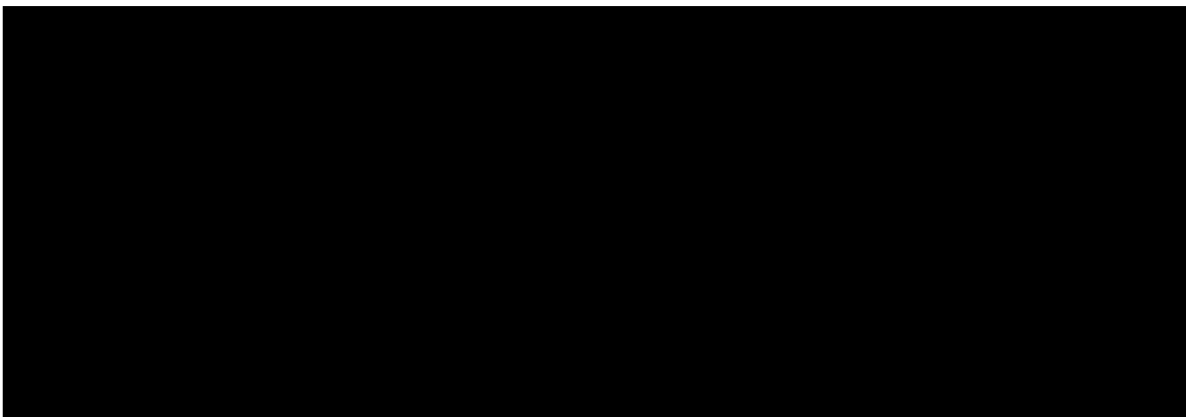


Figura 70. Zap time y PCR obtenido para 2,5Mbps con carga y navegación.

En estos resultados la condición es tan crítica que el dispositivo de prueba apenas percibe las pérdidas encontradas cuando el servicio se presenta en las peores condiciones. La banda percibida es aún menor y compite con el contenido en descarga de Internet.

¹⁸ Con carga y navegación.

7.3. Conclusiones

Los resultados muestran la importancia de la capacidad del canal, generando pérdidas significativas de paquetes que imposibilitan el servicio de manera completa con la calidad de video establecida. Con ratas que oscilan entre 17% y 49% debido a lo angosto del canal permitido hacia el usuario para esta prueba (en los eventos con carga resulta aún mayores, las pérdidas, se debe recordar que este es un usuario promedio), es claro que una gran cantidad de paquetes van a dejar al servicio con problemas serios para decodificar las imágenes MPEG-2 que utiliza el operador de Telecomunicaciones en el momento de realizar la prueba. Esta tasa de pérdida de paquetes resulta inadmisibles dentro de un contexto tan exigente como son los servicios multimedios.

Es también importante considerar el *Zapping* reportado por el elemento de medición, presentando una respuesta instantánea desde el servidor (menor a 100ms) en condiciones de baja carga de la red, mientras que con presencia de carga la red presenta respuestas (250-300ms) que se pueden considerar importantes considerando la cercanía física y lógica del cliente con el servidor; así mismo es importante considerar que el servidor se encuentra dedicado a atender a una cantidad mínima de usuarios que no supera los 10 clientes, indicando que este retraso se debe a respuestas de la red más que a las condiciones del servidor. Debido a que la actual respuesta corresponde a condiciones en las que la carga de la red es relativamente baja en cuanto a capacidad de los enlaces, la respuesta está presumiblemente condicionada por la respuesta de los equipos involucrados; es por esto que se plantea importante también considerar la variación de llegada de los paquetes IP *Jitter* y la variación de llegada de los paquetes de TS *Jitter* PCR.

Finalmente, considerando que detrás del servicio se encuentra el usuario final, durante las pruebas se encontró grandes problemas de pixelación y pérdida de imagen, dentro de los cuales la experiencia percibida por el cliente es cuando menos bastante regular. Es importante debido a situación instar al operador a que mejore las condiciones de su red de acceso, de lo contrario el operador se verá en serias dificultades para brindar el servicio adecuadamente.

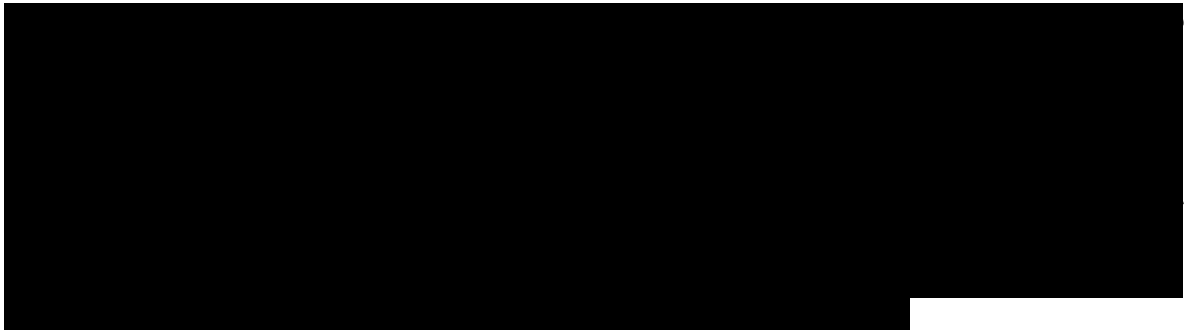
8. Propuesta para el Operador De Telecomunicaciones

El Operador de Telecomunicaciones ha sido y actualmente es el principal operador de servicios de Telecomunicaciones en la ciudad de Cali y su área metropolitana, brindando sus servicios a través de una amplia red que abarca toda la ciudad. El Operador de Telecomunicaciones brinda el servicio de acceso a Internet banda ancha a través de xDSL, dado que sus redes han sido desde el principio enfocadas hacia la telefonía. Es por esta última milla de cobre que la gran mayoría de los clientes de este operador obtienen los servicios de Telecomunicaciones, incluyendo dentro de este paquete el servicio de Televisión como parte de una estrategia comercial tipo *Triple Play*, la cual ofrece Telefonía, acceso a Internet y Televisión a través de un mismo enlace.

Para generar un servicio de calidad se hace necesario entonces conocer el estado de la red del Operador de Telecomunicaciones para la prestación del servicio de IPTV, donde sus clientes se conectarán principalmente a través de enlaces xDSL.

8.1. Estado actual de la red NGN del Operador.

La red del Operador de Telecomunicaciones ha crecido y alterado su topología de acuerdo a la demanda de los suscriptores, creando [REDACTED] para proveer de manera satisfactoria el servicio motor del servicio de Internet, el ADSL.



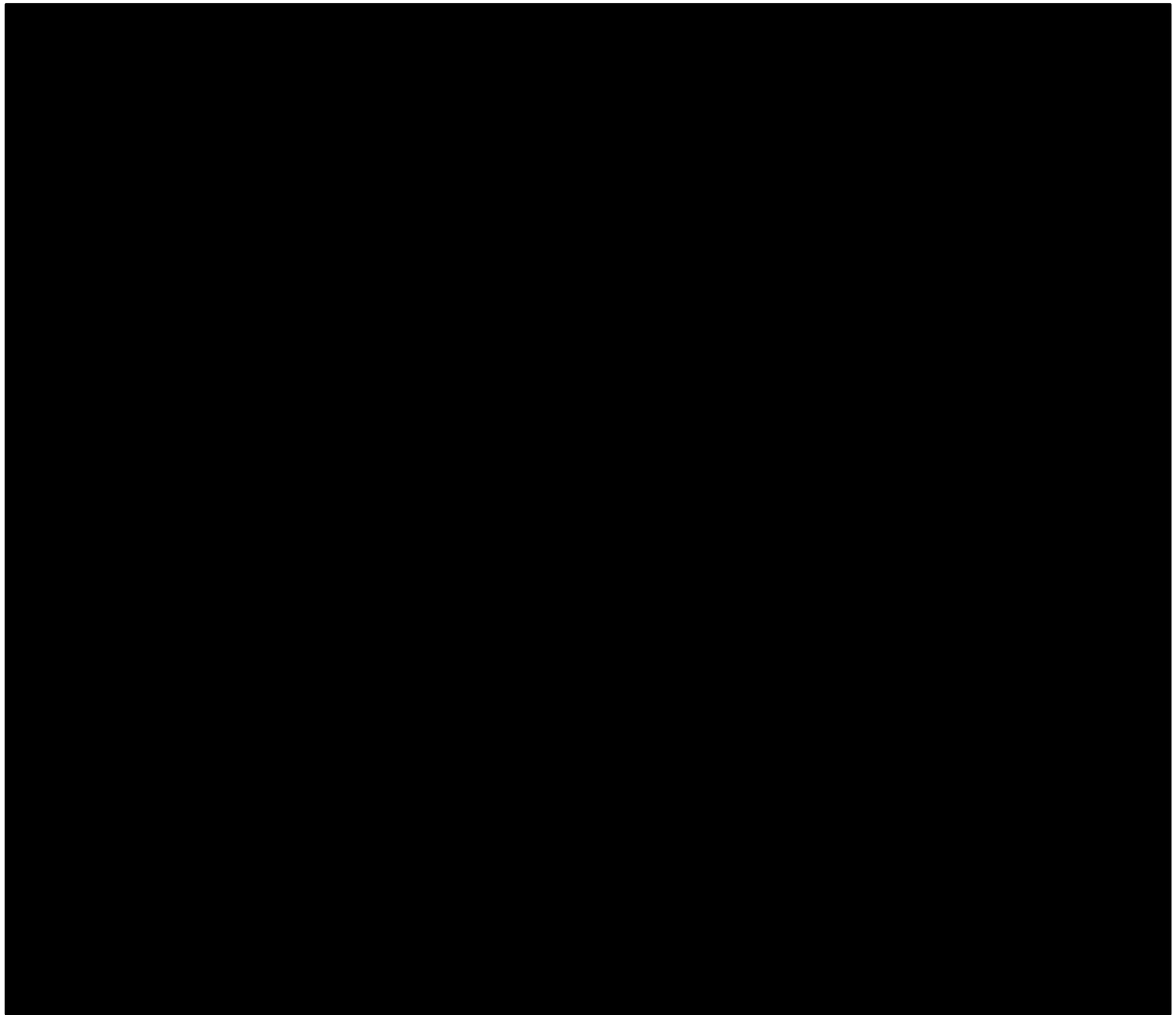


Figura 71. Topología física de la red del Operador.

El hecho de que el proveedor de Internet del Operador se [REDACTED], y la baja carga de la red frente a la capacidad de [REDACTED], permite que en el núcleo de servicios, [REDACTED], el tráfico este bajo y apto por lo tanto para trabajo con las aplicaciones tales como el servicio de IPTV.

8.2. Estado actual del componente de IPTV.

8.2.1. Generalidades.

La plataforma de IPTV se encuentra ubicada en la planta de Colón, con una arquitectura en concordancia con la Rec. UIT-T Y. Sup5-200805 para televisión lineal. La televisión lineal está definida como un servicio de difusión que se comporta igual al servicio convencional de televisión, emitiendo señal de acuerdo

a una programación establecida por el proveedor de contenidos. Este servicio está en etapa de prueba como un servicio de consume en tiempo real, comportándose en la práctica como un flujo de datos desde el proveedor hasta el CPE, con la posibilidad de almacenar contenido dentro del dispositivo.

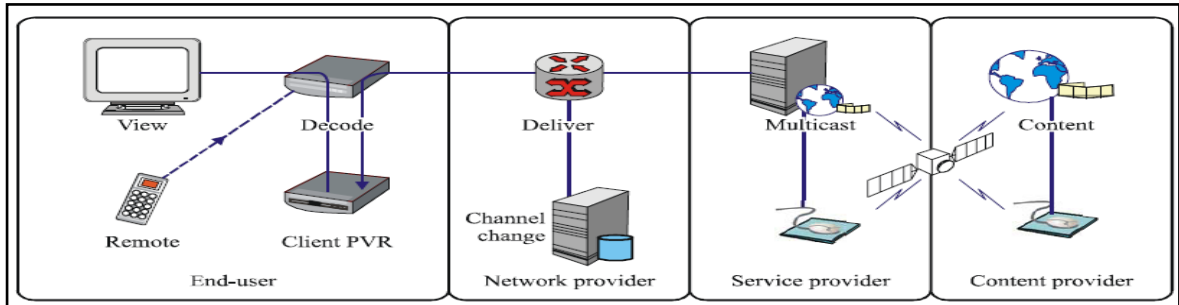


Figura 72. Esquema del servicio IPTV del Operador ajustados a ITU-T YSup5 (ITU-T Y.1900-series – Supplement on IPTV service use cases., 2008).

En la etapa inicial se tiene 12 canales como contenido en tiempo real y 1 servidor de proveedor de contenido en demanda; además se cuenta con un proveedor internacional de contenido a través de IPTV ZTE en China, lo que permite obtener hasta 70 canales para contenido de prueba.

El control está basado en el middleware a través de 3 subsistemas que incluye el subsistema de Administración del servicio, que se encarga de la gestión de los suscriptores incluyendo el servicio de *Accounting, Authorization y Autenticación*, el CDR para registrar los eventos y las interfaces con terceros, así como la gestión del STB y el monitoreo de alarmas. El sistema de administración de contenido se encarga de realizar la gestión del contenido en vivo *LiveTV*, de la programación y monitoreo de los contenidos, de la televisión con desplazamiento en tiempo (pausar el contenido) y de la inserción de publicidad. La guía de programación electrónica implica la gestión de la plantilla de programación y de responder a los requerimientos de usuario.

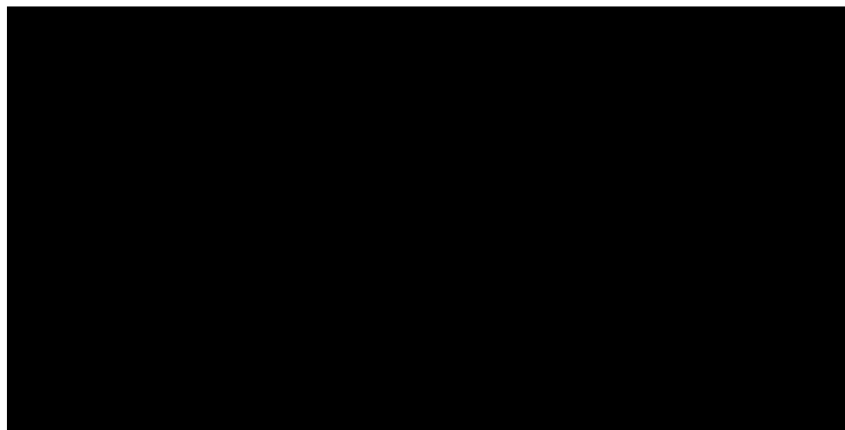


Figura 73. Esquema de operación de la red de IPTV del Operador.

En el hogar los clientes usarán un CPE convencional tipo ZXDSL831 para proveer de conectividad al dispositivo *Set-Top Box ZXV10B600*, el cual actúa como Terminal inteligente a través del cual el usuario puede recibir el servicio de IPTV en su TV. El STB inicia, realiza auto-pruebas y carga el sistema operativo a través del servidor EPG, tomando las características y el tipo de servicio para cada suscriptor. En el caso de tener televisión en vivo *LiveTV* se obtendrá la información *Multicast* necesaria y se iniciará el proceso unión al grupo de IGMP para el canal seleccionado, mientras que para el video en demanda VOD el servidor EPG dirige al STB para tomar el contenido de modo *Unicast* desde la fuente.



Figura 74. Dispositivo STB ZXV10B600

El dispositivo posee características que permiten la interactividad con los usuarios a través de la interfaz desplegada en el televisor convencional, pudiendo acceder a los contenidos listados por el EPG tal como se despliega en el ágora del Operador.

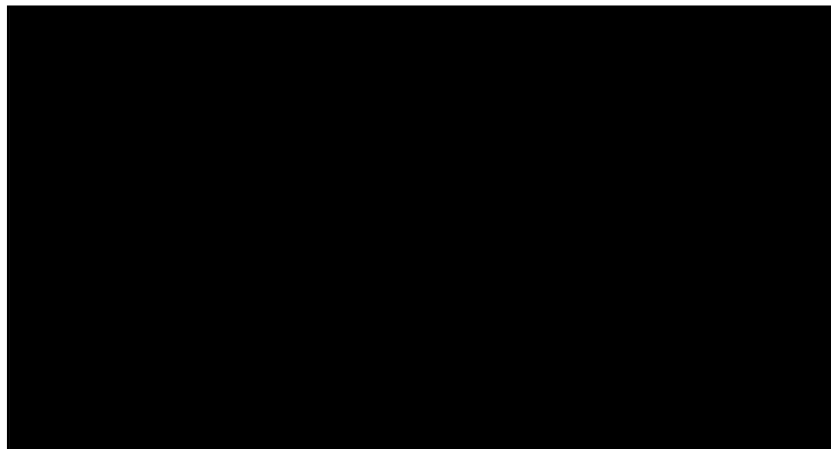


Figura 75. Entrada del Servicio del Operador

8.2.2. Topología lógica de la Red IPTV.

El principal esquema de trabajo de la red Metro *Ethernet* para la distribución *Multicast* del servicio IPTV del Operador presenta una distribución central partiendo desde el punto de inserción de contenido y dirigiéndose hacia el punto de acceso de la plataforma de servicios. Recordando la figura 14, el contenido es insertado a la red de distribución a través de los servidores encontrados en la capa de aplicación dentro de la red del Operador, para después ser enviado hacia el

cliente previa autorización. En la red del Operador el contenido es enviado hasta el Core, donde los *Switchs* T160 administran la pertenencia a los grupos IGMP. El método utilizado es PIM-SSM (*Protocol Independent Multicast – Source Specific Multicast*), que se enfoca principalmente en la distribución de contenido tipo *Broadcast* –como la televisión- y que permite que los suscriptores se unan a los grupos IGMP indicando la fuente y dirección del proveedor.

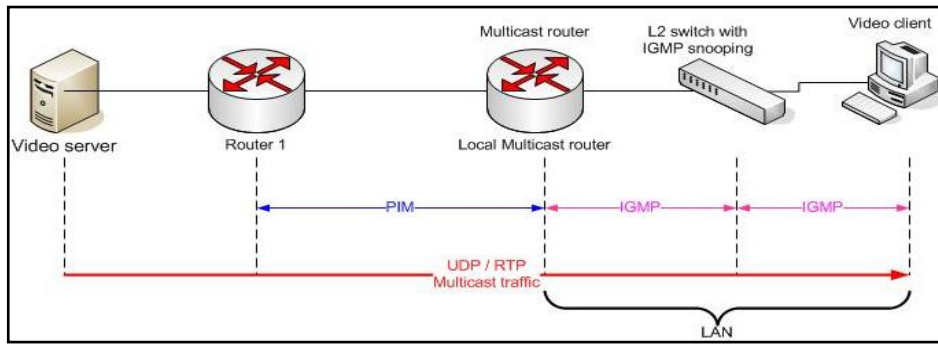


Figura 76. El *Router Multicast* se encuentra en el Core de la red¹⁹.

El tráfico se separa en *VLAN's* de modo que sea distribuido hacia los nodos de borde de la capa de distribución hacia la capa de acceso de la red del Operador, la cual queda fraccionada en 6 brazos de acuerdo con la distribución geográfica y el nivel de carga de la red.

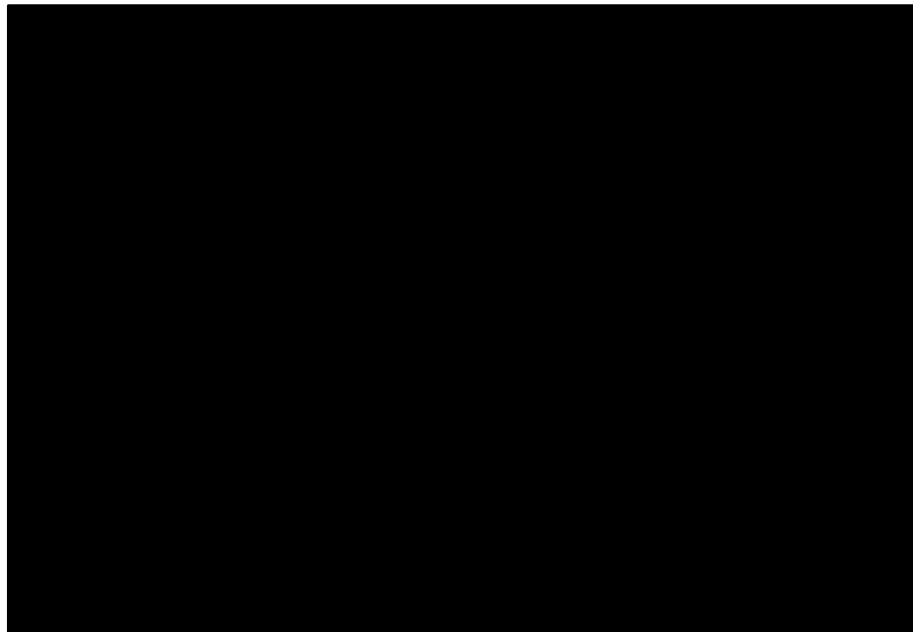


Figura 77. Distribución de *VLAN's* para el servicio IPTV en el Operador de Telecomunicaciones.

¹⁹ Para el caso específica del Operador.

El punto de inserción de contenido se encuentra actualmente en el anillo 5, en el brazo de la central de Colón a través de un *Switch* T64; el contenido es dirigido hacia los servidores de aplicación y es codificado en MPEG-4 para por medio del procesador de contenido finalmente ser enviado a través del *Core* la red del Operador. En el estado actual de la red, el servicio de IPTV es inyectado a través de un brazo de la *VLAN* 415 y enviado hacia el switch de *Core* en COL T160 por donde accede a la plataforma de servicios. El control del acceso al grupo de *Multicast* se ejerce al núcleo, donde también se provee el enrutamiento del contenido hacia los distintos T64 para posteriormente ser enviado hacia las UAMs y FSAPs. Adicionalmente el operador de Telecomunicaciones utiliza procesadores de contenido en que codifican en MPEG-2 pero que permiten la actualización a MPEG-4.

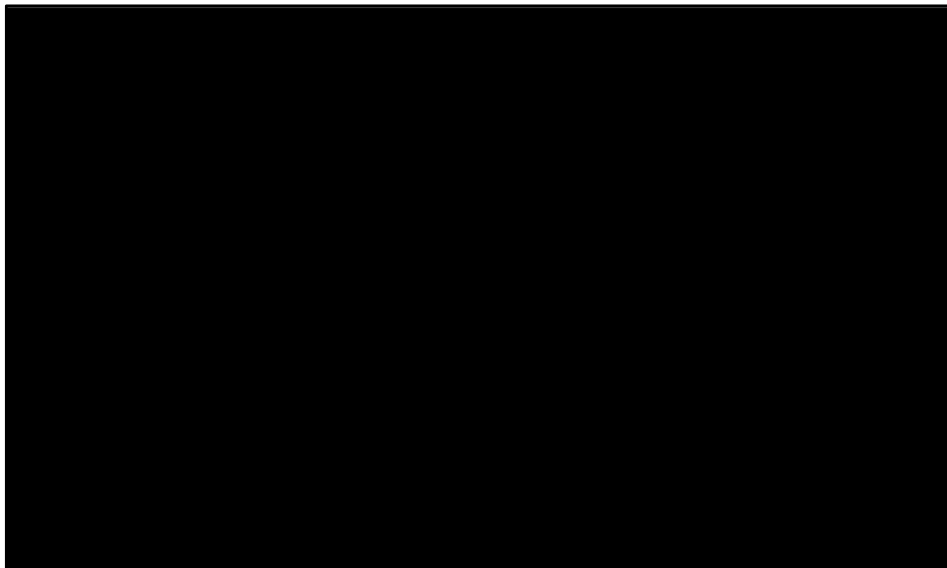


Figura 78. Conexión lógica del contenido de IPTV hacia plataforma de servicios.

8.3. Selección de la(s) propuesta(s) final para el Operador de Telecomunicaciones.

El Operador de Telecomunicaciones es un operador tipo TELCO que presta el servicio de acceso a Internet de banda ancha a través de xDSL, brindando cobertura en toda la ciudad de Cali, sus municipios aledaños como Jamundí, Yumbo y regiones de la vía a Cali-Palmira. El operador, si bien posee una red NGN (*Metro Ethernet*) con enlaces de fibra para clientes con gran ancho de banda, también llega con varios tipos de acceso a los clientes que se encuentran relativamente fuera del área principal de cobertura, como lo son enlaces de radio: Wimax/Wifi. Estos tipos de enlaces pueden ser menos confiables en cuanto a su capacidad y presentan mayor presión sobre la forma de contribuir al retraso en el cambio de canal.

8.3.1. Solución ideal adoptando todas las recomendaciones.

La solución para disminuir el retardo en el cambio de canal en el servicio de IPTV del Operador la mejor solución implica utilizar un enfoque mixto donde se adopten varias recomendaciones para disminuir el retardo en el cambio de canal, donde la red de acceso y la forma de codificar juegan un papel importante. Aprovechando los equipos proveídos por ZTE para la solución NGN del Operador, que cuenta con red conmutada *Metro-Ethernet* con enlaces de fibra *10GigaEthernet*, se plantea tomar el contenido y *Transportarlo* hasta la red de acceso a través de los amplios canales dispuestos dentro de la red del Operador de Telecomunicaciones. Para estos es importante considerar que de acuerdo a los informes de estado de la red, los enlaces están sobre-estimados, concordando con (Packet Loss Characteristics of IPTV-like Traffic on Residential Links, 2009). Esto permite usar ampliamente los anillos de distribución para transmitir contenido para acelerar la respuesta frente a una solicitud de cambio de canal por parte de un usuario.

Debido al diseño de la red del operador, se plantea como solución la distribución de contenido hasta la red de acceso. La solución planteada para el operador de Telecomunicaciones pretende utilizar servidores de aceleración tal como se plantea en el capítulo 6.3.2.2 –*TuneInServer TS*-, siendo esta una solución de red probada para la transmisión de IPTV aún en DVB-T (DVB-Scene June 2010, 2010) mejorando el desempeño del servicio. Estos servidores TS podrán usar IGMP-Snooping para “escuchar” las nuevas solicitudes IGMP de cambio de canal, ante lo cual responderán con un flujo de paquetes Unicast con tramas I aceleradas mientras la solicitud del cliente se dirige al servidor *Multicast* a través de la red, de manera que permita un enganche del STB más rápido durante este tránsito. Adicionalmente el TS recibirá el contenido completo todo el tiempo de modo que permita codificar en tramas I y reenviar el contenido ligeramente retrasado (2 segundos) para proveer de suficiente tiempo a la red de enganchar el contenido *Multicast* distribuido desde el *Core*.

Los servidores TS estarían distribuidos en todos los dispositivos de acceso disminuyendo al máximo los tiempos de tránsito del contenido Unicast, recibiendo todo el contenido *Multicast* y recodificando los canales para proveer de un punto de acceso aleatorio rápido al *Set-Top box*, permitiendo que un despliegue semi-instantáneo del contenido en el cliente.

Como recomendación tomada de (Statistical Analysis of Multicast versus Instant Channel Changing Unicast IPTV Provisioning, 2008), se plantea distribución estática de los canales favoritos mientras los canales que no corresponden a los más populares se distribuyen de manera dinámica. Adicionalmente los canales favoritos deben ser agrupados para que se permita la distribución con la técnica de los canales adyacentes mencionada en 6.2.3.

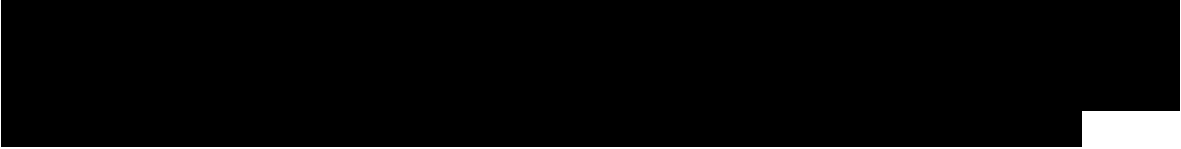


Figura 79. Red ideal para distribución de IPTV *Multicast* para el operador de telecomunicaciones²⁰.


El desarrollo de una solicitud de cambio de canal sería el siguiente: en primer instancia, al solicitar el cliente STB el cambio de canal, el TS, por estar escuchando las solicitudes de IGMP, procederá a enviar el contenido del canal solicitado de manera Unicast con tramas I para permitir un enganche RAP rápido del STB con el contenido retrasado, mientras la solicitud IGMP es Transportada hasta el *Router Multicast* en el *Core*. De este modo el STB empieza a decodificar el contenido *Unicast* retrasado de manera casi instantánea, mientras que el contenido *Multicast* de respuesta es enviado después a través de la red conmutada hasta el acceso y posteriormente hasta la premisa del cliente. Este método permite acortar retardo del tiempo de respuesta de la red *Multicast* mientras se ataca también el retraso producido por el STB al decodificar el RAP de manera casi instantánea (por el contenido enviado de tramas I aceleradas). El contenido es transmitido en MPEG-4 de baja resolución con el objeto de reducir el ancho de banda requerido en la última milla para realizar la transmisión mientras se conserva en el acceso el desempeño. Visto más en detalle, el comportamiento de la red al recibir una solicitud de cambio de canal IGMP sería tal como la figura siguiente:

Para disminuir el retraso generado por la sincronización del STB, se usa también un buffer de contenido de 50ms en el STB permitiendo asegurar la decodificación del contenido multimedia más rápida proveído por el TS, adoptando el enfoque planteado en 6.2.4.

²⁰ Se usan servidores de aceleración TS en el acceso.



Se considera también que una solución más ajustada a la realidad económica del Operador de Telecomunicaciones no permite implementar tantos servidores de aceleración en la red de acceso como se plantea idealmente, por lo que se requiere una solución similar pero más sencilla. Los servidores de aceleración han probado ser funcionales aún en DVB-T (DVB-Scene June 2010, 2010) al reducir de manera considerable el retardo debido a la adquisición de tramas I para la decodificación del video MPEG en el STB, que es considerado uno de las causas principales para el retardo en el cambio de canal (Cisco Networks). Sin embargo, la ciudad no permite el despliegue de equipos de alto costo por todos los sectores debido a vandalismo y otros factores socio-económicos que se escapan al alcance de este documento.



Como recomendación tomada de (Statistical Analysis of Multicast versus Instant Channel Changing Unicast IPTV Provisioning, 2008), se plantea distribución estática de los canales favoritos mientras los canales que no corresponden a los más populares se distribuyen de manera dinámica. Adicionalmente los canales favoritos deben ser agrupados para que se permita la distribución con la técnica de los canales adyacentes mencionada en 6.2.3.

Para disminuir el retraso generado por la sincronización del STB, se usa también un buffer de contenido de 50ms en el STB permitiendo asegurar la decodificación del contenido multimedia rápido provisto por el TS, adoptando el enfoque planteado en 6.2.4. De manera similar, el contenido de video *Multicast*, generado en los códec de la red del Operador de Telecomunicaciones, es transmitido con un tamaño de GOP igual a 12 *Frames* con 480ms aproximadamente.

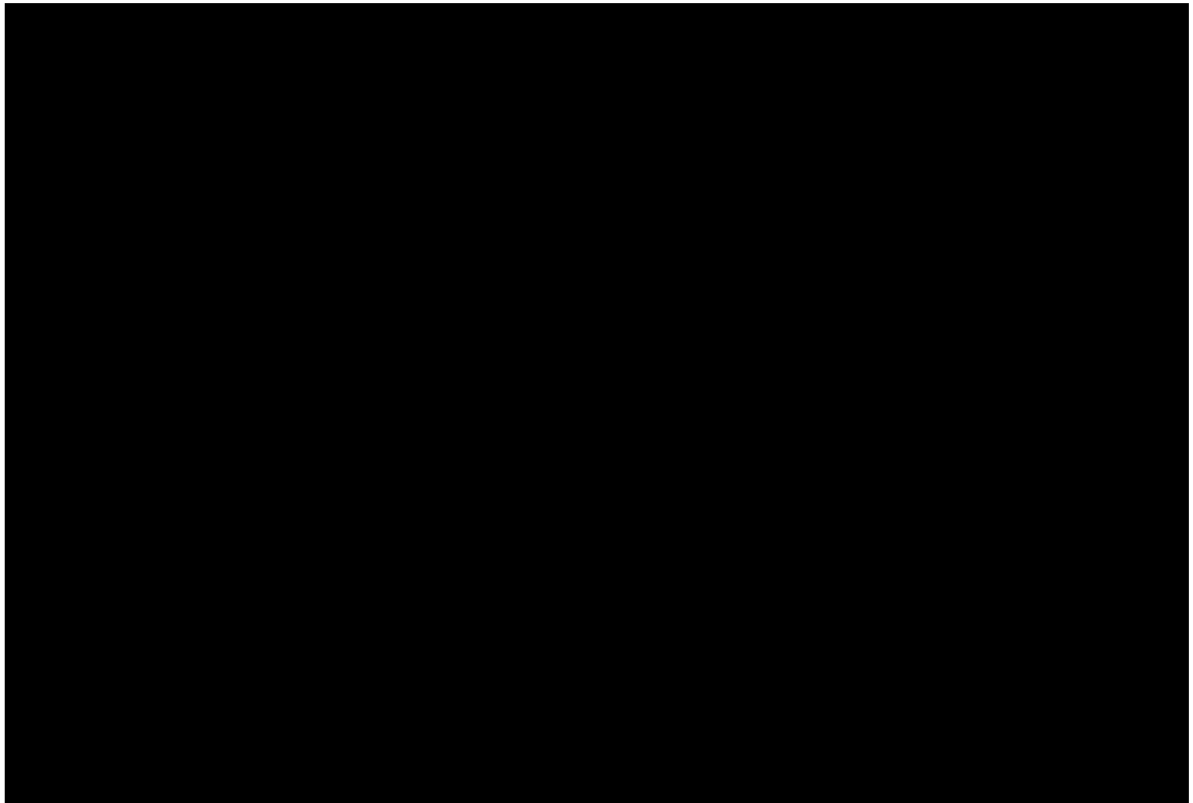


Figura 81. Solución real para el Operador de Telecomunicaciones²².

Como mejora adicional, se toma la recomendación de 6.3.2 para mejorar la capacidad del STB para decodificar más rápidamente mediante implementaciones en los códec: para mejorar el desempeño, es importante que el *Transport Stream* envíe la PAT cada 100ms y la PMT cada 400ms de modo que el STB cuente siempre con información actualizada de la lista de contenido disponible.

8.4.1. Pruebas del servicio de IPTV del Operador.

Con las recomendaciones tomadas en la sección anterior, se hace necesario realizar pruebas para verificar que su implementación se haya realizado correctamente, mejorando efectivamente el desempeño de la red del Operador de Telecomunicaciones para la prestación del servicio IPTV, en el aspecto de la reducción del tiempo necesario para realizar un cambio de canal. De manera similar, se usa entonces, el esquema de pruebas planteado en el capítulo 7.2, con las recomendaciones implementadas. A continuación se describe el esquema de pruebas implementado para medir los tiempos de cambio de canal y los parámetros que contribuyen al mismo. En la figura 81 se muestra el esquema implementado.

²² Cada servidor de aceleración atiende a dos anillos, mientras se aumenta el número de servidores.

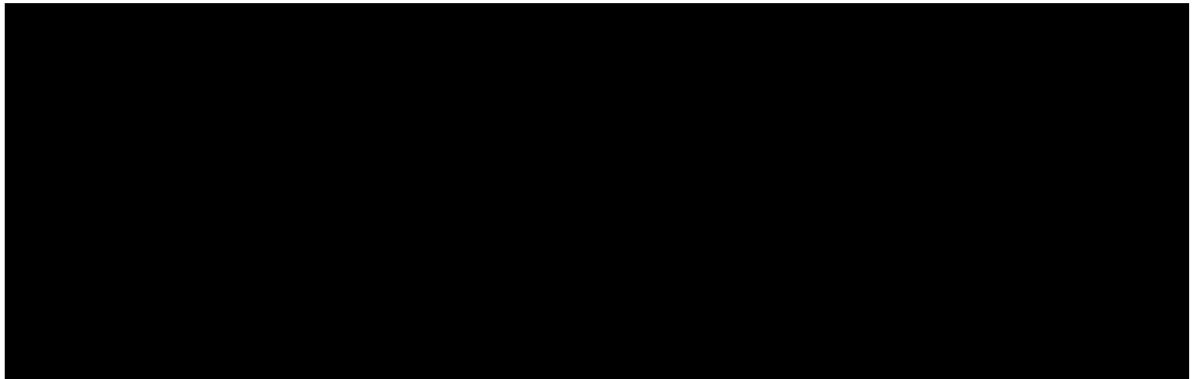


Figura 82. Esquema básico de pruebas.

La prueba consistió en probar como se comportaba una transmisión de un canal *Multicast* correspondiente al servicio de IPTV ante la presencia o no de navegación web (lo cual se denominó como navegación con o sin carga) sobre el mismo enlace de última milla, en este caso, par de cobre para la red del Operador de Telecomunicaciones. Tomando como referencia el grafico de la figura 81, el equipo de mediciones EXFO fue utilizado para sintonizar y realizar los respectivos cambios de canal, mientras que con el equipo Laptop se encargo realizo descarga de contenido Web mientras se realizaron las consultas *Multicast*, en el caso de las pruebas con carga. Después de realizar las pruebas de cambio de canal con once canales se observaron los siguientes resultados:

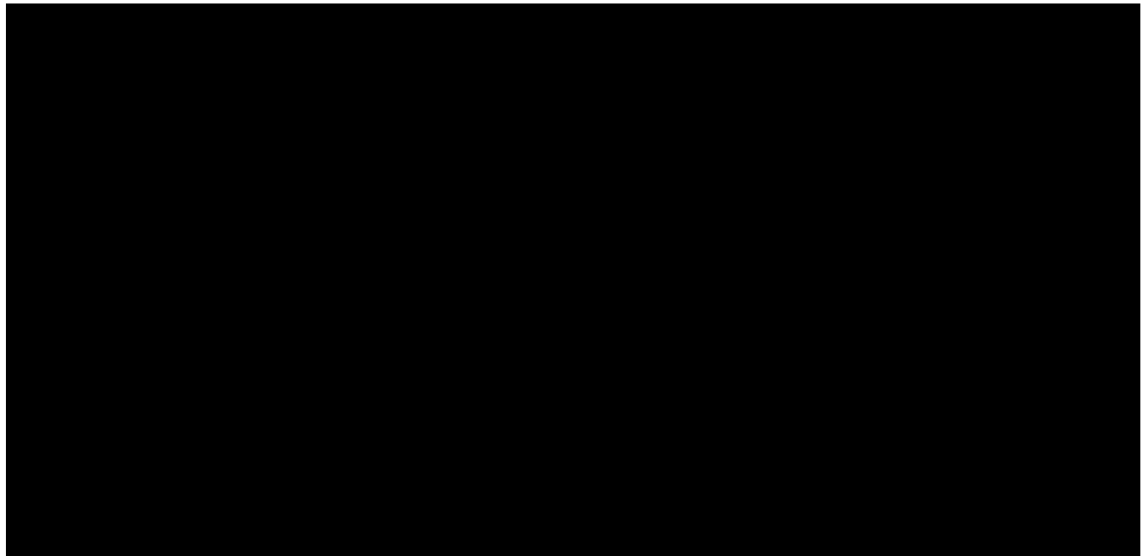


Figura 83. Comportamiento obtenido para las pruebas²³ sin carga.

²³ Usuarios diferentes a diferentes distancias.

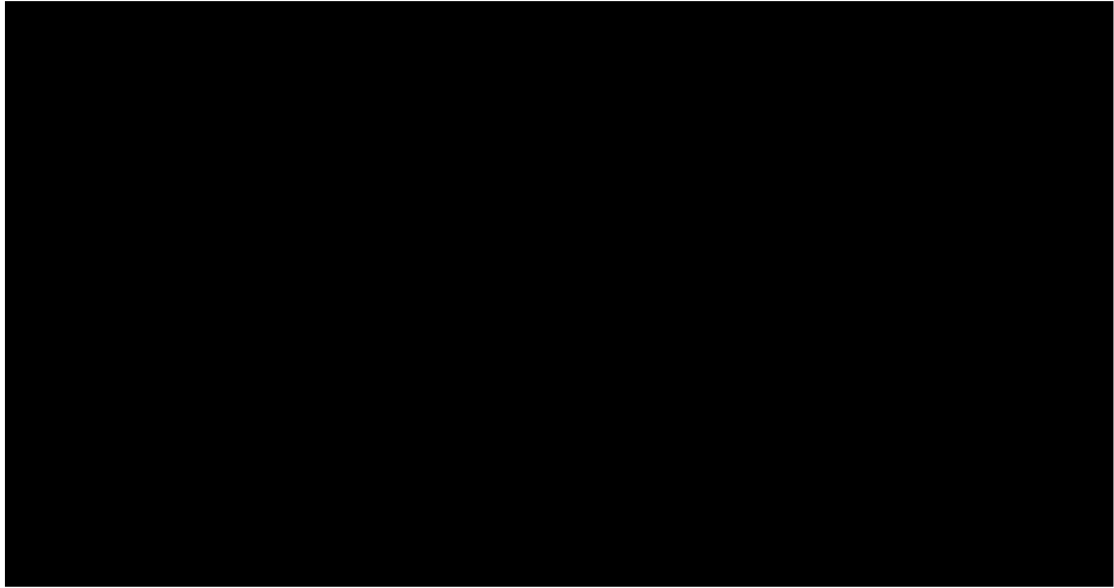


Figura 84. Comportamiento obtenido para las pruebas con carga.

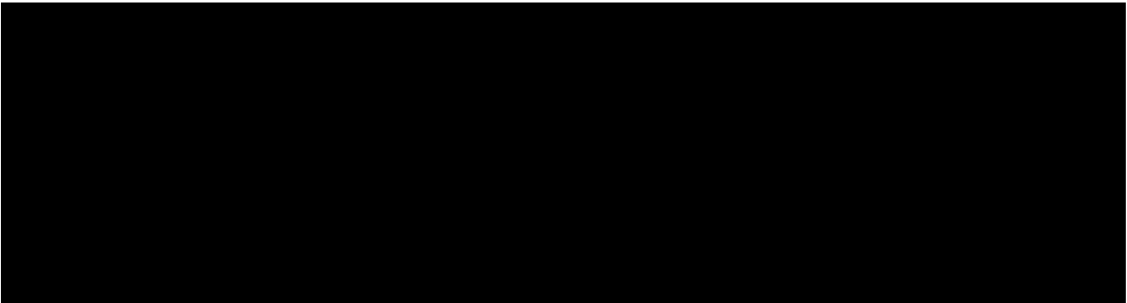


Figura 85. Canal *Multicast* con defectos de emisión desde la fuente.

Una vez tomados los resultados, se procede a validar que los datos obtenidos del comportamiento del retraso en el cambio de canal correspondan a una distribución normal, obteniéndose el siguiente diagrama mediante la herramienta MatLab:

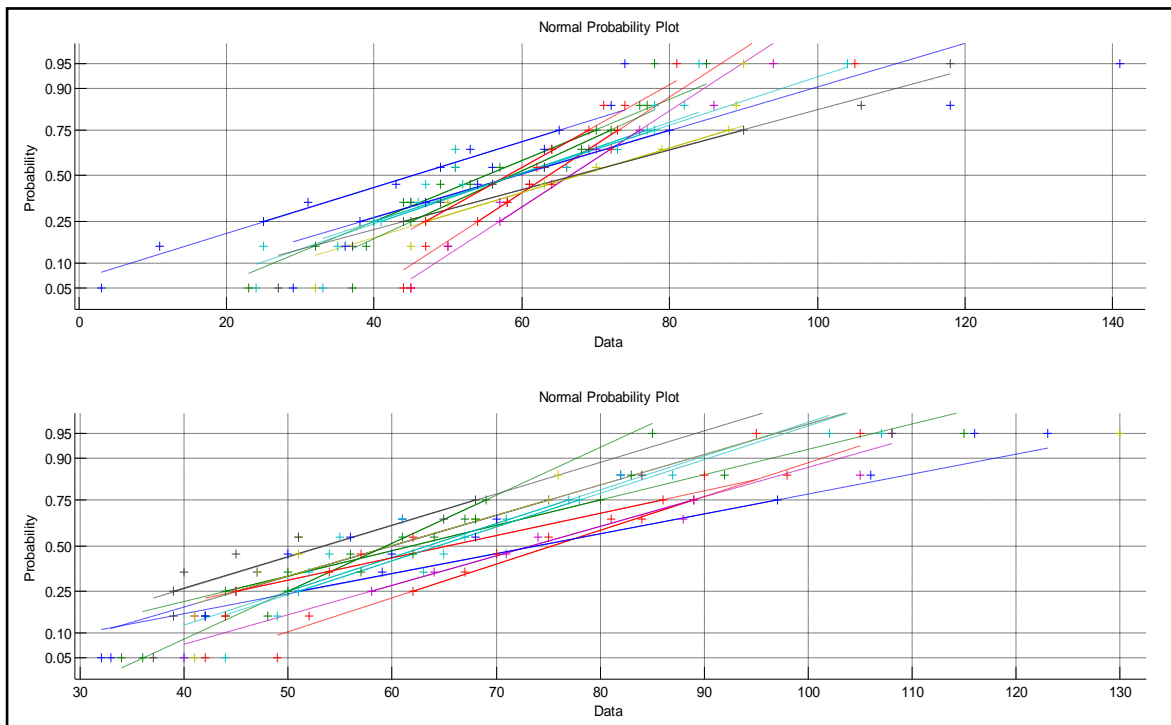


Figura 86. Comparación con la distribución normal para los flujos de prueba realizados.

Observando la correspondencia con esta distribución, se puede concluir a partir de las medidas de tendencia central que el retraso en el cambio de canal se comporta bastante dependiente de ciertos factores, lo que resta la uniformidad del servicio percibido en el cliente:

- Del estado del enlace: se encuentra que la diferencia del retardo en el cambio de canal entre un enlace sin stress y uno congestionado es aproximadamente de [REDACTED] entre promedios medidos, lo que reflejaría las dificultades generadas debido principalmente a los límites en la tasa de transmisión impuestos por la conexión física.
- De la ubicación del cliente: se encuentra que la cifra de retardo del cambio de canal no es constante en todas las zonas geográficas llegando a alcanzar un [REDACTED] del valor total del retardo medido, indicando que esta variación es afectada por la calidad de servicio durante el *Transporte* de la señal que brinda la red del Operador, afectando a los usuarios finales en las distintas zonas de presencia del operador.
- Del canal en cuestión: se encuentra que la diferencia entre el Zap de los distintos canales es considerable, alcanzando un [REDACTED] en promedio del total del retardo medido, lo que puede implicar que problemas en la codificación por canal al no obtener uniformidad en el tratamiento de las

distintas señales de entrada de contenido. Este resultado no considera el canal que se encuentra desproporcionado frente al promedio de los demás canales.

En las siguientes gráficas se puede observar el comportamiento medio del retraso en el cambio de canal diferenciado tanto por canal emitido como por sitio de prueba, encontrándose las diferencias tanto en las medias como en la desviación estándar.

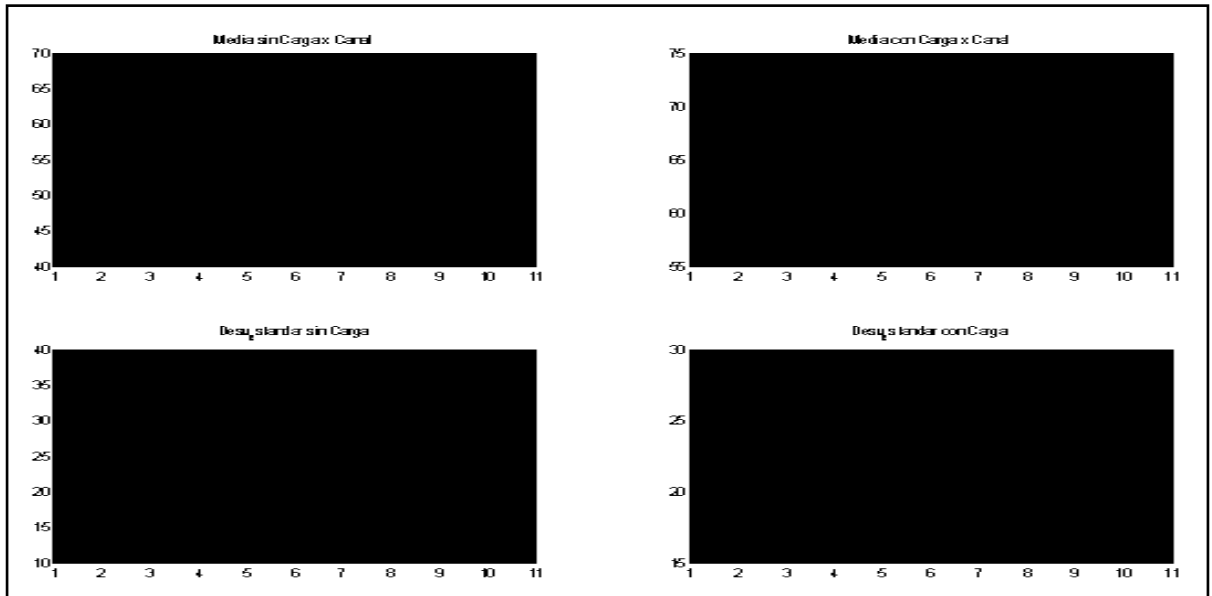


Figura 87. Tiempo de cambio de canal diferenciado por canal.

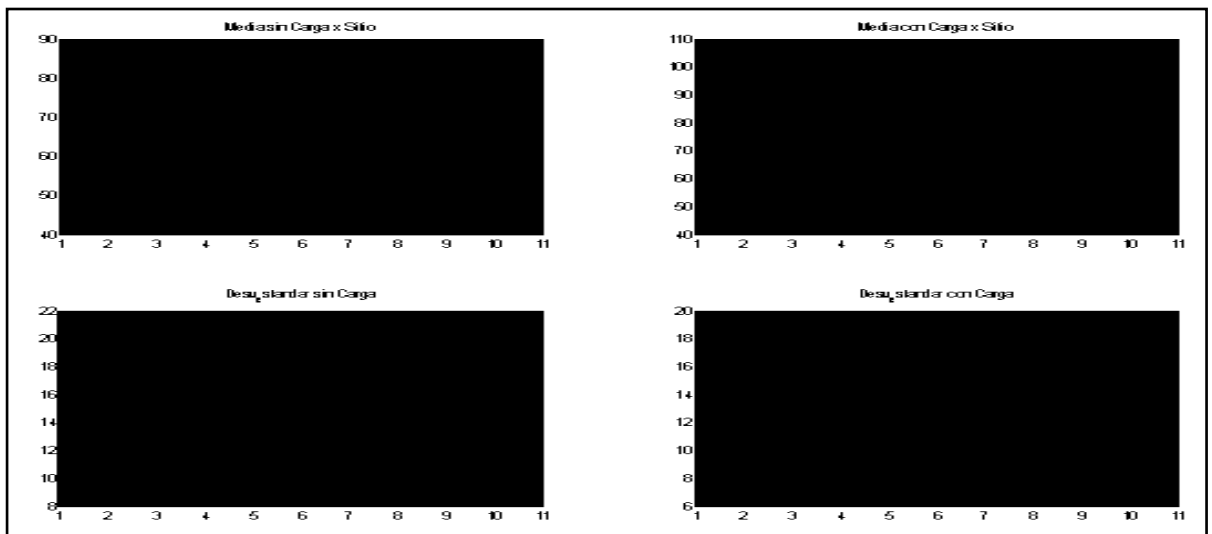


Figura 88. Tiempo de cambio de canal diferenciado por sitio de prueba.

Si bien no es permitido desplegar el sitio físico de las pruebas, se puede observar diferencias importantes entre los sitios y los canales, lo que se atribuye a deficiencias en la codificación del contenido en la fuente y a la transmisión del contenido multimedia a través de la red. Finalmente, la obtención de los parámetros de PCR *Jitter* no fue posible debido a que el dispositivo no devuelve los datos tabulados, sino que despliega el resultado de la prueba realizada. Un caso típico se presenta la siguiente figura:

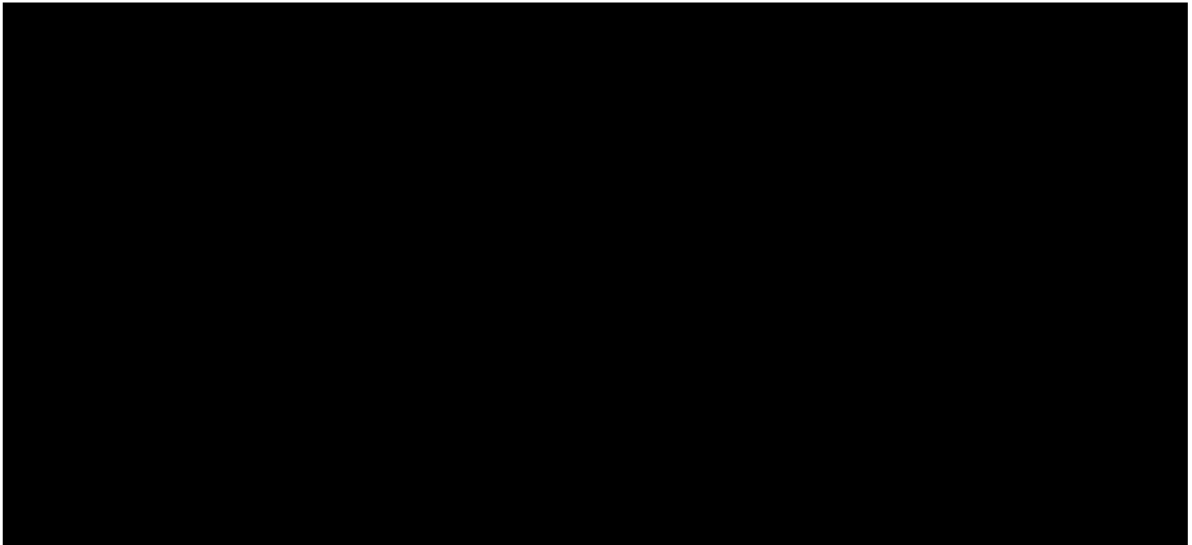
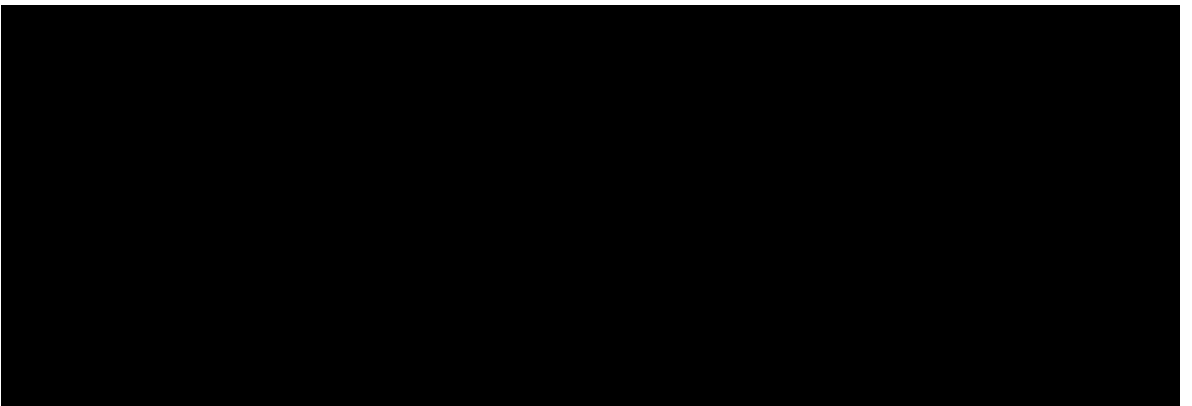



Figura 89. Resultados de PCR *Jitter* entregados por el dispositivo de prueba.

Sin embargo, de la figura se puede observar el comportamiento deficiente del *Jitter* PCR, alcanzando valores que están claramente por fuera del rango permitido y que opacan en magnitud a los demás resultados. Esto refleja un desempeño anómalo en la transmisión y codificación del contenido, implicando entonces que se puede ver afectada la calidad de la experiencia tal como se percibe en el cliente.

8.5. Análisis de resultados y Recomendación final





Un problema significativo en el despliegue del servicio es la calidad de la experiencia apreciada durante la realización de las pruebas, donde se observa problemas severos de sincronización de audio/video en la mayoría de los análisis realizados que pueden ser adjudicados a los problemas de desplazamiento del Program Clock Reference, conocido como PCR *Jitter*. El PCR es importante, porque es a partir de él que se realizan las impresiones del tiempo de presentación (*Presentation Time Stamp*) PTS, que según se indica en (LG Electronics) son usados para el despliegue de cada *Frame* de audio y video. Estos problemas se deben principalmente a falencias en la codificación del *Transport Stream*; debido a que el IP *Jitter*, parámetro que mide el desplazamiento del retardo de la llegada de paquetes IP, presenta sólo leves alteraciones que son consideradas válidas dentro de los parámetros *normales*. En estas circunstancias, se presenta problemas de sincronización que conllevan a retrasos, ocasionando que debido a la falta de información adecuada acerca del despliegue del contenido se presenten buffer *Over/underflows* en el STB.

Dentro de los planes contemplados por el Operador de Telecomunicaciones se considera la posibilidad de implementar una solución propietaria desde el Encoder hasta el STB que permitiría transmitir calidad SD+, a través de una suite de protocolos propietarios que no consumen más de 2Mbps. Esta solución permite mejorar el desempeño de la red de acceso frente a los problemas que presenta la organización en la última milla, pero dificulta la interoperabilidad y limita al Operador de Telecomunicaciones a usar únicamente este tipo de dispositivos. Es importante tener en cuenta que los dispositivos de codificación deberían contar con la capacidad de realizar codificación escalable, tal como se recomienda en (Scalable Video Coding for IPTV Services, Junio 2009), de modo que el despliegue se pueda realizar en distintos tipos de dispositivos para las distintas audiencias y capacidades instaladas, aprovechando la amplia cobertura de la red del Operador aún en el sistema de Transporte Masivo de la ciudad de Cali.

Finalmente, la aproximación del Operador de Telecomunicaciones de distribuir IPTV inicialmente desde *Routers* en el *Core* es ajustada a la realidad de la organización, pero debe de irse acercando al cliente si pretende masificar el servicio tal como es en la realidad colombiana. La necesidad de instalar este tipo de distribución de contenido hasta la red de distribución debe ser un imperativo para mejorar el desempeño en cuanto al manejo del ancho de banda utilizado por el servicio, de lo contrario las peticiones Unicast podrían saturar los enlaces de las redes de distribución/acceso en la medida que el número de abonados se incrementa.

Bibliografía

A benchmark for fast channel change In IPTV. . **Ivan Kopilovic, Marcel Wagner; Nokia Siemens Networks GmbH & Co.KG.**

A Unified Approach for Reducing Packet Loss and Accelerating Channel Changes in Multicast IPTV. . **Ali C. Begen, Neil Glazebrook , William Ver Steeg; Cisco Systems.**

Adding the Community to Channel Surfing A new Approach to IPTV Channel Change. **Marie-José Montpetit, Henry Holtzman, Herb Calhoun.** .

Agilent N2X Testing IPTV Channel Zapping. **Agilent.**

An Effective Channel Control Algorithm for Integrated IPTV Services Over DOCSIS CATV Networks. **Dai-boong Lee, Hunchul Joo, and Hwangjun Song.** .

An Implementation of the Broadband Home Gateway supporting Multi-Channel IPTV Service. . **Wan-Ki Park, Chang-Sic Choi, Youn-Kwae Jeong, Intark Han.** .

ATSC Digital Television Standard: Part 4 – MPEG-2 Video System Characteristics, . **ATSC. 2009.** 2009, Document A/53 Part 4:2009.

Caracterización de los individuos propensos al cambio de canal de televisión. **Juan Carlos Gázquez-Abad, David Jiménez-Castillo, Elvira Sáez-González, Manuel Sánchez-Pérez. Segundo trimestre 2000.** Segundo trimestre 2000, Universia Business Review, Vols. ISSN: 1698-5117.

Channel Change Delay in IPTV Systems. . **Huseyin Uzunalioglu, Alcatel-Lucent** .

Channel Smurfing. **Crawford,John; Ramos, Fernando.** .

cisco. cisco. cisco. [Online] [Cited: 3 21, 2011.] http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns524/ns610/net_implementation_white_paper0900aecd8057f290.html.

DVB-Scene June 2010 . 2010. 2010, DVB-Scene.

Effect of Multicast on IPTV Channel Change Performance. **Zlatan Begic , Melika Bolic , Himzo Bajric.**

Fast Efficient Channel Change. . **Jill M. BOYCE, ZEEE and Alexis M. TOURAPIS.**

fh-friedberg. *fh-friedberg*. [Online] [Cited: 4 23, 2010.] <http://www.fh-friedberg.de/fachbereiche/e2/telekom-labor/zinke/mk/mpeg2beg/beginnzi.htm#What%20is%20MPEG-2>.

Fuzzy Joint Encoding and Statistical Multiplexing of Multiple Video Sources with Independent Quality of Services for Streaming over DVB-H. **Bouazizi, Imed. Gabbouj, Moncef. Rezaei, Mehdi.** .

Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems. **ISO/IEC International Organization for Standardization**. ISO/IEC13818-1:2000.

IEEE Std 802.1Q – 2001, Virtual Bridged Local Area Networks- Amendment 2: VLAN Classification by Protocol and Port. **IEEE. 07 August 2002..** 07 August 2002.

IEEE Std 802.3 – 2002, Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications. **IEEE. 8 March 2002.** . 8 March 2002. .

IEEE Std 802.3ae – 2002, Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Oper. **IEEE. 13 June 2002.** 13 June 2002.

Image and video compression for multimedia engineering. . **Shi, Yun. Sun, Huifang.** CRCpress, Vol. 2.

Improvement of Channel Zapping Time in IPTV Services Using the Adjacent Groups Join-Leave Method. **Chunglae Cho, Intak Han, Yongil Jun and Hyeongho Lee.** .

Internet Multicasting of IPTV With Essentially-Zero Delay Jitter. **Szymanski, T.H.; Gilbert, D.** Dept. of Electr. & Comput. Eng.

IPTV FocusGroup Proceedings 2008. . **UIT-T. 2008.** 2008.

ISO/IEC 14496 Part 10: Advanced Video Coding. **ISO/IEC International Organization for Standardization. 2010.** 2010, Vol. 6.

ITU-T. May 2007. *Definition of Quality of Experience (QoE)*. Bled, Slovenia : FG IPTV-IL-0050, Focus Group On IPTV, May 2007.

ITU-T G.1080; Quality of experience requirements for IPTV services. **ITU-T. December 2008..** December 2008.

ITU-T G.1081 Performance monitoring points for IPTV. **ITU-T.**

ITU-T G.809 - Arquitectura funcional de las redes de capa sin conexión. **UIT-T. 2003.** 2003.

ITU-T Y.1544; Multicast IP performance parameters. **ITU-T.**

ITU-T Y.1900-series – Supplement on IPTV service use cases. **ITU-T.**

ixiacom. *ixiacom.* [Online] [Cited: 12 10, 2010.]
http://www.ixiacom.com/library/test_plans/display?skey=iptv-channel-change.

MEF 10, Ethernet Services Attributes Phase 1. **Metro Ethernet Forum. November 2004.** November 2004.

MEF 4, MEN Architecture Framework - Part 1: Generic Framework. **Metro Ethernet Forum. May 2004..** May 2004.

MEF. *Metro Ethernet Fórum. Metro Ethernet Fórum.* [Online] [Cited: Agosto 25, 2010.] <http://metroEthernetforum.org/>.

MEN Architecture Framework Part 2: Ethernet Services Layer. **Metro Ethernet Forum. April 2005.** April 2005, MEF 12.

Minoli, Daniel. 2008. *IP Multicast with applications to IPTV and mobile DVB-H.* Canada : Wiley-Interscience, 2008.

MPEG-4 Natural Video Coding - An overview. **Touradj Ebrahimi and Caspar Horne.**

Multicast Instant Channel Change in IPTV Systems. **Damodar Banodkar, K.K. Ramakrishnan, Shivkumar Kalyanaraman, Alexandre Gerber, Oliver Spatscheck. .**

NTSC. *NTSC-TV. NTSC-TV.* [Online] [Cited: 01 05, 2011.] www.ntsc-tv.com.

O'Driscoll, Gerard. 2008. *Next Generation IPTV Services and Technologies.* New Jersey : Wiley-Interscience, 2008.

Packet Loss Characteristics of IPTV-like Traffic on Residential Links. **Ellin, Martins. Perkins, Colin.**

portafolio. *portafolio.* [Online] [Cited: 10 12, 2010.]
http://www.portafolio.com.co/economia/economiahoy/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-5721008.html.

RFC 1075, Distance Vector Multicast Routing Protocol. **D.Waitzman, C. Partridge, S.Deering. November 1988..** November 1988.

RFC 1583, OSPF Version 2. . **Moy, J., Proteon, Inc. Marzo 1994..** Marzo 1994.

RFC 1585, MOSPF: Analysis and Experience. **Moy, J., Proteon, Inc., . Marzo 1994..** Marzo 1994.

RFC 2201, Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture. **Ballardie, A. September 1997..** September 1997.

RFC 2362, Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification. **D. Estrin [USC], D. Farinacci [CISCO], A. Helmy [USC], D. Thaler [UMICH], S. Deering [XEROX], M. Handley [UCL], V. Jacobson [LBL], C. Liu [USC], P. Sharma [USC], L. Wei [CISCO]; .** **June 1998.** June 1998.

RFC 3393, IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM). **C. Demichelis [Telecomitalia Lab], P. Chimento [Ericsson IPI].** **November 2002.** November 2002.

RFC 3569, An Overview of Source-Specific Multicast (SSM). **S. Bhattacharyya, Ed. July 2003..** July 2003.

RFC 3973, Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification; . **A. Adams [NextHop Technologies], J. Nicholas [ITT A/CD], W. Siadak [NextHop Technologies];.** **January 2005..** January 2005.

RFC-2236, Internet Group Management Protocol, Version 2. **W. Fenner [Xerox PARC].** **November 1997..** November 1997.

RFC4541, Considerations for Internet Group Management Protocol (IGMP) and Multicast Listener Discovery (MLD) Snooping Switches. **M. Christensen [Thrane & Thrane], K. Kimball [Hewlett-Packard], F. Solensky [Calix].** **May 2006..** May 2006.

Rob Koenen. Overview of the MPEG-4 Standard. . **ISO/IEC International Organization for Standardization.** ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N4030.

Scalable Video Coding for IPTV Services. **Wiegand, Thomas; Noblet, Ludovic; Fabrizio Rovati. .** **2009.** 2009, IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING.

scribd. scribd. [Online] [Cited: 5 23, 2011.]
[http://www.scribd.com/doc/50692608/18/Graphical-View-of-PAT-PMT.](http://www.scribd.com/doc/50692608/18/Graphical-View-of-PAT-PMT)

Server-Based Fast Channel Change for DVB-IPTV Systems. . **Digital Video Broadcasting (DVB).** **August 2010.** August 2010.

Statistical Analysis of Multicast versus Instant Channel Changing Unicast IPTV Provisioning. . **Janevski, Tony. Vanevski, Zoran. . 2008.** 2008.

Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements. **DSL Forum. 2006.** 2006, Technical Report TR-126.

UIT-T Y.110 - Information Infrastructure principles and Framework architecture. **UIT-T. 1998.** 1998.

UIT-T Y.2001 - Visión general de las redes de próxima generación. **UIT-T. 2004.** 2004.

UIT-T Y.2011 - Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación. **UIT-T. 2004.** 2004.

UIT-T Y.2012 - Requisitos y arquitectura funcional de las redes de la próxima generación. **UIT-T. 2006.** 2006, Vol. 1, p. 9.

UIT-T Y.2014 - Funciones de control de redes adjuntas en redes de próxima generación. **UIT-T.**

UIT-T Y.2111 - Recursos y funciones de control de admisión en redes de próxima generación. **UIT-T.**

Video Quality Research. *Video Quality Research.* [Online] [Cited: 9 21, 2010.] http://www.its.blrdoc.gov/n3/video/examples_of_digital_video_impair/index.php.

Y.1540, Internet protocol data communication service IP Packet transfer and availability performance parameters. **ITU-T.**