

Tesis de Magister

Alumno: Higinio Alberto Facchini

Maestría en Redes de Datos

Director: Ing. Luis Marrone - UNLP

Director: Mg. Ing. Santiago Pérez – UTN FRM

**Título: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE
PRESTACIONES DE TRÁFICO DE VIDEO
MULTICAST EN REDES HETEROGÉNEAS”**

Mendoza, Julio 2016

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a:

Muy especialmente a Mabel, mi esposa, mi amor, mi compañera de siempre, por estar ahí, siempre a mi lado en cualquier circunstancia, por su continuo apoyo para mis actividades laborales y personales, por su comprensión, su paciencia y su amor.

A mis hijos, que plantean la esperanza del futuro, que llenan mi familia, y que complementan mi vida.

A mis padres, que a pesar de las necesidades pasadas, siempre creyeron en mí y alentaron permanente el estudio y el crecimiento en la vida.

A mis directores de tesis Luis Marrone y Santiago Pérez por darme la posibilidad de realizar este trabajo, por poner toda su confianza y brindarme su apoyo en la guía y corrección permanente de la misma.

A los participantes de los grupos de investigación de nuestro Laboratorio LATYS; docentes, graduados y alumnos; con quienes hemos y estamos trabajando por aprender, conocer cosas nuevas, desarrollarnos en nuestro conocimiento.

A la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional, en forma general, ya que fue el lugar donde me formé académicamente, desde alumno hasta docente; y donde puedo desarrollar mis actividades docentes y de investigación diariamente.

A Dios Nuestro Señor y a Nuestra Madre, la Virgen María, por todas las bendiciones recibidas y la FE para seguir adelante en los momentos más difíciles.

RESUMEN

Durante los últimos años, se ha visto un aumento exponencial en el crecimiento en aplicaciones multimediales, y en particular en aplicaciones de video. Hoy en día, se puede recibir televisión digital con servicios de alta definición, existen sitios de Internet que ofrecen películas on-line; y los usuarios realizan carga y descarga de videos con sitios como YouTube.

Hoy, es posible recibir la televisión digital con servicios de alta definición y un mayor número de canales. Grabar y compartir videos con los teléfonos móviles también ha sido generalizado. Las grandes empresas y organizaciones que utilizan aplicaciones de videoconferencia como Cisco TelePresence WebEx y, para la colaboración cara a cara en diferentes regiones geográficas, e incluso dentro de la misma empresa. Los consumidores exigen cada vez más en términos de la calidad y el rendimiento de los productos basados en vídeo, y por lo tanto, hay un fuerte incentivo para la mejora continua en tecnologías multimedia.

Los consumidores son cada vez más exigente en cuanto a la calidad y rendimiento de los productos basados en vídeo. Siguiendo una línea de investigación de tráfico multicast anterior, se pretende comprender la estructura de los datagramas de vídeo y los requisitos que imponen a la red, y obtener conclusiones sobre las mejores opciones de tráfico de video multicast y unicast en redes de laboratorio que ayudarán a mejorar el tráfico en la misma.

El objetivo es obtener conclusiones sobre la conveniencia y rendimiento de tráfico multicast y unicast para el transporte de video a múltiples usuarios dependiendo de tipos de tráfico de video, de los distintos codecs y de los distintos tipos de tráfico de video según los codecs utilizados, en una red de laboratorio con equipos reales como switches, routers, servidores de video y dispositivos finales.

CONTENIDOS

CONTENIDOS	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABLAS.....	XIV
LISTA DE ACRÓNIMOS	XV

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN	1
I.1) Introducción	1
I.2) Objetivos.....	4
I.2.1 Objetivo general	4
I.2.2 Objetivos específicos	4
I.3) Desarrollo y trabajos de experimentación.....	5
I.4) Plan de trabajo	6
I.5) Ámbito de investigación	7
I.6) Contribuciones principales de la tesis.....	8
I.7) Esquema de la tesis	8

CAPITULO II

VISIÓN GENERAL Y ESTADO DEL ARTE DE LA MULTIDIFUSIÓN DE TRÁFICO DE VIDEO	11
II.1) Visión general de multidifusión	11
II.1.1 Introducción	11
II.1.2 Fundamentos de multidifusión IP	11
II.1.3 Ambientes multidifusión.....	13
II.1.4 Aplicaciones y soporte de la multidifusión.....	14
II.1.5 Multidifusión de video en interconexión de redes	16
II.2) Codecs de video	18
II.2.1 Introducción	18
II.2.2 El desafío de comprimir video	19
II.2.3 Formatos de video	22
II.2.3.1 Organismos de estandarización	24
II.2.3.2 Codecs estándares	25
II.2.3.3 Codecs propietarios.....	33

II.2.3.4 Containers estándares.....	34
II.2.3.5 Containers propietarios	34
II.3) Estado del arte y propuesta de estudio experimental	35
II.3.1 Introducción	35
II.3.2 Trabajos relacionados	35
II.3.3 Descripción de “streaming de video” y aplicaciones asociadas	40
II.3.4 Métricas de medición.....	46
II.3.5 Propuesta de estudio experimental.....	48
II.4) Sumario	50

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIOS, DE LOS RECURSOS Y DE LAS HERRAMIENTAS DE EXPERIMENTACIÓN.....	51
--	-----------

III.1) Topología de trabajo	51
III.2) Software de streaming Unreal Media Server.....	53
III.2.1 Descripción general	53
III.3) Video y codecs de experimentación.....	55
III.4) Software Wireshark	59
III.4.1 Descripción general	59
III.4.2 Captura de paquetes de red cableada e inalámbrica	60
III.4.3 Procesamiento de los paquetes	61
III.4.4 Uso de la página de inicio de Wireshark	62
III.4.5 Elementos de la interfaz gráfica de usuario.....	62
III.5) Sumario	63

CAPITULO IV

RESULTADOS EXPERIMENTALES	65
--	-----------

IV.1) Resultados escenario de experimentación	65
IV.2) Resultados obtenidos con tráfico multicast	67
IV.2.1 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 1	67
IV.2.2 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 2	68
IV.2.3 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 3	70
IV.2.3.1 Número de paquetes	72
IV.2.3.2 Número de bytes.....	74
IV.2.3.3 Tamaño de paquete promedio	77
IV.2.3.4 Cantidad de errores.....	79
IV.2.3.5 Espacio intertrama promedio.....	80
IV.2.3.6 Velocidad de transmisión promedio.....	83
IV.2.4 Distribuciones estadísticas básicas de los codecs para tráfico multicast.....	85
IV.2.4.1 Distribución estadística del codec MPEG-4 AVC	85
IV.2.4.2 Distribución estadística del codec MPEG-4 VISUAL.....	88

IV.2.4.3 Distribución estadística del codec MPEG-2.....	91
IV.2.4.4 Comparación de la distribución estadística entre los codecs	93
IV.2.5 Distribución estadística comportamiento autosimilar de los codecs.....	96
IV.2.5.1 Comportamiento autosimilar del codec MPEG-4 AVC.....	97
IV.2.5.2 Comportamiento autosimilar del codec MPEG-4 VISUAL.....	99
IV.2.5.3 Comportamiento autosimilar del codec MPEG-2	100
IV.2.5.4 Comparación de la distribución estadística autosimilar entre los codecs ..	101
IV.3) Resultados obtenidos con tráfico unicast.....	102
IV.3.1 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 1	102
IV.3.2 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 2	104
IV.3.3 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 3	107
IV.3.3.1 Número de paquetes total.....	110
IV.3.3.2 Número de bytes por flujo de codec	112
IV.3.3.3 Tamaño de paquete promedio	117
IV.3.3.4 Cantidad de errores.....	119
IV.3.3.5 Espacio intertrama promedio.....	119
IV.3.3.6 Velocidad de transmisión promedio.....	125
IV.3.4 Distribuciones estadísticas de los codecs	127
IV.3.4.1 Distribución estadística del códec MPEG-4 AVC	127
IV.3.4.2 Distribución estadística del códec MPEG-4 VISUAL	130
IV.3.4.3 Distribución estadística del códec MPEG-2.....	133
IV.3.4.4 Comparación de la distribución estadística entre los codecs	136
IV.4) Comparación de resultados entre tráfico multicast y unicast	138
IV.4.1 Comparación del número de bytes y tamaño de paquetes.....	138
IV.4.2 Comparación de los tiempos intertramas	140
IV.4.3 Comparación entre retardo y diferencia de retardo (jitter).....	141
IV.4.4 Sobrecarga sobre los enlaces WAN (tasa de bits totales)	143
IV.4.5 Impacto sobre la QoS	148
IV.5) Conclusiones	151
IV.6) Sumario.....	152

CAPITULO V

CONCLUSIONES y TRABAJOS FUTUROS.....	153
---	------------

V.1) Introducción.....	153
V.2) Conclusiones	154
V.3) Aportes Principales	155
V.2) Trabajos Futuros.....	156

BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS	157
---------------------------------------	------------

APÉNDICE A

PUBLICACIONES INTERNACIONALES Y NACIONALES	165
---	------------

APÉNDICE B	
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN	169

APÉNDICE C	
VISIÓN GENERAL DE LA MULTIDIFUSIÓN (MULTICAST)	175

APÉNDICE D	
PROTOCOLOS RTP/RTCP	201

APÉNDICE E	
SOFTWARE DE STREAMING – UNREAL MEDIA SERVER	207

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1 Ambiente multidifusión.....	13
Figura II.2 Crecimiento multidifusión.....	15
Figura II.3 Unidifusión y multidifusión	17
Figura II.4 Historia de codecs estándares	25
Figura II.5 Tráfico en Internet de video	36
Figura III.1 Escenario de experimentación.....	52
Figura III.2 Arquitectura del servidor de streaming	54
Figura III.3 Proceso para la captura de tráfico	60
Figura III.4 Elementos para el procesamiento de paquetes.....	61
Figura III.5 Página de inicio de Wireshark.....	62
Figura III.6 Vista de Wireshark de un archivo de rastreo guardado.....	63
Figura IV.1 Captura de tráfico en Wireshark	66
Figura IV.2 Número de paquetes por PC	72
Figura IV.3 Número de paquetes promedio por codec.....	73
Figura IV.4 Número de paquetes promedio porcentual por codec.....	73
Figura IV.5 Número de paquetes promedio porcentual relativo por codec.....	74
Figura IV.6 Mbytes de video por PC.....	75
Figura IV.7 Mbytes de video promedio por codec.....	75
Figura IV.8 Mbytes de video promedio porcentual por codec.....	76
Figura IV.9 Mbytes de video promedio porcentual relativo por codec.....	76
Figura IV.10 Mbytes de video vs Mbytes totales por codec	77
Figura IV.11 Tamaño de paquete promedio (bytes) por PC.	78
Figura IV.12 Tamaño de paquete promedio (bytes) por codec	79
Figura IV.13 Tamaño de paquete promedio porcentual por codec.	79
Figura IV.14 Tamaño de paquete promedio porcentual relativo por codec.....	80
Figura IV.15 Espacio intertrama promedio por PC.....	81
Figura IV.16 Espacio intertrama promedio por codec.	81
Figura IV.17 Espacio intertrama promedio porcentual por codec.....	82
Figura IV.18 Espacio intertrama promedio porcentual relativo por codec	82
Figura IV.19 Tasa de bits (Mbps) por PC	83
Figura IV.20 Tasa de bits (Mbps) promedio por codec.....	84
Figura IV.21 Tasa de bits promedio porcentual por codec.....	84
Figura IV.22 Tasa de bits promedio porcentual relativo por codec	85
Figura IV.23 Distribución del tamaño por orden de llegada - MPEG-4/AVC.....	86
Figura IV.24 Distribución paquetes agrupados por tamaño - MPEG-4/AVC.....	87
Figura IV.25 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada.	87
Figura IV.26 Distribución de los paquetes por espacio intertrama.	88
Figura IV.27 Distribución del tamaño por orden de llegada - MPEG-4 V.	89
Figura IV.28 Distribución de los paquetes agrupados por tamaño MPEG-4 V	89
Figura IV.29 Distribución espacio intertrama por orden de llegada - MPEG-4 V....	90
Figura IV.30 Distribución paquetes agrupados espacio intertrama MPEG-4 V	91

Figura IV.31 Distribución del tamaño por orden de llegada - MPEG-2.	92
Figura IV.32 Distribución de los paquetes agrupados por tamaño MPEG-2	92
Figura IV.33 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada MPEG-2	93
Figura IV.34 Distribución paquetes agrupados espacio intertrama – MPEG-2.....	94
Figura IV.35 Distribución de los paquetes agrupados por tamaño de codecs.....	95
Figura IV.36 Distribución paquetes agrupados espacio intertrama de codecs.....	95
Figura IV.37 Cantidad de tramas normalizadas para MPEG-4/AVC	98
Figura IV.38 Cantidad de tramas normalizadas para MPEG-4 Visual.....	100
Figura IV.39 Cantidad de tramas normalizadas para MPEG-2	101
Figura IV.40 Comparación de la cantidad de tramas normalizadas de los 3 codecs.	102
Figura IV.41 Número de paquetes por PC.	110
Figura IV.42 Número de paquetes promedio	111
Figura IV.43 Número de paquetes promedio porcentual	111
Figura IV.44 Número de paquetes promedio porcentual relativo	112
Figura IV.45 Número de bytes por PC.	113
Figura IV.46 Número de bytes promedio	113
Figura IV.47 Número de bytes promedio porcentual	114
Figura IV.48 Número de bytes promedio porcentual relativo.....	114
Figura IV.49 Mbytes de Video vs Mbytes totales por codec.	115
Figura IV.50 Mbytes de Video vs Mbytes totales por codec.	116
Figura IV.51 Número de bytes porcentual totales respecto a 1 solo video.	116
Figura IV.52 Tamaño de paquetes por PC	117
Figura IV.53 Tamaño de paquetes promedio	118
Figura IV.54 Tamaño de paquetes promedio porcentual	119
Figura IV.55 Tamaño de paquetes promedio.	120
Figura IV.56 Espacio Intertrama por PC	121
Figura IV.57 Espacio Intertrama promedio en el Servidor	121
Figura IV.58 Espacio Intertrama promedio en los clientes.	122
Figura IV.59 Espacio Intertrama promedio porcentual en el Servidor.....	122
Figura IV.60 Espacio Intertrama promedio porcentual en los clientes.	123
Figura IV.61 Espacio Intertrama promedio porcentual relativo en Servidor.	123
Figura IV.62 Espacio Intertrama promedio porcentual relativo en clientes.....	124
Figura IV.63 Comparación espacio Intertrama promedio entre servidor y clientes..	119
Figura IV.64 Comparación espacio Intertrama promedio entre servidor y clientes..	124
Figura IV.65 Tasa de bits promedio por códec por PC.	125
Figura IV.66 Tasa de bits promedio por códec	126
Figura IV.67 Tasa de bits promedio porcentual por codec.....	126
Figura IV.68 Tasa de bits promedio porcentual relativo por códec.	127
Figura IV.69 Distribución del espacio intertrama por orden de salida del servidor..	128
Figura IV.70 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama servidor.	129
Figura IV.71 Distribución espacio intertrama por orden de llegada en clientes.	130
Figura IV.72 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes ..	130
Figura IV.73 Distribución del espacio intertrama por orden de salida del servidor..	131

Figura IV.74 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama servidor	132
Figura IV.75 Distribución espacio intertrama por orden de llegada en clientes.	132
Figura IV.76 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes ..	133
Figura IV.77 Distribución espacio intertrama por orden de salida del servidor.....	134
Figura IV.78 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama servidor.	135
Figura IV.79 Distribución espacio intertrama por orden de llegada en clientes.	135
Figura IV.80 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes. .	136
Figura IV.81 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama en servidor. .	137
Figura IV.82 Distribución paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes ..	138
Figura IV.83 Número de bytes promedio – Multicast vs Unicast	139
Figura IV.84 Tamaño promedio de paquetes – Multicast vs Unicast	140
Figura IV.85 Espacio intertrama promedio – Multicast vs Unicast.	141
Figura IV.86 Retardo promedio, máximo y mínimo	142
Figura IV.87 Jitter máximo.	143
Figura IV.88 Caminos de tráfico de la topología Escenarios 1, 2 y 3.	144
Figura IV.89 Tasa promedio por enlace para 3 PCs.....	145
Figura IV.90 Tasa promedio por enlace para 6 PCs.....	145
Figura IV.91 Tasa promedio por enlace para 9 PCs.....	146
Figura IV.92 Tasa promedio por enlace para 20 PCs.....	147
Figura IV.93 Tasa de transferencia total promedio – MPEG-4 AVC	149
Figura IV.94 Tasa de transferencia total promedio – MPEG-4 V.....	150
Figura IV.95 Tasa de transferencia total promedio – MPEG-2.....	150

LISTA DE TABLAS

Tabla III.1 Configuración de los parámetros de H.264/MPEG-4 AVC	56
Tabla III.2 Configuración de los parámetros de MPEG-4 VISUAL	57
Tabla III.3 Configuración de los parámetros de MPEG-2.....	58
Tabla IV.1 Resumen de las mediciones multicast para Escenario 1	68
Tabla IV.2 Resumen de las mediciones multicast para Escenario 2	70
Tabla IV.3 Resumen de las mediciones multicast para Escenario 3	71
Tabla IV.4 Resumen del tráfico unicast emitido por el servidor Escenario 1	103
Tabla IV.5 Resumen del tráfico unicast recibido en los clientes Escenario 1	104
Tabla IV.6 Resumen del tráfico unicast emitido por el servidor Escenario 2	105
Tabla IV.7 Resumen del tráfico unicast recibido en los clientes Escenario 2.....	106
Tabla IV.8 Resumen del tráfico unicast emitido por el servidor Escenario 3	108
Tabla IV.9 Resumen del tráfico unicast recibido en los clientes Escenario 3	109

LISTA DE ACRÓNIMOS

Acrónimo	Descripción
AAC	Advanced Audio Coding
AVC	Advanced Video Coding
BER	Bit Error Rate
CBR	Constant Bit Rate
CIF	Common Intermediate Format – format de video H261
Codec	Codificador-Decodificador
DivX	Codec de video.
DSP	Digital Signal Processor
DV	Digital Video – Formato de video
DVC	Digital Video Cassette – versión genérica del formato
DVCAM	DV propietario de Sony
DVCPRO	DV de Panasonic
DVD	Digital Versatil Disc
FPS	Frames per Second
HD	High Definition – alta definición de video
HEVC	High-Efficiency Video Coding
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IGMP	Internet Group Management Protocol
IPTV	Televisión por IP
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
Jitter	Diferencia de retardo
JTV	Join Video Team – Grupo de trabajo para MPEG/H264
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAN	Local Area Network

MAC	Medium Access Control
MP3	Formato de compresión de audio
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPLS	MultiProtocol Label Switching
NTSC	National Television System Committee
OSPF	Open Shortest Path First
PAL	Formato de TV
PC	Personal Computer
PIM	Protocol Independent Multicast
QCIF	Quarter CIF
QoS	Quality of Service – Calidad de Servicio
RTP	Real Time Protocol – Protocolo de tiempo real
SD	Standard Definition – definición estándar de video
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UMS	Universal Media Server
VP9	Codec de video de Google
VBR	Variable Bit Rate
VPN	Virtual Private Network
Webcast	Transmisión en vivo de eventos de video

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Esta tesis aspira a ser una contribución experimental cuantitativa para el avance del estado de conocimiento del rendimiento y QoS multicast del tráfico de video, en una topología física real de laboratorio, como si fuera una red WAN. Al efecto se propusieron diferentes escenarios y se midieron diversas métricas absolutas, promedios y distribuciones estadísticas del tráfico de video. Este capítulo provee una visión general del alcance de la investigación de esta tesis y sus objetivos. También se indican las mayores contribuciones y el esquema de organización en capítulos del trabajo.

I.1) Introducción

Durante los últimos años, se ha visto un aumento exponencial en el crecimiento de aplicaciones multimediales, y en particular, en aplicaciones de video. Hoy en día, se puede recibir televisión digital con servicios de alta definición y una mayor oferta de canales. Existen sitios de Internet que ofrecen películas on-line; y es común que los usuarios realicen carga y descarga de videos con sitios como YouTube. También se ha generalizado la grabación y compartir videos con teléfonos móviles. La videollamada a través de Internet es común con aplicaciones, como Skype. Las grandes empresas y organizaciones utilizan aplicaciones de videoconferencia como Cisco TelePresence y WebEx, para la colaboración cara a cara en las distintas regiones geográficas, y aún dentro de la misma empresa, el tráfico de video crece de tal forma, que se debe tener en cuenta al momento del diseño de la red.

El creciente número de usuarios multimedia involucra un aumento exponencial de los requisitos de ancho de banda. Los consumidores son cada vez más exigentes en cuanto a la calidad y el rendimiento de los productos basados en video, y por lo tanto, hay un fuerte incentivo para la mejora continua en las tecnologías multimedia. Comprender la

estructura de los datagramas de vídeo y los requisitos que imponen a la red, ayudarán a los administradores de red a mejorar el tráfico en la misma.

De acuerdo a una clasificación realizada por Aruba Networks [1], el tráfico de video puede ser (entre otros):

- Difusión de IPTV. Esto requiere la entrega de un enlace descendente de una vía de tráfico no sensible a la latencia a través de amplios canales de ancho de banda (1 a 4Mbps SD o 6 hasta 10 Mbps HD) para unos pocos usuarios por canal.
- Transmisión en vivo de eventos de vídeo (webcast). Esto requiere la entrega de un enlace descendente de una vía de tráfico no sensible a la latencia a través de un único canal de gran ancho de banda (1-4 Mbps) visto por todos los usuarios.
- Vigilancia de vídeo IP. Esto requiere la entrega de un enlace ascendente o descendente de tráfico no sensible a la latencia, con muchos canales de alimentación de vídeo de calidad variable (500 Kbps a 2 Mbps) a un conjunto pequeño de espectadores.
- Videoconferencia interactiva. Esto requiere de dos vías de entrega de tráfico interactivo condicionado por la latencia y el jitter (máximo de 150 a 200 ms), pero requiere bajo ancho de banda simétrico (1 Mbps) entre pares.
- Vídeo bajo demanda (capacitación, programas pre-grabados). Esto requiere la entrega de un enlace descendente de tráfico no sensible a la latencia con muchos canales de alto ancho de banda (1 a 4 Mbps SD o 6 hasta 10Mbps HD) consumidos por unos pocos usuarios simultáneos por canal.

Un componente importante de la creación de redes multimedia es la compresión de datos (codificación de la fuente) de las fuentes de datos multimedia (voz, audio, imagen y video). La compresión o codificación de vídeo es el proceso de reducir la cantidad de datos requerida para representar una señal de vídeo digital, antes de la transmisión o el

almacenamiento. Una vez que los datos están comprimidos, el flujo de bits se paquetiza y se envía a la red. La operación complementaria, la descompresión o decodificación, recupera una señal de vídeo digital de la representación comprimida antes de la visualización.

El control de velocidad es una parte esencial de la mayoría de los codificadores de vídeo. Se determina el número de bits o el nivel de calidad de la trama codificada. Hay dos tipos de control de la frecuencia: tasa de bits constante (CBR) y tasa de bits variable (VBR). En la codificación de vídeo CBR, los diseñadores de controles de tasa se centran en la mejora de la precisión entre la velocidad de bits de destino y la real velocidad de bits, y el cumplimiento de las restricciones de baja latencia y de buffering. Como resultado, se ven fluctuaciones en la calidad del video debido a cambios de escena y otros contenidos de vídeo. En los casos en que la restricción de la tasa no es tan estricta como en video en tiempo real, VBR se puede utilizar para mantener la calidad constante.

Varias normas se han desarrollado para la codificación de vídeo, como H.261, H.263, MPEG1, MPEG2, MPEG4 y H.264. H.264/MPEG4 representa un gran salto en la tecnología de compresión de video con, típicamente, una reducción del 50% de la velocidad de bits media para una calidad de vídeo determinado en comparación con MPEG-2, y aproximadamente una reducción del 30% en comparación con MPEG-4 Parte 2.

Además de la forma de codificación, es importante el método de transmisión de video, ya que la forma uno-a-uno (unicast) de comunicación frente a la cantidad de consumidores, parece ser insuficiente para el aumento del tráfico actual, lo que produce congestión y demoras. El tráfico de uno-a-muchos (Multicast) era la parte de la especificación IP que parecía ser particularmente apropiado para la entrega de contenido multimedia ya que brinda una comunicación más eficiente. Se prevé que la capacidad de multidifusión de distribuir de manera eficiente los datos a múltiples objetivos se puedan

convertir en un método de entrega cada vez más utilizado. Sin embargo, actualmente existe multidifusión en islas aisladas de la red, y su uso en Internet sigue siendo limitado.

Hay distintos trabajos sobre las temáticas consideradas, como el análisis de tráfico multicast y protocolos de ruteo multicast [3-6], análisis de codecs de video [7-12], análisis de tráfico de video bajo distintos contextos particulares [13-28], análisis de tráfico de video bajo multicast [29-31], análisis comparativo de multicast vs unicast [32], análisis de QoS para tráfico de video [33] y trabajos sobre IPTV [34-36]. En este trabajo se planteó obtener conclusiones cuantitativas desde estudios experimentales, sobre las mejores opciones de tráfico de video en redes de laboratorio WAN usando equipamiento real.

I.2) Objetivos

I.2.1 Objetivo general

El objetivo general de la presente tesis fue:

- Obtener conclusiones, desde el análisis de las métricas obtenidas en ensayos experimentales, del tráfico de video multicast sobre un test bed WAN propuesto al efecto, como si fuera una red WAN empresarial típica.
- Determinar el comportamiento del tráfico de video unicast y multicast usando distintos codecs,
- Establecer cuantitativamente el compromiso del ancho de banda de los enlaces WAN que deben transportar tráfico de video, y
- Obtener conclusiones sobre el impacto en las métricas de QoS del tráfico de video unicast y multicast, para el laboratorio propuesto.

I.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos fueron:

- Entender y comparar el direccionamiento unicast y multicast.
- Entender el funcionamiento del protocolo de ruteo multicast PIM en sus diferentes opciones.
- Analizar y comparar los protocolos de interacción de los miembros de los grupos multicast IGMP.
- Analizar y comparar los diferentes tipos de tráfico de video (de tiempo real o pregrabado, en streaming o pre-posicionado, con diversas resoluciones y dinámica), ya que dependiendo de las características del tipo de video a transmitir, varía considerablemente la carga en la red.
- Analizar los codecs de video utilizados actualmente, de acuerdo a sus características de compresión de datos, calidad de imagen, robustez frente a pérdidas de datos y errores, etc.
- Analizar y comparar el rendimiento del tráfico de video multicast frente a los diferentes codecs y tipos de tráfico en la medida que la cantidad de miembros multicast aumenta, variando las condiciones de la red.

Para obtener el conocimiento buscado se midieron las siguientes métricas: velocidad de datos, cantidad de tramas, tamaños de trama promedio, tiempos intertramas promedio, distribuciones estadísticas de los tamaños de tramas y de los espacios intertramas, retardos, jitters, entre otras.

I.3) Desarrollo y trabajos de experimentación

Los trabajos experimentales se realizaron sobre una red WAN piloto de Laboratorio. La topología tuvo una composición de redes cableadas, routers, switchs, y distintos tipos de enlaces de comunicaciones para dar soporte a los distintos tráficos de video. Además, se tuvieron en cuenta los equipos finales, para considerar una topología de una red empresarial de cierta envergadura.

El núcleo de la red tuvo como funcionalidad principal el ruteo de todos los tráficos, sobre el cual se realizaron las configuraciones de los distintos caminos del tráfico multicast, mediante el protocolo PIM en sus diferentes versiones. La conectividad primaria IP se realizó sobre el protocolo de ruteo OSPF.

Se consideraron diversas combinaciones de configuración que contemplaron:

- Cuatro escenarios de experimentación sobre una misma topología básica,
- Todo bajo tráfico multicast o unicast, y
- Tres codecs para un mismo video.

En los bordes de esta red estuvieron ubicados los posibles usuarios que se unieron a los grupos multicast.

I.4) Plan de trabajo

El trabajo de tesis se llevó adelante con el siguiente plan de actividades:

- Búsqueda y obtención de la información técnica primaria sobre los protocolos involucrados en el estudio (multicast, routing, codificación, etc.),
- Estudio de los distintos protocolos,
- Establecimiento y despliegue de la red física de experimentación,
- Configuración de dicha red,
- Verificación de la generación de tráfico multicast y evaluación de los primeros resultados,
- Verificación y análisis de la generación y captura del tráfico unicast y multicast,
- Análisis de los resultados,
- Desarrollo de las conclusiones, y
- Documentación.

I.5) Ámbito de investigación

Las actividades de experimentación se llevaron a cabo en el ámbito de las instalaciones del grupo de investigación GRID TICS, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Dicho Grupo cuenta con sus propias áreas de trabajo, 1 oficina técnico-administrativa, 2 Laboratorios con 11 computadoras cada uno, con material y con el siguiente equipamiento:

- 4 (cuatro) Routers CISCO 2811,
- 6 (seis) Routers CISCO 1721,
- 3 (tres) Switchs CISCO 2950,
- 2 (dos) Switchs CISCO 2960,
- 2 (dos) Switchs CISCO 3560,
- 1 (uno) ASA CISCO 5505,
- 2 (dos) routers Mikrotik,
- 4 (cuatro) Access Point Cisco y 2 Mikrotik,
- Placas inalámbricas de red,
- 2 (dos) cámaras de video IP con soporte de string multicast IPv4/IPv6,
- 22 (veintidós) PCs con Sistema Operativo Linux, Windows XP y Windows 7,
- Software IP Traffic de ZTI – Generador de tráfico IPv4/IPv6, unicast / multicast / broadcast y Medidor de performance (throughput, cantidad de paquetes, jitter, número de errores, tanto enviados como recibidos, etc.),
- Software Analizador de tráfico Wireshark,
- Hardware Air Pcap para captura de tráfico wireless,
- Conexión a Internet por IPv4 e IPv6, y
- Servidor HP Proliant con Linux base y Máquinas Virtuales.

I.6) Contribuciones principales de la tesis

Las contribuciones principales de esta tesis son:

- La cuantificación con métricas detalladas (velocidad de datos, cantidad de tramas, tamaños de trama promedio, espacios intertramas promedio, distribuciones estadísticas de los tamaños de tramas y de los espacios intertramas, retardos, jitters, etc.) del mecanismo multicast, en contraste con el tráfico unicast, utilizado para el transporte de tráfico de vídeo,
- La especificación y experimentación de un nuevo escenario multicast utilizando un laboratorio de prueba WAN, y
- Los aportes y las conclusiones obtenidas con los diversos ensayos del laboratorio WAN con equipamiento real.

I.7) Esquema de la tesis

El trabajo de tesis está organizado en los siguientes capítulos:

- El **Capítulo II** presenta una revisión general de las técnicas, tecnologías y el estado del arte de la multidifusión en las redes y los codecs de video. El objeto es plantear los conceptos principales que serán utilizadas en los capítulos subsiguientes, y establecer las líneas de investigación precedentes y actuales sobre este tipo de tecnologías.
- En el **Capítulo III** se presentan los distintos escenarios, recursos y principales herramientas que se han usado para la generación, la captura y el análisis del tráfico de video. Se trata de las distintas topologías de red implementadas con su hardware y software asociados.
- En el **Capítulo IV** se describen los resultados de las experimentaciones realizadas sobre los escenarios descritos en el capítulo anterior. Se efectúa por separado un análisis del comportamiento unicast y multicast, para cada uno de

los escenarios y codecs seleccionados, luego se realiza una comparación de estos tráficos. Y se finaliza con un análisis estadístico sobre los codecs.

- En el **Capítulo V** se resumen los principales resultados y conclusiones de investigación experimental obtenidos a través de esta tesis. En este Capítulo también se plantean los posibles trabajos futuros como una continuación de la presente tesis.

El cuerpo principal de la tesis se completa con 5 Apéndices. En el **Apéndice A** se presentan publicaciones internacionales del tesista, en el **Apéndice B** algunos trabajos de investigación en los cuales participó y/o participa el tesista, relacionado con el tema presentado, en el **Apéndice C** conceptos generales sobre tráfico multicast y sus protocolos de ruteo, en el **Apéndice D** conceptos generales sobre otros protocolos de comunicaciones como RTP/RTCP y en el **Apéndice E** detalles del software Unreal Media Server, utilizado como Servidor de Streaming de video.

CAPITULO II

VISIÓN GENERAL Y ESTADO DEL ARTE DE LA MULTIDIFUSIÓN DE TRÁFICO DE VIDEO

En este capítulo se realiza una revisión general de las técnicas, tecnologías y el estado del arte de la multidifusión en las redes y los codecs de video. El objeto es plantear los conceptos principales que serán utilizados en los capítulos subsiguientes, y establecer las líneas de investigación precedentes y actuales sobre este tipo de redes.

II.1) Visión general de multidifusión

II.1.1 Introducción

La transmisión de datos IP tradicional le permite a un host enviar paquetes a otro host (transmisión por unidifusión) o a todos los hosts (transmisión por difusión). La multidifusión (o multicast) IP proporciona una tercera posibilidad: la de permitir que un host pueda enviar paquetes a un subconjunto de todos los hosts como un grupo de transmisión.

En este apartado se efectúa una breve reseña de la multidifusión IP. Un detalle de la misma se encuentra en el anexo C.

II.1.2 Fundamentos de multidifusión IP

Multidifusión IP es una tecnología para conservar el ancho de banda, específicamente diseñada para reducir el tráfico, transmitiendo un único flujo de información potencialmente a miles de destinatarios. De esta forma, se sustituyen las múltiples copias para todos los beneficiarios con la entrega de un único flujo de información. Por lo tanto, la multidifusión IP es capaz de reducir al mínimo la carga, tanto en los hosts origen y destino, y simultáneamente el tráfico total de la red.

Dentro de una red multidifusión, los routers son los responsables de replicar y distribuir el contenido de multidifusión a todos los hosts que están escuchando a un determinado grupo multidifusión. Los routers emplean protocolos multidifusión que construyen árboles de distribución para transmitir el contenido multidifusión, que aseguran la mayor eficiencia para el envío de datos a múltiples receptores.

Cualquier alternativa multidifusión IP requiere que la fuente envíe más que una copia de los datos. La unidifusión tradicional a nivel de aplicación, por ejemplo, requiere que el origen transmita una copia para cada receptor del grupo.

Hoy en día más y más aplicaciones de red requieren el reenvío de los paquetes de una o más fuentes a un grupo de receptores. Estas aplicaciones comprenden la mayoría de la transferencia de datos (por ejemplo, la entrega de actualizaciones de software de los desarrolladores para los usuarios finales), la transmisión de medios (audio, vídeo, texto), el intercambio de datos (por ejemplo, una videoconferencia compartida distribuida entre participantes), la entrada de datos (por ejemplo, acciones, participaciones), la caché de Web y actualización de los videojuegos interactivos (por ejemplo, entornos virtuales distribuidos o juegos multijugador como Quake). Una abstracción muy útil en la representación de cada una de estas aplicaciones es el concepto de multidifusión.

Casi todas las comunicaciones en Internet (o en una red empresarial) hoy en día son de unidifusión. En el nivel IP, cada paquete enviado se reenvía al host de destino identificado por la dirección IP de destino en la cabecera del paquete IP. Los enrutadores IP se especifican en las tablas de enrutamiento para reenviar paquetes basados en la dirección de destino. Además de unidifusión, también hay multidifusión. Para multidifusión, la dirección IP de destino se refiere a un grupo de hosts IP: la idea es que un paquete enviado a la dirección de grupo de multidifusión, debe llegar a todos los hosts del grupo.

El Protocolo de Internet versión 6 (IPv6) es la nueva generación del protocolo básico de Internet. La versión actual de IP (IP versión 4) tiene algunos inconvenientes que

complican y, en algunos casos, presentan una barrera para el desarrollo futuro. IPv6 debería eliminar estas barreras y proporcionar un ambiente rico en funciones para el futuro de la interconexión mundial. Con el avance masivo del tráfico de voz, video y de aplicaciones de tiempo real, se espera que las aplicaciones utilicen el tipo de tráfico multidifusión como un ahorro de ancho de banda en los enlaces troncales de la red, como así en todo punto de posible congestión de tráfico.

Además en las redes inalámbricas como 802.11, el rendimiento todavía es muy bajo, y decae fuertemente en la medida que se incremente el número de usuarios, por lo que el ahorro de ancho de banda es fundamental.

II.1.3 Ambientes multidifusión

Las soluciones multidifusión ofrecen ventajas relativas a la conservación del ancho de banda de la red. En el caso de una aplicación de gran ancho de banda, como video MPEG, la multidifusión IP puede beneficiar aún en las situaciones que tengan sólo unos pocos receptores, dado que un único flujo de video podría consumir una gran parte del ancho de banda disponible en la red (Figura II.1).

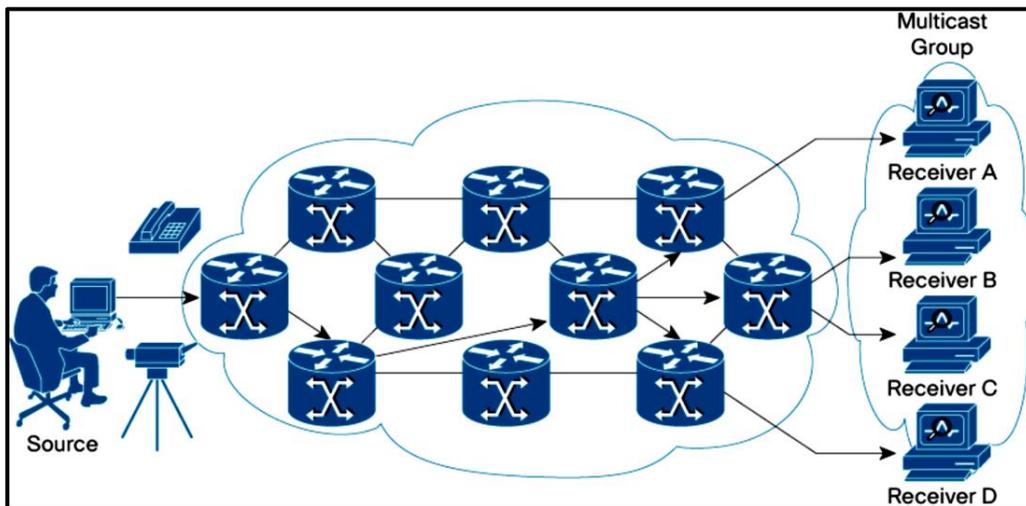


Figura II.1 Ambiente multidifusión.

Incluso en aplicaciones de bajo requerimiento de ancho de banda, la multidifusión IP conserva los recursos cuando las transmisiones involucran miles de receptores.

Además, la multidifusión IP es la única alternativa de no difusión para situaciones que requieren la transmisión de información simultánea a más de un receptor.

Para aplicaciones demandantes de bajo ancho de banda, una alternativa a multidifusión IP podría ser replicar los datos del origen. Esta solución, sin embargo, puede deteriorar las prestaciones de la aplicación, introducir latencias y retardos variables que afectarán a los usuarios y las aplicaciones, y requieren servidores costosos para administrar las réplicas y la distribución de los datos. Tales soluciones también involucran transmisiones múltiples del mismo contenido, y el consumo de una enorme cantidad de ancho de banda de la red. En las aplicaciones demandantes de mayores anchos de banda, la multidifusión IP es la única opción viable.

II.1.4 Aplicaciones y soporte de la multidifusión

Las aplicaciones multidifusión pueden clasificarse en aplicaciones de tiempo real y de no tiempo real. En las primeras se encuentran las aplicaciones multimediales como televisión IP, video en vivo, videoconferencias, audio de Internet en vivo, y las aplicaciones de sólo datos como el flujo de noticias por Internet, juegos interactivos, entre otras. En las segundas se encuentran las aplicaciones multimediales como replicación de video, servidores web y transmisiones de contenido, y las aplicaciones sólo de datos como transmisión de información, servidor a servidor, servidor a estación, replicación de bases de datos y distribución de software.

Otras aplicaciones que toman ventaja de multidifusión IP son:

- Comunicaciones corporativas,
- Transmisión de canales de música, y
- Educación a distancia o e-learning.

La multidifusión IP está soportado en:

- Redes IPv4
- Redes IPv6
- VPNs MPLS
- Redes móviles e inalámbricas

En la última década pasada, la adopción de multidifusión IP en aplicaciones empresariales y del sector público ha crecido enormemente (Figura II.2) [2], y los proveedores de servicios han respondido añadiendo más multidifusión en VPNs a sus carteras de servicios. Hoy en día, cualquier proveedor de servicios debe desplegar multidifusión IP para permanecer competitivo.

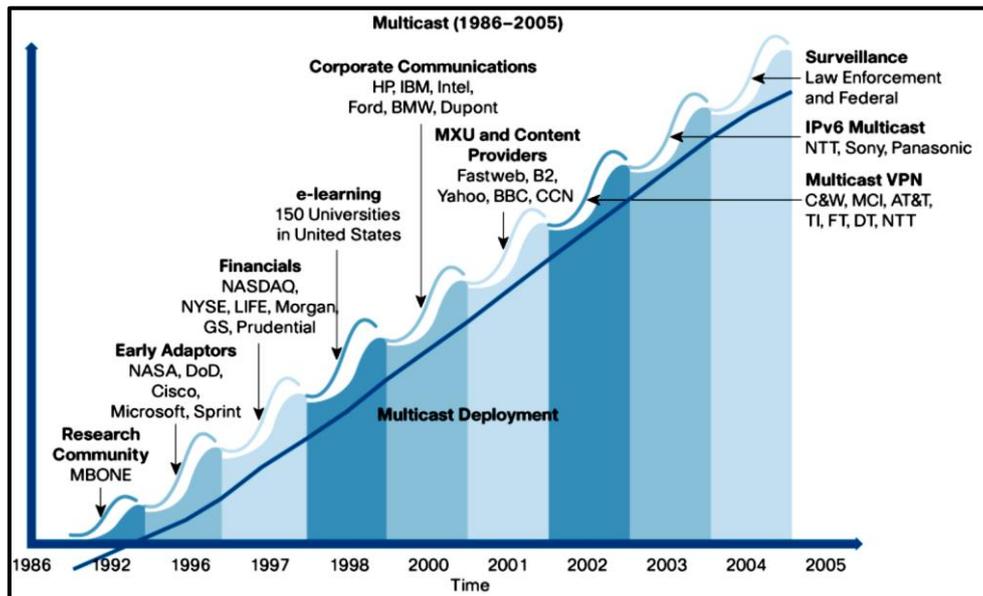


Figura II.2. Crecimiento multidifusión.

El despliegue de los servicios de video ofrece más incentivos para el fortalecimiento de la plataforma multidifusión IP de un proveedor de servicios, ya que los vuelve más eficientes, en función de los costos medios de soportar tráfico de datos, de voz y de video.

II.1.5 Multidifusión de video en interconexión de redes

Durante años, los proveedores de servicios ISP han estado tratando de utilizar la tecnología multidifusión para ofrecer el servicio de vídeo de alta calidad a través de la interconexión de redes. Ellos ven la capacidad de multidifusión para escalar fácilmente y utilizar el ancho de banda de manera eficaz como una herramienta importante, que podría ayudarles a controlar las cargas de tráfico, ahorrar ancho de banda, ofrecer nuevos servicios, generar ingresos adicionales y reforzar su rentabilidad a largo plazo.

Lamentablemente, hay problemas con el modelo de implementación de multidifusión en la interconexión de redes. En primer lugar, los protocolos de multidifusión necesitan estar desplegados en cada router en la ruta entre fuentes y receptores. Los proveedores de servicio también han encontrado problemas a la hora de ofrecer servicios de multidifusión confiables a través del entorno de mejor esfuerzo de las redes interconectadas. Las soluciones de multidifusión, en general, han carecido de la tasa de bits de streaming adaptativo requerido para la transmisión de vídeo.

Las limitaciones de multidifusión en la interconexión de redes

Hay una creencia generalizada de que no se puede utilizar la tecnología multidifusión para ofrecer vídeo a través de redes interconectadas.

Ciertamente, la multidifusión IP prometió ofrecer varios beneficios. A diferencia de la entrega de unidifusión, en el cual un servidor replica un flujo de datos para la transmisión a todos los dispositivos clientes en la red que lo solicitan, la entrega de multidifusión IP invoca al servidor para transmitir un único flujo de datos en la infraestructura de enrutamiento. La infraestructura de enrutamiento entonces replica eficazmente la corriente de datos de modo que ninguna interfaz de router transporta más que una sola copia de la secuencia, independientemente de cuántos clientes reciban (Figura II.3).

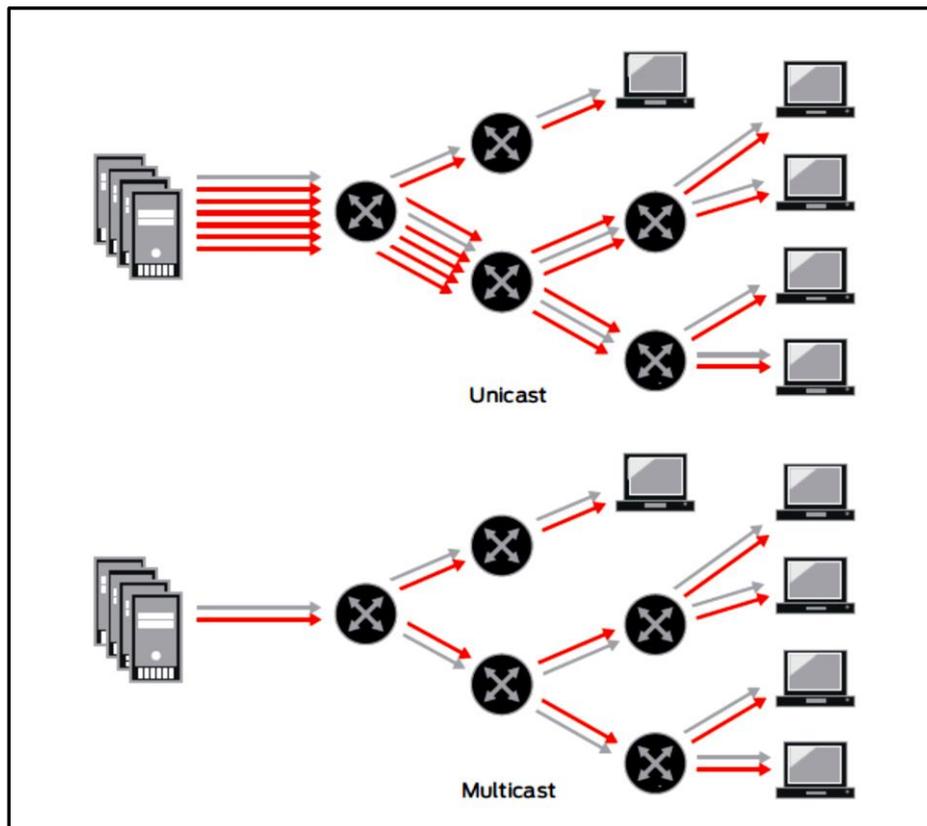


Figura II.3 Unidifusión y multidifusión.

Esa diferencia se traduce en la preservación de ancho de banda y en flujos de datos más eficientes, lo que obviamente añade hasta un mejor rendimiento de la red.

Pero, para disfrutar de estas ventajas, se necesitan implementar los protocolos de multidifusión IP en cada router en la ruta. Por consiguiente, la multidifusión IP existe hoy principalmente en redes LAN y en pequeñas áreas de redes interconectadas altamente controladas. De hecho, algunas empresas han comenzado a ofrecer soluciones a medida para tratar de resolver estas limitaciones.

Las barreras que hasta ahora han impedido el despliegue generalizado de multidifusión IP son:

- Cada dispositivo de enrutamiento en la ruta de entrega debe admitir la multidifusión IP, lo que significa que si la multidifusión IP es omnipresente, cada proveedor de servicios debe decidir ofrecer servicio de multidifusión.
- Es un gran reto ofrecer servicio de multidifusión fiable en los entornos inherentemente de mejor esfuerzo que existen en las interconexiones de red de hoy.
- La transmisión de vídeo requiere un flujo de bit adaptativo, de lo que carece la multidifusión.
- Los formatos de streaming de vídeo de hoy en día, diseñados para utilizar mecanismos de descarga progresiva, no son intrínsecamente capaces de multidifusión.
- El interdominio de multidifusión o multidifusión entre pares de los proveedores de Internet ISP requiere acuerdos empresariales y configuraciones de red complejos.

Un detalle de tráfico multicast y de ruteo multicast se aporta en el Anexo C.

II.2) Codecs de video

II.2.1 Introducción

El vídeo digital se está adoptando en una gama cada vez mayor de aplicaciones, incluyendo la telefonía de vídeo, seguridad / vigilancia, DVD, televisión digital, Internet de streaming de vídeo, cámaras de vídeo digitales, celulares, los medios de comunicación, y video grabadoras personales.

La compresión de vídeo es un facilitador fundamental para estas aplicaciones y están disponibles un número creciente de algoritmos o codec de vídeo (compresión / descompresión) estándares de la industria, y propietarios, para que sea práctico almacenar y transmitir vídeo en formato digital.

Los estándares de compresión están en continua evolución para hacer uso de avances en los algoritmos y tomar ventaja de los continuos aumentos en potencia de procesamiento disponible en los circuitos integrados de bajo costo, tales como procesadores de medios digitales.

II.2.2 El desafío de comprimir video

Un reto importante para el vídeo digital es que el vídeo en bruto o sin comprimir requiere gran cantidad de datos para almacenar o transmitir. Por ejemplo, en la definición del estándar NTSC se puede digitalizar un video a 720x480 usando 4: 2: 2 YCrCb a 30 fotogramas/segundo. Esto requiere una velocidad de datos de más de 165 Mbits/seg. Para almacenar un video de 1 minuto se requiere más de 1 Gbyte, o para un video de 90 minutos más de 110 GBytes, o aproximadamente 24 DVDs comunes. Si hablamos de HD (video de alta definición), un video de 1 minuto ocuparía casi 5 veces más. Incluso con más baja resolución video, tales como CIF (352x288 4: 2: 0 a 30 fotogramas / segundo), que se utiliza a menudo en aplicaciones de streaming de vídeo, requiere más de 36.5 Mbit / s - mucho más de lo puede sostenerse en las redes, incluso de banda ancha como ADSL.

Así, es claro que se necesita realizar algún proceso de compresión para almacenar o transmitir vídeo digital. La meta para la compresión de imágenes y vídeo es representar (o codificar) una secuencia de imágenes, utilizando la menor cantidad bits como sea posible, mientras se mantiene su apariencia visual (al igual que se hace en fotografía digital con formatos de archivo como el JPEG, o en audio digital con formatos de archivo como el MP3).

La compresión a menudo implica compromisos entre los requisitos de calidad de imagen y otras necesidades de la aplicación. Por ejemplo, hay que tener en cuenta:

- la tasa de bits máxima en términos de bits por segundo.
- la capacidad de almacenamiento disponible y la duración de la grabación (en caso de almacenamiento de video).

- si la comunicación es bidireccional de vídeo.
- la tolerancia de latencia o máximo retardo permisible de extremo a extremo.

El término compresión es sinónimo de codificación. Por ello, el término de compresión está asociado a la palabra Codec, término muy extendido en los entornos multimedia. Codec significa codificación o compresión, ya que para comprimir se necesitará un lenguaje o código de compresión específico. Para poder reproducir los archivos multimedia comprimidos o codificados con un codec específico se necesitará descomprimir o decodificar dichos archivos para poder reproducirlos, gracias al uso de un decodificador (o Codec).

Existen fundamentalmente dos técnicas de compresión o codificación de la señal de video:

Compresión intraframe: esta técnica de compresión analiza de forma independiente cada uno de los frames de video y realiza un proceso de compresión de cada frame sin tener en cuenta similitudes o parecidos con los frames próximos. La compresión se realiza dentro de cada uno de los frames independientemente de los demás, analizando la información de luminancia y color de cada elemento de imagen o píxel con el fin de eliminar la información en el proceso de digitalización de aquellas zonas que son muy parecidas o iguales y que se repiten en la imagen. Este tipo de compresión utiliza generalmente unas ratios de compresión algo menores que la siguiente técnica, por lo que generalmente obtendremos una menor pérdida de calidad en la imagen digital final, aunque también será mayor el tamaño de archivo de las señales de video comprimidas con esta técnica. La compresión que se utiliza, por ejemplo, en los formatos del tipo DV (DV, DVCPRO, DVCAM) es del tipo intraframe. Este tipo de compresión también se conoce como compresión espacial.

Un concepto interesante es el llamado ratio de compresión y hace referencia a la proporción del archivo comprimido con respecto al original; así un ratio de compresión

de 5:1, típico de los formatos DV, DVCPRO, DVCAM, indica que la señal comprimida viene a ocupar una quinta parte del archivo original de video.

Compresión interframe: Esta compresión también es conocida como compresión temporal. Esta técnica de compresión analiza el parecido entre los diferentes frames contiguos y realiza un proceso de compresión de cada frame teniendo en cuenta similitudes o parecidos con dichos frames próximos. Se analiza la información de luminancia y color de cada elemento de imagen o píxel en comparación con los frames próximos con el fin de eliminar la información en el proceso de digitalización de aquellas zonas que son muy parecidas o iguales y que se repiten en las sucesivas imágenes. Una gran parte de las escenas se graban con la cámara estática, por lo que el fondo, o una parte de él, permanecen estables en la imagen durante mucho tiempo. Además, ese fondo está formado, en la mayoría de los casos, por grandes áreas del mismo color. Esto supone que si enviamos la información de ese fondo una vez, manteniéndolo hasta que se modifique, ahorraremos una sustancial cantidad de información digital. Los codecs que utilizan este sistema de compresión, el interframe, también utiliza la compresión intraframe, así combinando ambas compresiones se obtienen tasas de compresión mucho mayores.

La compresión intraframe trata cada fotograma como una foto independiente, mientras que la interframe, usada por los diferentes tipos de MPEG, crea fotogramas de referencia para luego comparar los anteriores o posteriores con él. Sólo se almacenan las diferencias. Por tanto no se tiene que almacenar cada fotograma, sino lo distintivo con el anterior.

La compresión basada en los estándares MPEG utiliza compresión temporal y también la espacial, ambas combinadas para conseguir altas tasas de compresión.

Un concepto importante en la compresión, ya sea intra o interframe es el bit/rate o flujo binario de datos utilizado. Hace referencia al número de bits que son necesarios en un segundo de video.

Por ejemplo, para sistemas domésticos (DVD de películas) se utilizan bit/rate en torno a 4-7 Mbps (Megabits por segundo), mientras que para la grabación de video profesional, se utilizan bit/rate por encima de los 15 Mbps.

A mayor bit/rate o flujo binario de datos, se obtendrá mejor calidad de imagen y audio, pero también será necesario un archivo digital de más tamaño. Normalmente los formatos de video que utilizan compresión intraframe suelen ofrecer bit/rate más elevados que los que emplean compresión interframe. Los codec del tipo MPEG2 y MPEG4, permiten elegir entre varios bit/rate e incluso que este se vaya modificando dentro de la misma señal de video en base al nivel de compresión requerido (es lo que se conoce como bit/rate variable), consiguiendo de esta forma adaptar el nivel de compresión a los cambios de las imágenes (imágenes muy dinámicas y con grandes cambios en su imagen requerirán mayor flujo binario de datos, y por lo tanto, menor compresión, y al revés, imágenes muy estáticas con pocos cambios en su imagen, requerirán menor flujo binario de datos, y por lo tanto, mayor compresión).

Los diferentes estándares de compresión deben manejar estas ventajas y desventajas, incluyendo la resolución de imagen y velocidad de bits de destino de forma diferente según el objetivo principal de la aplicación.

Otra desventaja es el costo de la implementación en tiempo real de la codificación y decodificación.

II.2.3 Formatos de video

En general, lo que llamamos "*formato de video*" involucra 2 conceptos tecnológicos diferentes: *Container* (o Contenedor) y *Codec*. De codecs se hizo un descriptivo en el punto anterior.

Un Container describe la estructura de un archivo, donde hay distintos elementos que son almacenados, entrelazados entre sí, y cada uno con su propio Codec.

Es un tipo de formato de archivo que almacena información de video, audio, subtítulos, capítulos, meta-datos e información de sincronización (entre los datos de video, audio, etc.) siguiendo un procedimiento preestablecido en su especificación.

Algunos contenedores multimedia más conocidos son: **AVI, MPEG (en sus variantes MPEG 2, MPEG4, etc...), Quick Time, MOV, MXF, WMV (Windows Media Video), OGG-Vorbis, FLV (Flash video), MKV (Matroska)**, etc., siendo los más utilizados en el entorno profesional en AVI, MOV y MXF, y el FLV está teniendo un amplio uso en video por internet (Youtube, Vimeo, etc..) y streaming (distribución de video por internet en tiempo real).

Estos son algunos de los típicos formatos empleados en video, donde la información o pistas de video van separadas de la información o pistas de audio, aunque nosotros veamos esos archivos independientes como uno solo, ese archivo que vemos es un “envoltorio” que los aúna internamente para facilitar la transferencia de esos archivos.

Cuando se crea un container, en primer lugar se produce la codificación de las pistas y posteriormente son multiplexadas o "unidas" siguiendo un patrón típico de cada formato. Las pistas de vídeo y audio suelen ir comprimidas, utilizando distintos los codecs.

Así, cuando debe reproducirse un archivo, en primer lugar actúa un divisor (splitter), el cual conoce el patrón del container, y "separa" (desmultiplexa) las pistas de audio y vídeo. Una vez separadas, cada una de ellas se interpreta y reproduce por el decodificador.

Por ejemplo, se puede disponer de un container AVI, donde el video esté comprimido por ejemplo con el codec DivX (u otro), y el audio comprimido con el codec AAC (u otro). Exteriormente solo se verá un solo archivo en la interfaz de nuestro ordenador.

Es imprescindible que el reproductor cuente con los decodificadores necesarios para reproducir tanto el vídeo como el audio, ya que de lo contrario la información no puede ser interpretada de forma correcta.

II.2.3.1 Organismos de estandarización:

Hay muchos factores a considerar en la selección del motor de compresión para utilizar en un sistema de vídeo digital. El primero a considerar son los requisitos de calidad de imagen para la aplicación y el formato, tanto de la fuente, contenido y pantalla de destino. Los parámetros incluyen la resolución deseada, profundidad de color, el número de fotogramas por segundos, y si el contenido y / o la pantalla son progresivos o entrelazados.

Ha habido dos organizaciones primarias que impulsan la definición de normas para la compresión de imagen y vídeo. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se centra en las aplicaciones de telecomunicaciones y ha creado las normas H.26x para videotelefonía. La Organización (ISO) está más centrado en las aplicaciones de consumo y ha definido los estándares JPEG para la compresión de imágenes y también estándares MPEG para la compresión de imágenes en movimiento.

Los dos grupos a menudo hacen diferentes compensaciones en base a sus aplicaciones objetivos primarios. En ocasiones estos han trabajado conjuntamente, como en el trabajo de la JTV (o Joint Video Team) en un estándar común conocido como H.264 y MPEG-4 AVC. Los estándares han sido fundamentales para la adopción generalizada de la tecnología de compresión. La ITU y la ISO han sido fundamentales en la creación de estándares de compresión que el mercado utilizó para lograr la interoperabilidad. Estos grupos también continúan colaborando en la evolución de las técnicas de compresión y definen nuevos estándares que deriven en una mayor compresión y genere nuevas oportunidades de mercado [7]. Ver Figura II.4

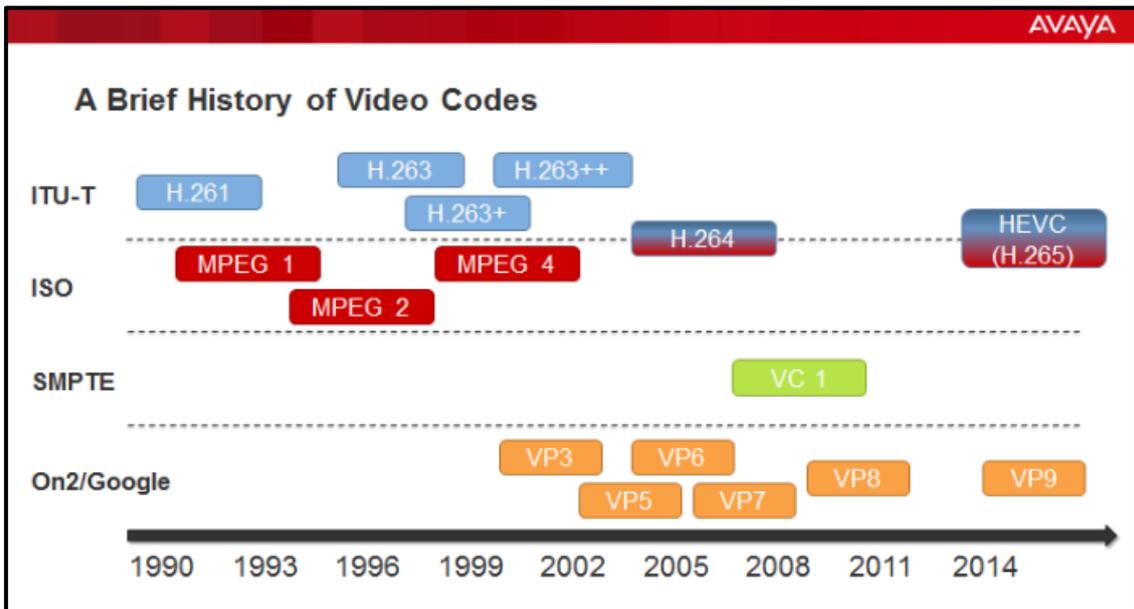


Figura II.4 Historia de codecs estándares.

Además de las normas de la industria de la ITU y la ISO, han surgido varias soluciones propietarias populares, particularmente para Internet y aplicaciones de streaming media. Estos incluyen Real Networks Real Video (RV10), Microsoft Windows Media Video 9 Series, On2 VP6, y Nancy, entre otros. Dada la base instalada de los contenidos en estos formatos, pueden llegar a ser también estándares.

El número de normas y estándares está aumentando rápidamente creando una creciente necesidad de soluciones flexibles para la codificación y decodificación.

II.2.3.2 Codecs estándares:

Entre los codecs estándares existentes podemos mencionar:

H.261. definido por la UIT fue el primer estándar de compresión de vídeo importante. Se destinó a aplicaciones de videoconferencia y fue referido originalmente como Px64 ya que fue diseñado para su uso con redes RDSI que soportaban múltiplos de 64 kbps. Las principales características son:

- Codificación Interframe - Codificación que usa tanto la redundancia espacial y la redundancia temporal para conseguir una mayor compresión.
- Predicción de tramas - Las tramas se codifican utilizando los datos de la trama decodificada anteriormente para predecir el contenido de la nueva trama, y la explotación de las redundancias espaciales restantes en el frame de vídeo mediante la codificación de los bloques residuales. Es decir, estableciendo la diferencia entre los bloques originales y los correspondientes bloques previstos, utilizando DCT (función que traslada datos espaciales al dominio de la frecuencia), cuantificación y codificación de entropía.
- Estimación de movimientos - Utilizado en el codificador para tener en cuenta el movimiento entre el marco de referencia y la trama que se está codificando para permitir la mejor posible predicción. Esto es por lo general la función intensiva de mayor performance en la compresión de vídeo y es parte del motivo por lo que los codificadores de vídeo suelen requerir mucho más procesamiento.
- Compensación de movimiento - Procedimiento en el decodificador de traer los datos de predicción de la trama de referencia para el movimiento identificado por la estimación de movimiento en el codificador.
- Cuantización fija - A diferencia de los estándares JPEG y MPEG, H.261 y H.263 usan cuantificación lineal fija.
- Bucle de filtrado – un filtro, llamado 2D 121, se utiliza para suavizar los efectos de cuantificación en el sistema de referencia. Debe ser aplicado en bits de manera exacta tanto por el codificador y el decodificador.

Debido a su enfoque en dos vías de vídeo, H.261 sólo incluye técnicas que no introducen demora adicional importante en el proceso de compresión y descompresión.

En general, el codificador está diseñado para evitar la complejidad extra y la mayoría de las aplicaciones requieren codificación y decodificación en tiempo real y simultáneo.

H.263. se desarrolló después de H.261 centrándose en permitir una mejor calidad de tasas de bit. Uno de los mayores objetivos originales era de transmitir vídeo a través de módems telefónicos ordinarios que corrían a 28.8 Kbps en el momento. La resolución de destino era de QCIF (128x96) a CIF. Los algoritmos básicos son similares a H.261, pero con las siguientes nuevas características:

- Estimación del movimiento - Soporte para vectores de movimiento de medio-píxel y mayor rango de búsqueda. Varios anexos con características opcionales incluyen, 4 vectores de movimiento, compensación de movimiento, y los vectores de movimiento sin restricciones.

- 3D VLC - La codificación Huffman combina un fin de bloque indicador (EOB) junto con cada par Run Level. Esta función está específicamente dirigida a bajar la tasa de bits, donde muchas veces hay sólo uno o dos coeficientes codificados.

Como H.263 ofrece generalmente una mayor eficiencia que H.261, se volvió el algoritmo preferido para videoconferencia con soporte H.261 todavía requerido para la compatibilidad con los sistemas más antiguos. H.263 creció con el tiempo como H.263 + y H.263 ++ que añaden anexos opcionales que soportan mejoras de compresión y características de robustez sobre redes de paquetes. Por esta razón, se ha encontrado cierto uso en aplicaciones de seguridad en red como una alternativa a JPEG. H.263 y sus anexos forman el núcleo de muchas de las herramientas de codificación en MPEG-4.

MPEG-1. MPEG o MPEG-1 Motion Picture Experts Group (Unión de Expertos en Imágenes en Movimiento) es un grupo de estándares de codificación de audio y vídeo. MPEG-1 fue el primer algoritmo de compresión de vídeo desarrollado por la ISO. El objetivo de la aplicación era el almacenamiento y recuperación de la imagen en movimiento y el sonido en soportes digitales como CD de vídeo mediante resolución

CIF (352x240) a 30 fps. La tasa de bits de salida específica fue de 1,15 Mbps, que produce efectivamente una compresión de 25: 1. MPEG-1 es similar a H.261, pero los codificadores suelen requerir mayor rendimiento para soportar el movimiento más pesado que se encuentra en el contenido de una película frente a una típica video-llamada.

En MPEG se distinguen tres tipos de frames:

- I o intraframes - son imágenes que no requieren información adicional para su decodificación. Son codificadas sin ninguna referencia a otras imágenes, como en JPEG, es decir, que contiene todos los elementos necesarios para su reconstrucción por el decodificador y son, por ello, el punto de entrada obligatorio para el acceso a una secuencia.

La tasa de compresión de imágenes I es relativamente pequeña, comparable con la de JPEG con pérdidas. Ellas consisten ante todo de los coeficientes transformados y no contienen vectores de movimiento.

- P o previstas – Se codifican con respecto a las imágenes de tipo I o P anteriores, gracias a las técnicas de predicción con compensación de movimiento. Como la compensación de movimiento no es perfecta, no se podrá multiplicar indefinidamente el número de imágenes I, ya que, como se utilizan para decodificar otras imágenes P o B, se propagan amplificando cualquier error de codificación.

Su tasa de compresión es claramente mayor que la de las imágenes I. Las imágenes P requieren aproximadamente la mitad de los datos de las imágenes I.

- y B o bidireccionales - Se codifican por interpolación entre dos imágenes de tipo I o P precedentes y siguiente que las enmarcan. Como no se utilizan para describir otras imágenes, las imágenes B no propagan los posibles errores de codificación.

Este tipo de imágenes es el que ofrece el factor de compresión más alto, que generalmente es de una cuarta parte de los datos de las imágenes I.

Dependiendo de la complejidad del codificador utilizado, se podrán codificar solo las imágenes I, las imágenes I y P o las imágenes I, P y B; sin duda, con resultados

absolutamente diferentes a nivel del factor de compresión y en cuanto a las posibilidades de acceso aleatorio, así como del tiempo de codificación y de la calidad percibida.

Las principales herramientas nuevas en MPEG-1 incluyen:

- Tramas B – Pueden codificarse macrobloques individuales utilizando predicción hacia adelante, hacia atrás o bidireccional. Un ejemplo de los beneficios es la capacidad para que coincida con un área de fondo que se incluyó en la trama anterior utilizando predicción hacia adelante. La predicción bidireccional puede permitir el aumento de ruido promediando tanto la predicción hacia delante y hacia atrás. Para aprovechar esta característica, los codificadores requieren procesamiento adicional, ya que la estimación de movimiento se tiene que realizar tanto para la predicción hacia delante y hacia atrás lo que puede doblar de forma efectiva los requisitos computacionales de estimación de movimiento. Las herramientas de frame B requieren un flujo de datos más complejo. Esta característica aumenta la latencia, y por lo tanto, no es adecuada para algunas aplicaciones. Las Tramas B no se utilizan para la predicción de compensaciones, solo puede hacerse para algunas aplicaciones. Por ejemplo, pueden omitirse en aplicaciones de baja velocidad de frames sin impactar en la decodificación futura de tramas I y P.

- Cuantización Adaptada a la percepción Humana - Un factor de escala de cuantificación se aplica específicamente a cada contenedor de frecuencia para optimizar la percepción visual humana.

MPEG-2 fue desarrollado para la televisión digital y pronto se convirtió en un exitoso algoritmo de compresión de vídeo. Soporta resoluciones de televisión estándar, incluyendo 720x480 entrelazado a 60 campos por segundo, para NTSC utilizados en los EE.UU. y Japón y entrelazado 720x576 a 50 fps para PAL utilizado en Europa.

MPEG-2 fue construido sobre MPEG-1 con extensiones para soportar vídeo entrelazado y gamas de compensación de movimiento también mucho más amplias. Los codificadores aprovechan al máximo el rango de búsqueda más amplio y la mayor

resolución; requieren significativamente más procesamiento que H.261 y MPEG-1. Entre sus características mencionamos:

- Herramientas de Codificación de Entrelazado - Incluye capacidad de optimizar la estimación de movimiento soportada en cada trama, y las basadas en predicciones; también soporta las tramas basadas en DCT / IDCT.

- Rango de Búsqueda Amplio - Debido al objetivo de mayor resolución de video, MPEG-2 soporta rangos de búsqueda sumamente más amplios que MPEG1. Esto aumenta en gran medida el requisito de ejecución para la estimación de movimiento en comparación con los estándares previos.

MPEG-2 funciona bien a relaciones de compresión alrededor de 30: 1. La calidad alcanzada con MPEG-2 a 8.4 Mbps resultó ser aceptable para aplicaciones de vídeo de consumo y pronto se implementó en aplicaciones como: satélite digital, cable digital, DVD, y ahora TV de alta definición.

Los requisitos de procesamiento para decodificación MPEG-2 fueron inicialmente muy altos para un procesador de propósito general e incluso DSPs (Procesadores de señales digitales).

MPEG-4. fue iniciado por la ISO como una continuación del éxito de MPEG-2. Algunos de los primeros objetivos fueron aumentar la robustez, dar soporte a errores en las redes inalámbricas, mejor soporte para aplicaciones de baja velocidad de bits, y una variedad de nuevas herramientas para soportar la fusión de objetos gráficos con vídeo. La mayor parte de las características de gráficos no han logrado una importante implementación aún en los productos. Las implementaciones se han centrado principalmente en la compresión a baja velocidad de bits y el menor error.

MPEG-4 parte desde H.263 y añade nuevas herramientas para mejorar la compresión:

- Vectores de Movimiento no Restringidos - Soporta predicción para objetos cuando se mueven parcialmente fuera de los límites del marco.

- Bloques de Tamaño Variable para compensar el Movimiento - Permite la compensación de movimiento en bloques de 16x16 o 8x8.

- Predicción Intra DCT AC/DC – Permite predecir los coeficientes DC / AC a partir de bloques vecinos, ya sea a la izquierda o arriba del bloque actual.

Las funciones agregadas para recuperación de errores en la pérdida de paquetes incluyen:

- Cortes de re-sincronización - Establece cortes dentro de las imágenes que permiten una re-sincronización más rápida después de que ha ocurrido un error. El estándar elimina las dependencias de datos entre cortes para permitir la codificación libre de errores al comienzo del corte e independientemente del error que ocurrió en el corte anterior.

- Particionado de datos - Un modo que permite la partición de los datos dentro de un paquete de video en una parte de movimiento y parte de datos DCT mediante la separación de éstos con un marcador de límite de movimiento único. Esto permite un control minucioso con la validez de los datos del vector de movimiento. Si se produce un error se puede tener una mejor visibilidad hasta qué punto se produjo el error para evitar el descarte de todos los datos de movimiento cuando se encuentra un error.

- VLC Reversible - tablas de códigos VLC diseñados para permitir la decodificación de ellos hacia atrás como hacia adelante. Cuando se encuentra un error es posible sincronizar en la próxima trama o comenzar el código, y trabajar de nuevo al punto donde se produjo el error.

El MPEG-4 simple avanzado (ASP) se inicia a partir del perfil básico, y añade marcos B y herramientas de entrelazado similares a MPEG-2. También agrega la estimación de movimiento de hasta un cuarto de píxel y una opción para la compensación de movimiento global. MPEG4 Advanced Simple Profile requiere significativamente más rendimiento de procesamiento que el perfil básico, y tiene mayor complejidad y eficiencia de la codificación de MPEG-2.

MPEG-4 se utilizó inicialmente sobre todo en streaming de Internet y llegó a adoptarse, por ejemplo, por el reproductor QuickTime de Apple. MPEG-4 simple ahora se

encuentra en amplias aplicaciones como en los teléfonos celulares multimedia. MPEG-4 ASP es la base de una aplicación propia llamada DivX que se ha popularizado.

H.264/MPEG-4 AVC. Es una norma promovida conjuntamente por la UIT y la ISO, que ofrece un gran avance significativo en la eficiencia de compresión para lograr una reducción de alrededor de 2 veces en la velocidad de bits en comparación con MPEG-2 y MPEG-4 de perfil simple. En las pruebas formales realizadas por el JVT, H.264 entregó una mejora de la eficiencia de 1.5x o superior en el 78% de los casos y el 77% en aquellos que muestran mejoras 2x o mayor y hasta de 4x en algunos casos.

Esta nueva norma se ha conocido con muchos nombres diferentes en su evolución. La UIT comenzó a trabajar en H.26L (para largo plazo) en 1997 utilizando nuevas e importantes herramientas de codificación. Los resultados fueron impresionantes y la ISO decidió trabajar con la UIT para adoptar un estándar común Joint Video Team. Por esta razón, a veces la gente se refiere a la norma como JVT, aunque este no es el nombre formal. La UIT aprobó el nuevo estándar H.264 en mayo de 2003, y la ISO aprobó la norma en octubre de 2003 como MPEG-4 Parte 10, Advanced Video Coding o AVC.

La mejora 2x que ofrece H.264 creó nuevas oportunidades de mercado, tales como las siguientes:

- Vídeo VHS-de calidad en 600 Kbps. Esto puede permitir la entrega de video sobre demanda a través de líneas ADSL.
- Una película HD puede caber en un DVD normal en lugar de exigir un nuevo sistema óptico del láser.

Aunque H.264 utiliza las mismas técnicas de codificación generales que las normas anteriores, tiene muchas nuevas características que lo distinguen de las normas anteriores y se combinan para permitir una mayor eficiencia de codificación.

H.264 es compatible con tres perfiles: línea base, principales, y extendida. Actualmente, el perfil de la línea de base y los perfiles principales están generando el mayor interés. El perfil de la línea de base requiere menos memoria de cálculo y del sistema, y está optimizado para una baja latencia. No incluye tramas B debido a su latencia inherente y CABAC debido a la complejidad computacional. El perfil de la línea de base es una buena opción para aplicaciones de vídeo en telefonía, así como otras aplicaciones que requieren codificación en tiempo real y rentable.

El perfil principal proporciona la mayor compresión, pero requiere significativamente más procesamiento que el perfil de línea base, por lo que es difícil bajar el costo de codificación en tiempo real y también en aplicaciones de baja latencia.

La difusión y las aplicaciones de almacenamiento de contenido son los principales interesados en el perfil principal para aprovechar la más alta calidad posible de vídeo a la velocidad de bits más baja.

II.2.3.3 Codecs propietarios:

También existen codecs propietarios, es decir, realizados por una determinada empresa, que son muy comunes, como:

WMV (Windows Media Video): un conjunto de codes desarrollados por Microsoft. Desde la versión 7 está basado en MPEG4.

RM (Real Media): desarrollado por Real Networks para streaming de video y audio.

DivX: desarrollado por DivX Inc. Su versión 4 y posterior está basada en MPEG-4 sin límite de resolución. Requiere más procesamiento de reproducción que MPEG1. Tuvo un auge importante con la llegada de las películas en CDROM. Hoy casi no se usa.

Sorenson 3: propietario de Apple, usado para distribuir cortos y trailers de películas, normalmente dentro de un container QuickTime.

Quicktime 6: implementación de Apple de un codec MPEG4.

WMV9: codec propietario de Microsoft no basado en MPEG4.

II.2.3.4 Containers estándares

También existen formatos de containers, donde podemos mencionar a algunos estándares y/o de formatos libres y abiertos, como:

OGG, OGM & OGV: de estándar abierto, no muy comunes.

MKV (Mastroska): tiene importante presencia en ámbitos domésticos. Es un contenedor libre de patentes y desarrollado con la misma filosofía del software libre.

VOB (DVD Video Object): es un estándar para DVDs.

MPEG2: es un contenedor muy extendido en ámbitos domésticos, aunque también está presente en ámbitos profesionales.

MPEG4 Part 14 (conocido como .mp4): es el estándar para el codec MPEG4

II.2.3.5 Containers propietarios

ASF: un formato de Microsoft diseñado para WMV y WMA

AVI (Audio Video Interleave): de Microsoft, presenta una gran presencia en los entornos de video profesional, sobre todo en aquellas plataformas que utilizan PC. Es muy compatible y presenta una gran variedad de codec, tanto para video como para audio.

FLV (Flash Video): desarrollado por Adobe; tiene un amplio uso en internet (streaming). Es el formato para envío de video MPEG a través de Flash Player.

MOV: desarrollado por Apple, presenta una gran presencia en los entornos de video profesional, sobre todo en aquellas plataformas que utilizan Mac. Es muy compatible y

presenta una gran variedad de codec, tanto para video como para audio. Generalmente, para poder trabajar con archivos MOV en cualquier editor de video, se necesita tener instalado el reproductor de Apple Quicktime.

En las referencias [8-12] se encuentra información adicional de codecs y formatos de video.

II.3) Estado del arte y propuesta de estudio experimental

II.3.1 Introducción

Hoy en día, es posible recibir televisión digital con servicios de alta definición y un mayor número de canales. También se ha generalizado grabar y compartir vídeos con los teléfonos móviles. Las empresas y organizaciones utilizan aplicaciones como la videoconferencia y telepresencia dentro de la misma empresa, entre otras aplicaciones.

La diversidad de usos del tráfico de video ayuda a establecer las métricas que deben tenerse en cuenta para cualquier despliegue de video y multimedia:

- Direccionalidad del tráfico de video,
- Rendimiento,
- Tolerancia a la latencia y al jitter,
- Número de canales,
- Número de usuarios,
- Tolerancia de error, entre otros.
- Calidad del video (SD o HD)
- Pre-grabado u online, entre otros.

II.3.2 Trabajos relacionados

Los servicios de datos están en camino de satisfacer las necesidades de muchos usuarios en la red. Los servicios de voz ya se consideran como una necesidad para la mayoría de

las personas. Y los servicios de datos, video y TV se están convirtiendo rápidamente en una parte esencial de la vida cotidiana de los consumidores.

Según el estudio de Cisco Visual Networking Index (Cisco VNI), se espera que el tráfico de video en Internet (la suma de VoD -Video on Demand- y video en Internet) para el 2019, estará en el orden del 80% de todo el tráfico consumido, mientras que en 2014 fue del 64%. [13]. Ver Figura II.5

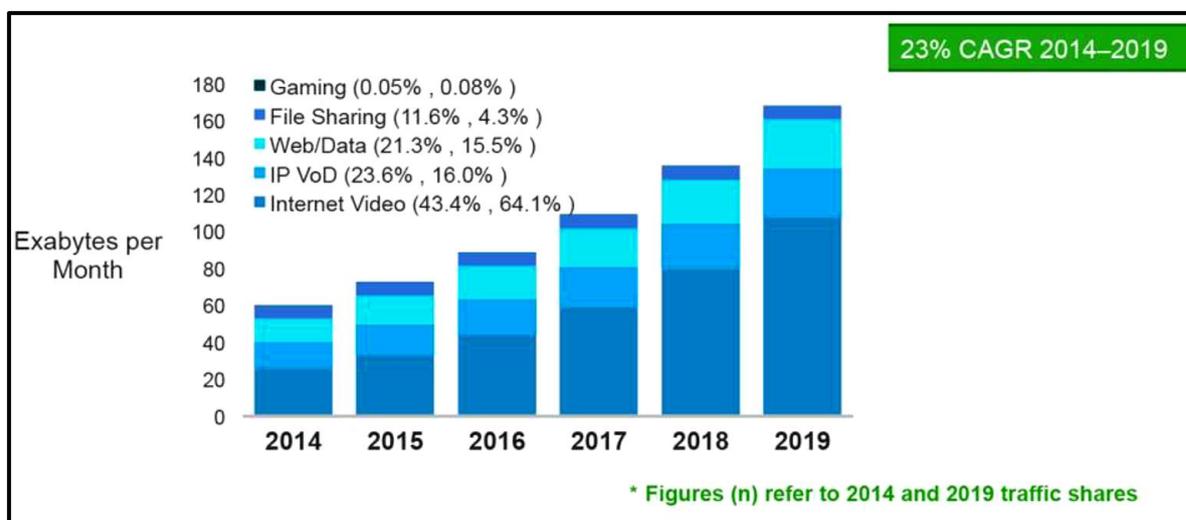


Figura II.5 Tráfico Internet de video.

Hay varias aplicaciones que utilizan el creciente tráfico de video en las redes LAN y WAN. Cada uno de ellos tiene sus propias características y exigencias especiales para garantizar un nivel adecuado de calidad de servicio (QoS).

Para cada caso, hay un amplio abanico de líneas de investigación del tráfico de video apoyadas en trabajos experimentales realizados sobre redes reales que muestran el comportamiento de cada caso. Los análisis se realizan con la captura de tráfico en escenarios experimentales de tráfico de video real y/o sintético.

En [14] se evalúa el rendimiento en tres contextos distintos, diferentes codecs de vídeo sobre vídeos sintéticos. La evaluación se basa en métricas de calidad subjetiva y objetiva. Se llevaron a cabo un gran número de experimentos para estudiar el efecto de

la velocidad de fotogramas y la resolución sobre el desempeño de los codecs para videos sintéticos. Los resultados de la evaluación indican que los codecs de vídeo responden de manera diferente al cambio de velocidad de los cuadros y a la resolución por cuadro. Los autores determinaron que el codec H.264 muestra capacidades superiores en comparación con los otros codecs. Las evaluaciones se realizaron configurando tres diferentes tasas de cuadros: 15 cuadros por segundo (fps), 25 fps and 30 fps. Los videos fueron comprimidos a 256, 512 y 1024 kbps. El estudio consideró escenas que incluyen secuencia con alta textura y alto movimiento, alta textura y bajo movimiento, baja textura y alto movimiento, baja textura y bajo movimiento.

Mientras que en [15] se presenta una evaluación comparativa de dos estándares de codificación de vídeo H.265/MPEG-HEVC (High-Efficiency Video Coding), la codificación de vídeo H.264/MPEG-AVC (Advanced Video Coding), y también del esquema de codificación de video propietario VP9. Para evaluar H.264/MPEG-2 AVC, se seleccionó un codificador de fuente abierta x264, que tiene un modo de codificación multipaso, análogo a VP9. De acuerdo a los resultados experimentales, los cuales fueron obtenidos mediante el uso de configuraciones de bajo retardo similares para los tres codificadores representativos examinados, se observó que el H.265/MPEG-HEVC proporciona importantes ahorros en la tasa de bits promedio, del orden del 32,5% y 40,8%, en relación a VP9 y X264 para la codificación de una pasada, y ahorro en la tasa de bits promedio de 32,6% y 42,2% para la codificación de dos pasadas, respectivamente.

En una línea de investigación totalmente diferente [16] se evaluó el impacto de los codec de vídeo H.264 en el rendimiento de coincidencia para el reconocimiento facial automatizado de vigilancia y aplicaciones de vídeo móvil. En los estudios se aparearon un conjunto de doscientos videos de control de acceso y de vigilancia a distancia tomados bajo condiciones de imagen y reconocimiento facial no ideales mediante dos motores de reconocimiento facial comercial. En estos experimentos, las señales de

vídeo pudieron comprimirse hasta 128 kbs, antes que ocurriera una caída significativa en el rendimiento del reconocimiento facial.

El diseño de sistemas de archivos está fuertemente influido por la medición de la utilización de sistemas de archivos existentes, tales como la distribución de tamaños de archivo y de los patrones de acceso. En [17] se presentó información estadística de caracterización del tráfico de vídeo en la web. En este experimento fueron descargados y analizados más de 57000 archivos AVI, QuickTime y MPEG almacenados en la web. Entre los descubrimientos más interesantes se encontró que la tecnología de vídeo más común en uso al momento de la experimentación fue QuickTime, y que la resolución de la imagen y la velocidad de cuadros de los archivos de vídeo que incluyen audio son mucho más uniformes que los archivos sólo de vídeo. La mayoría de todos los archivos de audio y vídeo tienen dimensiones de CIF o QCIF (o muy similares) en 10, 12, 15 ó 30 fps, mientras que las dimensiones y la velocidad de cuadro de los archivos de sólo vídeo están más uniformemente distribuidos. En este trabajo, también se comprobó experimentalmente la conjetura de que el ancho de banda (a ese momento) era al menos un orden de magnitud demasiado lento para admitir la reproducción de vídeo.

En [18] se presentó un estudio experimental de rendimiento de tráfico multimedia en redes de malla, para la evaluación del rendimiento y análisis de redes inalámbricas usando un laboratorio de experimentación. Para los autores, esto facilitó la mejor comprensión de las características de la red y de las aplicaciones sobre la misma. Se evaluó el rendimiento del tráfico de vídeo y de voz a través de rutas inalámbricas multi-hop y se estudió la capacidad de la red de malla. Se utilizaron herramientas de verificación de confiabilidad para identificar los pares de nodos con las conexiones bidireccionales más confiables. Se examinaron flujos de videos y de voz UDP grabados con RTPtools, y se utilizó rtpplay para reproducción en el nodo origen y rtpdump para registrar los paquetes recibidos en el destino.

Mientras que en [19], sobre redes inalámbricas y cableadas, se compararon los rendimientos de los codecs de video de H.264/AVC, Xvid y WebM/vp8. Las prestaciones de los codecs se evaluaron para diferentes valores de pérdida de paquetes y de variación de retardo. La evaluación del desempeño de los codecs se realizó usando métodos de evaluación subjetivos y objetivos. Los autores verificaron que para bajar los valores de pérdidas de paquetes y de variación del retardo, el codec H.264 mostró mejores resultados cuando se lo comparó respecto a Xvid y WebM/VP8, mientras que WebM/VP8 superó a Xvid y H.264 con mayores valores de pérdidas de paquetes y de variación de retardo. En general, H.264 y WebM/VP8 funcionaron mejor que Xvid. También se constató que los tres codecs de vídeo se desempeñaron mejor en red cableada que en la red inalámbrica.

Mientras que en [20] se analizó empíricamente la operación de multidifusión del tráfico de vídeo, especialmente con el funcionamiento de la administración de energía en dos aspectos: (1) si los dispositivos WiFi comerciales operan correctamente, tal y como se define en el estándar y, (2) qué tipo de problema de funcionamiento compatible con el estándar puede inducirse. La topología estaba compuesta de tres computadoras portátiles trabajando como un servidor de streaming de vídeo, un cliente de vídeo y un capturador inalámbrico de paquetes, respectivamente. El servidor de flujo multidifusión de vídeo estaba conectado al AP WiFi con un cable Ethernet. El cliente, un receptor de tráfico de vídeo multidifusión, recibía el tráfico de vídeo del AP. A partir de los resultados experimentales, los autores determinaron que algunos de los dispositivos WiFi comercial no siguen la norma con respecto a la operación de ahorro de energía, y este incumplimiento empeora la interoperabilidad. También concluyeron que la operación compatible con el estándar puede provocar retardos significativos del tráfico de VoIP, cuando coexiste el video multidifusión con VoIP. A través de este estudio experimental, se proporcionaron directrices para el servicio de video multidifusión energéticamente eficiente.

En [21] se evaluó y se comparó el comportamiento de QoS de los modelos de tráfico de vídeo para el codec de vídeo H.264/AVC. Estos modelos se usaron para generar trazas de paquetes sintéticos, sobre un modelo de simulación, para estimar el 95% del retardo, jitter y pérdida de paquetes extremo-a-extremo. Las métricas de QoS de las trazas generadas fueron comparadas con las trazas originales disponibles en la Biblioteca de vídeo Universidad del Estado de Arizona. Se observó que ninguno de los modelos produce resultados precisos para cada tipo de vídeo. Sin embargo, el modelo MMG genera los resultados más cercanos a las trazas reales. Otros modelos de H.264/AVC que se evaluaron son: el MMG (Markov Gamma Modulada), el modelo DAR (Discrete Autoregressive), el modelo AR(2) (Second Order Autoregressive), y un modelo basado en Wavelet.

II.3.3 Descripción del “streaming de vídeo” y aplicaciones asociadas

Existe una gama muy diversa de diferentes transmisiones de vídeo y aplicaciones de transmisión, que tienen muy diferentes condiciones de funcionamiento o propiedades. Por ejemplo, aplicaciones de comunicación de vídeo puede ser para transmisión punto a punto o de multidifusión o difusión, y el vídeo puede ser pre-codificado (almacenados) o puede estar codificado en tiempo real (por ejemplo, videoteléfono interactivo o de videoconferencia). Los canales de vídeo para la transmisión también pueden ser estáticos o dinámicos, con conmutación de paquetes o de circuitos, puede soportar una velocidad de transmisión de bits constante o variable, y puede apoyar alguna forma de Calidad de Servicio (QoS) o sólo puede proporcionar tráfico de mejor esfuerzo.

Las propiedades específicas de una aplicación de transmisión de vídeo pueden influir fuertemente en el diseño del sistema. Por lo tanto, se realiza una breve discusión de algunas propiedades y sus efectos en el diseño de un sistema para una transmisión de vídeo.

De acuerdo al artículo “Video Streaming: Concepts, Algorithms, and Systems” de Mobile and Media Systems Laboratory de HP [22], se pueden mencionar distintos tipos de transmisión de video:

Transmisión tipo Punto a punto, Multidifusión y Difusión

Probablemente, la forma más popular de comunicación de vídeo es uno-a-muchos (Básicamente uno a todos) o como broadcast, donde el ejemplo más conocido es la televisión. Un aspecto importante de acá, es que el sistema debe estar diseñado para proporcionar a cada destinatario con la señal requerida; ya que los diferentes destinatarios pueden experimentar diferentes características de canal, y como resultado, el sistema se diseña para el canal de peor caso. Además, debido al gran número de receptores implicados, la retroalimentación del receptor al remitente es generalmente imposible, lo que limita la capacidad del sistema para adaptarse.

Otra forma común de transmisión es punto a punto o uno-a-uno; por ejemplo, videoteléfono y streaming a través de unicast en Internet. Una propiedad importante es si existe o no un canal de retorno entre el receptor y el emisor. Si existe un canal de retorno, el receptor puede proporcionar información al remitente que pueda utilizar para adaptar su procesamiento. Por otro lado, sin un canal de retorno al remitente tiene un conocimiento limitado sobre el canal.

Otra forma de comunicación es de multidifusión. Multicast es una transmisión uno-a-muchos. Un ejemplo de multidifusión es IP-Multicast a través de Internet. Sin embargo, esto actualmente no está ampliamente disponible en Internet, y otros enfoques se están desarrollando para proporcionar capacidad de multidifusión, por ejemplo, multidifusión de capa de aplicación a través de redes superpuestas.

Codificación en tiempo real frente a pre-codificación de vídeo (almacenado)

El video puede ser capturado y codificado para la comunicación en tiempo real, o puede ser pre-codificado y almacenado para su posterior visualización. Las aplicaciones

interactivas son un ejemplo de aplicaciones que requieren codificación en tiempo real, por ejemplo, vídeo llamada, videoconferencia o juegos interactivos. Sin embargo la codificación en tiempo real se requiere también en aplicaciones que no son interactivos, por ejemplo la difusión “en vivo” de un evento deportivo.

En muchas aplicaciones el contenido de vídeo es pre-codificado y almacenado para visualizarlo en otro momento. El vídeo puede ser almacenado de forma local o remota. Ejemplos de almacenamiento local incluye DVD y CD de vídeo, así como ejemplos de almacenamiento remoto incluyen vídeo bajo demanda (VOD), y la transmisión de vídeo a través de Internet (por ejemplo, como proporcionado por YouTube). El vídeo pre-codificado tiene la ventaja de activar una codificación más eficiente, tales como la codificación multi-pass que es normalmente realizado por el contenido del DVD. Por otro lado, proporciona limitada flexibilidad como, por ejemplo, el vídeo pre-codificado puede no ser significativamente adaptado a los canales que soportan diferentes velocidades de bits o para clientes que admiten diferentes capacidades de visualización que la utilizada en la codificación original.

Interactivo contra aplicaciones no interactivas

Las aplicaciones interactivas tales como videotelefonía o juegos interactivos tienen una restricción de tiempo real. En concreto, la información tiene una utilidad limitada en el tiempo, y si la información llega, pero tarde, se pierden características o no sirve. Esto es equivalente a una latencia máxima aceptable de extremo a extremo en la información transmitida, donde por extremo a extremo se quiere decir: captura, codificación, transmisión, recepción, decodificación, pantalla. La latencia máxima aceptable depende de la aplicación, pero a menudo es del orden de 150 ms. Las aplicaciones no interactivas tienen limitaciones de latencia más flexibles, por ejemplo muchos segundos o potencialmente incluso minutos. Ejemplos de aplicaciones no interactivas incluyen multidifusión de acontecimientos populares o multidifusión de una conferencia.

Estático frente a canales dinámicos

El diseño del sistema de comunicación varía significativamente si las características del canal de comunicación, tales como ancho de banda, retardo y pérdida, son estáticos o dinámicos (variable en el tiempo). Ejemplos de canales estáticos incluyen líneas de enlaces que proporcionen una tasa fija de bits y retardo, y una tasa de pérdida muy baja y vídeo almacenamiento en un DVD. Ejemplos de canales dinámicos incluyen la comunicación a través de canales inalámbricos o por Internet. La transmisión de vídeo a través de canales dinámicos es mucho más difícil que en un canal estático.

Constante-bit-rate (CBR) o tasa de bits variable (VBR)

Algunos canales soportan CBR, por ejemplo, RDSI o DTV; y en algunos canales VBR, por ejemplo, el almacenamiento de DVD y la comunicación a través de redes de paquetes. Por otra parte, una secuencia de vídeo tiene típicamente una complejidad variable en el tiempo. Por lo tanto, la codificación de un vídeo para lograr una representación visual de una calidad constante requiere una tasa de bits variable, y la codificación para una velocidad de bits constante haría producir una calidad variable en el tiempo. Claramente, es muy importante adaptar la velocidad de bits del vídeo a lo que el canal puede soportar. Para lograr esto, se utiliza normalmente un buffer para acoplar el codificador de vídeo en el canal, y un mecanismo de control de buffer proporciona retroalimentación basado en la ocupación de dicho buffer, para regular la cuantificación y por lo tanto la tasa de bits de vídeo.

Calidad de Servicio de Apoyo (QoS)

Un área importante de investigación de la red durante las últimas décadas ha sido el soporte de QoS. QoS proporciona algún tipo de servicio de entrega preferencial o garantías de rendimiento, por ejemplo, garantías de rendimiento, pérdida máxima o las tasas de retraso. El soporte de la red de calidad de servicio puede facilitar en gran medida de vídeo la comunicación, ya que puede permitir una serie de capacidades incluyendo aprovisionamiento de datos de vídeo, priorizando sensibilidad al retardo con

respecto a los datos de vídeo otras formas de tráfico de datos, y también prioridad entre las diferentes formas de los datos de vídeo que debe ser comunicada. Desafortunadamente, QoS no está ampliamente soportado en Internet.

Aparte de las características propias de transmisión de video se puede analizar la forma que el video se entrega a la red:

Entrega de vídeo a través de descarga de archivos

Probablemente el método más antiguo para la entrega de vídeo es por una descarga de archivos, pero se debe tener en cuenta que se trata de un video y no un archivo genérico. En concreto, la descarga de vídeo es similar a una descarga de archivos, pero es un de gran tamaño y con algunas características particulares. Este enfoque permite el uso de mecanismos de entrega establecidos, por ejemplo TCP en la capa de transporte o FTP o HTTP en las capas más altas.

Sin embargo, tiene una serie de desventajas. Dado que en general los vídeos corresponden a archivos muy grandes, el método de descarga por lo general requiere mucho tiempo de descarga y espacios de almacenamiento de gran tamaño. Estos son importantes restricciones. Además, todo el vídeo debe descargarse antes de comenzar su reproducción. Esto requiere paciencia por parte de espectadores y también reduce flexibilidad en ciertas circunstancias, por ejemplo, si el espectador no está seguro si quiere ver el video, debe descargar el video completo antes de verlo y tomar una decisión.

Entrega de vídeo a través de streaming

La entrega de vídeo por streaming intenta superar los problemas asociados con el archivo de descarga, y también proporciona una cantidad significativa de capacidades adicionales. La idea básica de la transmisión de vídeo es dividir el vídeo en partes, transmitir esas piezas en la serie, y permitir que el receptor decodifique y reproduzca el video en la medida que se reciben estas partes, sin tener que esperar a la descarga de

todo el video para ser reproducido. En la transmisión de vídeo por lo general hay un pequeño retraso (del orden de 5-15 segundos) entre el inicio de la entrega y el inicio de la reproducción en el cliente. El streaming de video proporciona una serie de beneficios que incluyen bajo retardo antes de que la visualización se inicie y los requisitos de almacenamiento es baja, ya que sólo una pequeña porción del vídeo se almacena en el cliente en cualquier punto en el tiempo. La longitud del retraso es dada por el tiempo de duración de la memoria intermedia y el almacenamiento requerido es aproximadamente dado por la cantidad de datos en el búfer de recepción.

Los problemas básicos de Video Streaming

Hay una serie de problemas básicos que afectan a la transmisión de vídeo. La transmisión de vídeo a través de Internet es difícil porque la Internet sólo ofrece servicio de mejor esfuerzo. Es decir, que no proporciona garantías en ancho de banda, fluctuación de retardo, o la pérdida de tasa. Específicamente, estas características son desconocidas y dinámicas. Por lo tanto, un objetivo clave de la transmisión de vídeo es diseñar un sistema fiable para entregar video de alta calidad a través de Internet, teniendo en cuenta lo siguiente:

- ancho de banda
- variación de retardo (jitter)
- tasa de pérdida

El ancho de banda disponible entre dos puntos en Internet es generalmente desconocido y variable en el tiempo. Si el emisor transmite más rápido que el ancho de banda efectivo, entonces se produce la congestión, los paquetes se pierden, y hay una grave disminución de la calidad de vídeo. Si el emisor transmite más lento que el ancho de banda disponible, entonces el receptor produce una calidad de vídeo sub-óptima. El objetivo de superar el problema de ancho de banda es estimar el ancho de banda disponible y que coincida con la velocidad de bits de vídeo de transmisión al ancho de banda disponible. Resolver el problema de ancho de banda es un desafío interesante, ya

que hay que estimar con precisión el ancho de banda disponible, igualando la codificación de vídeo al ancho de banda de canal estimada, transmitiendo a una tasa que es la suma de todos los flujos concurrentes en Internet. Una posible solución es una situación de multidifusión donde un solo remitente de un flujo de datos llega a varios receptores, pero se puede tener el inconveniente de que cada receptor puede tener un ancho de banda disponible diferente.

El retardo de extremo a extremo del viaje de un paquete puede fluctuar de un paquete a otro. Esta variación en el retardo de extremo a extremo se conoce como la variación de retardo o “jitter”. Esto es un problema ya que el receptor debe recibir y decodificar fotogramas a una velocidad constante, y los marcos finales resultantes de la fluctuación de retardo puede producir problemas en el vídeo reconstruido. Este problema normalmente se soluciona al incluir una memoria temporal de reproducción en el receptor. Mientras que la memoria temporal de reproducción puede compensar la fluctuación de retardo, el video mejora en calidad, aunque también introduce retardo adicional.

El tercer problema es fundamental. Hay numerosos tipos de errores o pérdidas de paquetes que pueden ocurrir, dependiendo de la red particular en consideración. Por ejemplo, las redes cableadas, se ven afectados principalmente por la pérdida de paquetes completos. Por otra parte, las redes inalámbricas son típicamente afectadas por errores en los bits o errores de ráfaga.

II.3.4 Métricas de medición

La RFC 2330 de la IETF en 1998 dice textualmente: *En Internet operacional, hay varias cantidades relacionadas con performance y la confiabilidad, de la cual nos gustaría saber el valor. Cuando tal cantidad es cuidadosamente especificada, la llamamos métrica. Se considera que habrá RFCs separadas para cada métrica (o para cada grupo estrechamente relacionado de métricas).*

En el descriptivo de esta norma, y su actualización en la RFC 7312, se definen varios conceptos de métricas, metodologías de medición, mediciones y errores, métodos de recolección de muestras, definiciones estadísticas, etc.

Una *métrica de Internet* es una cantidad cuidadosamente especificada relacionada con el desempeño y confiabilidad de la Internet [23]. Algunas métricas se pueden definir puramente en términos de otras métricas; si es el caso, se les llama *métricas derivadas o específicas*. Algunas métricas pueden medirse directamente en los nodos de la red y otras sólo en los extremos de la red. Por ejemplo un usuario final de Internet, sólo puede realizar estimaciones de métricas de QoS en su host local o extremo a extremo. Un administrador de red tiene acceso a las estadísticas del tráfico de la red que administra: latencias, tasa eficaz, disponibilidad, etc.

El ancho de banda es una de las métricas más importantes en una red IP. Es clave en la evaluación de su QoS así como en la asignación de recursos por aplicación, además es actualmente un recurso finito y costoso.

El retardo unidireccional en Internet es el tiempo que le toma a un paquete IP viajar de un host fuente a un host destino, e incluso otra métrica de retardo incluye un tiempo de regreso al host fuente.

El ancho de banda, dentro del contexto de una red de datos, cuantifica la tasa de datos que un enlace o trayectoria de red puede transferir de un nodo fuente a un nodo destino. Sin embargo, este concepto es malinterpretado en algunas ocasiones confundándose con métricas relacionadas al caudal eficaz.

Las métricas de retardo y ancho de banda de las trayectorias de red son la clave para optimizar el desempeño extremo a extremo de algunas aplicaciones. Por ejemplo, las aplicaciones interactivas sensitivas a la latencia se benefician de los bajos retardos extremos a extremo asociados con enlaces de gran ancho de banda (retardo de transmisión bajos: menores a 100 ms), de ahí la importancia de su estimación.

Existen normas que definen las métricas como las siguientes:

- la RFC 7679 define la métrica de retardo
- la RFC 3393 define la métrica de diferencia de retardo o “jitter”
- la RFC 7680 define la métrica de pérdida de paquetes
- la RFC 5136 define las métricas de capacidad de un enlace IP nominal y capacidad de enlace y/o de paso
- la RFC 5644 define las métricas espaciales y de multicast

También se diferencian las métricas si la medición es en un solo sentido del flujo, es decir, cuando sólo se mide desde el origen al destino; o en ambos sentidos.

II.3.5 Propuesta de estudio experimental

Los trabajos de investigación presentados en el apartado II.3.2, y otros relevantes [24-36] no discutidos por brevedad, muestran, en general, una falta de uniformidad de los escenarios de experimentación, en la cantidad y tipos de codecs, en los videos utilizados, etc.

Estos y otros aspectos complican, en su conjunto, los contrastes entre trabajos contemporáneos entre sí, y los realizados previamente. Además, se observa que hay pocos trabajos disponibles con estudios experimentales y de simulación de redes WAN.

Y a conocimiento del tesista, no hay propuestas que combinen en un laboratorio de prueba WAN:

- 1) las limitaciones de estos vínculos,
- 2) la problemática de las variantes de los codecs para tráfico de vídeo, y
- 3) el uso de la multidifusión.

El alcance del presente trabajo de tesis está establecido por los siguientes principales componentes y/o actividades:

- Especificación del laboratorio de experimentación WAN de tráfico de video unidifusión y multidifusión,
- Configuración de los protocolos de enrutamiento y de multidifusión utilizados,
- Selección de la aplicación de Servidor de video,
- Selección del tipo de Codecs,
- Selección del video,
- Método y herramienta de captura del tráfico de video,
- Métricas de QoS relevadas.

El escenario de experimentación permitió obtener en detalle varias métricas de rendimiento para este contexto. Por otro lado, el escenario supone ciertas condiciones operativas, como por ejemplo, la no-existencia de tráfico de voz o de tráfico general (ambos, generalmente, tienen en una ponderación muy baja con respecto al tráfico de video), a fin de facilitar la transparente comparación y evaluar el impacto en las métricas de los diferentes codecs en el tráfico de unidifusión y multidifusión.

De acuerdo a lo planteado en este capítulo, las Métricas a obtener son:

- *Tiempo total del video [Tt]*, definido como el tiempo transcurrido entre la transmisión del primer paquete y el último paquete más uno.
- *Número total de paquetes (o tramas) [NP]*, definido como la cantidad total de paquetes perteneciente al tráfico de video durante el tiempo Tt.
- *Número total de bytes [NB]*, definido como la cantidad total de bytes perteneciente al tráfico de video durante el tiempo Tt.
- *Número de errores obtenidos [Eo]*, definido como la cantidad de tramas recibidas con error y/o cantidad de tramas perdidas.
- *Tamaño promedio de los paquetes [Tp]*, definido como la suma total de bytes de todos los paquetes de video dividido por NP

- *Espacio intertrama o Tiempo entre tramas de paquetes [EI]*, definido como el tiempo transcurrido entre el inicio de un paquete y el inicio del paquete siguiente.
- *Tasa de transferencia efectiva [BR]*, definida como NB dividido por Tt.
- *Retardos de tiempo involucrados en la transmisión [Rt]*, definido como el tiempo transcurrido desde que salió el primer bit del origen hasta que llegó ese bit al destino.
- *Diferencia de retardo (o jitter) [DR]*, definido para 2 paquetes dados como la diferencia entre los Rt de cada uno.
- Distribuciones estadísticas de tamaño de paquete.
- Distribuciones estadísticas de tiempo entre tramas.
- Distribuciones estadísticas de segundo orden y análisis de autosimilitud.

II.4) Sumario

En este Capítulo se ha presentado el funcionamiento de multicast en forma general y su uso actual, la teoría de codificación de video y los distintos codecs más populares en la actualidad.

Por otro lado, se ha tratado el estado del arte del tráfico de video, con una revisión de los trabajos de investigación más relevantes y la propuesta de trabajo de la presente tesis.

Finalmente, se han planteado los conceptos de métricas y las definiciones de las utilizadas en el presente trabajo.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO, DE LOS RECURSOS

Y

DE LAS HERRAMIENTAS DE EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se presentan los distintos escenarios, recursos y principales herramientas que se han usado para la generación, la captura y el análisis del tráfico de video. Se trata de las distintas topologías de red implementadas con su hardware asociado, del Servidor, de computadoras de escritorio, de switches y routers, y los softwares Wireshark y Unreal Media Server con sus clientes asociados. Se ha utilizado Unreal Media Server para adecuar y transmitir los streamings de video en los distintos codecs en formatos Multicast y Unicast. Se ha usado Wireshark para capturar paquetes del tráfico a la salida del servidor y en cada PC cliente.

III.1) Topología de trabajo

En el presente trabajo se evaluó experimentalmente el rendimiento de streaming de vídeo en un WAN test bed con la utilización de equipos de red, servidores y clientes reales.

La topología genérica utilizada es una computadora funcionando como servidor de streaming y computadoras de escritorio (PCs) como clientes conectadas en los extremos de una red como si fuera una red WAN. Dicha red WAN está formada por routers y switches con distintos tipos de enlaces interconectando a los mismos. La Figura III.1 muestra la topología general de trabajo (desde este escenario se establecerán 4 subescenarios particulares).

En esta topología, los enlaces indicados con línea continua son del tipo FastEthernet con una velocidad de transmisión de 100 Mbps, mientras que los enlaces indicados con

línea discontinua se trata de interfaces serie conectadas en formato punto a punto a una velocidad de transmisión de 2Mbps. Para el funcionamiento entre los routers R1 a R6 se configuró el protocolo de enrutamiento OSPF v2. Para los mismos routers se configuró el protocolo de enrutamiento multicast PIM de modo denso.

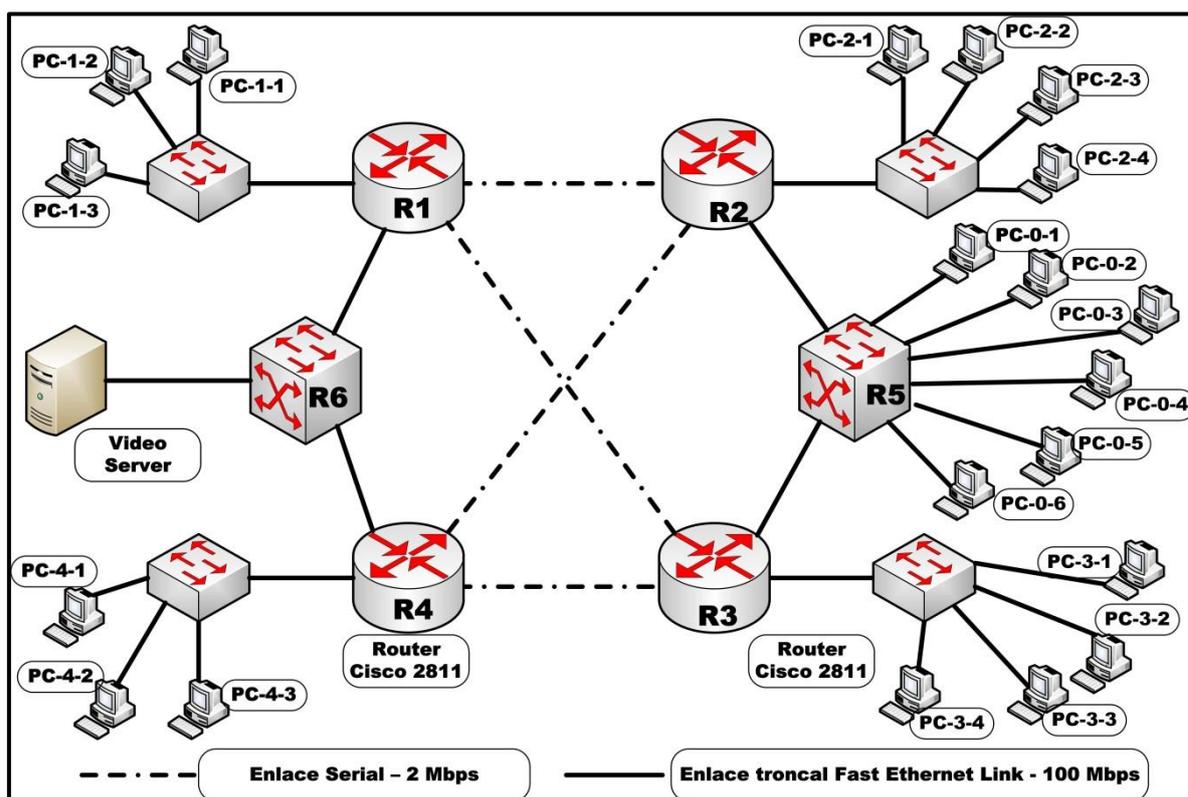


Figura III.1 Escenario de experimentación.

Los enlaces redundantes existentes se plantearon como opción para considerar una red WAN real, pero se configuró el protocolo de ruteo para que el tráfico entre el servidor y cada cliente siga siempre una única ruta.

Para el escenario mostrado en la topología de trabajo se utilizaron los siguientes equipos de hardware:

- Como servidor: una computadora de escritorio con las siguientes características: Procesador Intel Core I5 con 8GB de RAM y sistema operativo Windows 7 Professional de 64 bits.

- Como clientes: computadoras de escritorio con las siguientes características: Procesador AMD Athlon(tm) II X2 250 a 3GHz con 2GB de RAM y sistema operativo Windows 7 Professional de 32 bits.
- Los routers R1, R2, R3 y R4 fueron modelo Cisco 2811, y los routers R5 y R6 fueron resueltos con switches multicapa Cisco WS-CS3750.
- Finalmente, para la conexión de los routers a las PCs se usaron switches Cisco Layer 2 Catalyst Model WS-2950-24.

Y se utilizaron los siguientes softwares instalados:

- Como servidor de streaming: el software Unreal Media Server, instalado en la PC indicada como Video Server
- Como software cliente reproductor del video: el cliente Unreal Media Player instalado en todas las computadoras clientes.

III.2) Software de streaming - Unreal Media Server

Es una herramienta de libre disponibilidad para capturar y generar tráfico de video para redes IPV4 e IPV6. [37]

III.2.1 Descripción general

Unreal Media Server es un software servidor de streaming que ofrece la funcionalidad de servir streamings bajo demanda o en vivo. Soporta una variedad de protocolos de comunicación para entregar streams de video a clientes en una red, tales como Flash Player, SilverLight, Windows Media Player, Unreal Media Player y dispositivos móviles.

El servidor soporta UMS (protocolo propietario basado en DirectShow, independiente del codec) para entregar contenidos Unreal Media Player tanto en modo unicast como multicast. También soporta los protocolos RTMP y RTMPT para entrega a Flash Player, MS-WMSP y MS Smooth para entregar a SilverLight y Windows Media Player,

Protocolo Apple HTTP Live Streaming para iOS y otros dispositivos con HLS habilitado, y protocolo MPEG2-TS para entrega a IP-TV u otros dispositivos compatibles. Es importante enfatizar la posibilidad de encapsular una gran variedad de codecs cuando empleamos un escenario cuyo cliente pertenece a la suite unreal media, ya que como dijimos la plataforma emplea el protocolo propietario UMS.

La siguiente es una representación gráfica de la arquitectura (desde una perspectiva de servicios) del servidor, dada por el proveedor (Unreal Streaming Technologies) [37]:

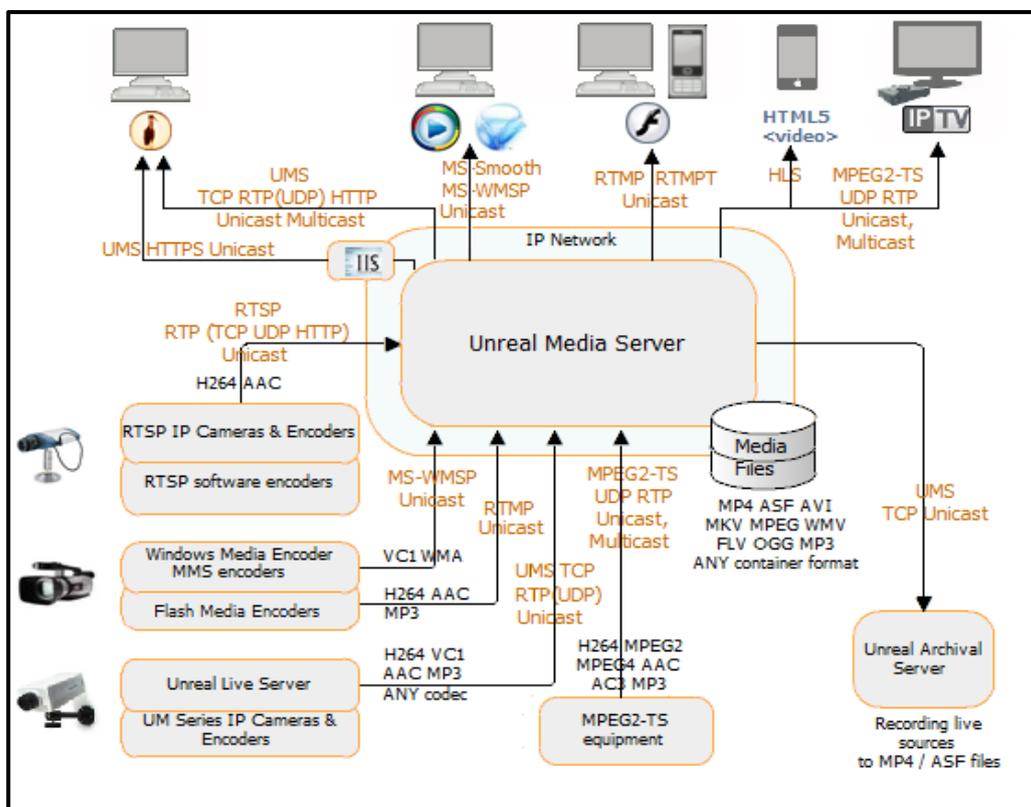


Figura III.2 Arquitectura del servidor de streaming.

El Unreal Media Server transmite cualquier formato de archivo multimedia, codificado con cualquier codec. Los formatos contenedores soportados incluyen: MP4, ASF, AVI, MKV, MPEG, WMV, FLV, OGG, MP3, 3GP, MOV, etc.

El Unreal Live Server soporta cualquier dispositivo de captura conectado al servidor, como placas capturadoras de video, cámaras digitales USB, streams de video desde la red sobre protocolos RTSP, RTMP, MPEG2-TS, HLS y MMS. Este servidor codifica/decodifica audio-video capturado con codecs H264, VC1, AAC, MP3, WMA y lo envía como streaming sobre protocolo UMS al Unreal Media Server.

Unreal Streaming Media Player es el cliente nativo para reproducir los videos a través del protocolo UMS mediante TCP, RTP (UDP) o HTTP. El cliente puede estar embebido en la página web como un control ActiveX para el navegador IE, o como un plugin para Firefox, Netscape, Mozilla, Safari y Opera.

Multidifusión a través del protocolo UMS.

Unreal Media Server soporta multicasting simultáneo de un número ilimitado de fuentes on-line y carpetas virtuales. Cuando un primer cliente se conecta y solicita la entrega de multidifusión de origen en directo, el servidor comenzará la multidifusión. Cuando el último cliente se desconecta, se detiene la multidifusión. Cuando la multidifusión es de archivos de video, el administrador de Media Server debe iniciar y detener manualmente la multidifusión de la carpeta virtual, mediante el programa de configuración del servidor.

Al solicitar la entrega de multidifusión, un cliente se conecta primero al servidor en el UMS-TCP. El servidor debe autorizar este reproductor y le envía información de grupo de multidifusión para esta emisión particular. El cliente se une a este grupo de multidifusión y recibe paquetes de medios a través de UMS-RTP multicast.

Por desgracia, la multidifusión no funciona a través de Internet en la mayoría de los casos, ya que los ISP públicos no permiten su entrega routers multicast.

III.3) Video y codecs de experimentación

Para el desarrollo de la experimentación, se utilizó un video comercial de 29 segundos [38], el cual se recodificó en 3 codecs de video diferentes:

- H.264/MPEG-4 AVC
- H.263/MPEG-4 Visual (PART 2)
- MPEG-2

los que se describieron oportunamente en el punto II.2

Las configuraciones obtenidas se muestran en las Tablas III.1, III.2 y III.3.

H.264/MPEG-4 AVC	
Coding options	Parameter setting
Video Duration	29 s
Codec Format	MPEG-4
ID Codec	isom
Size file	616 Kib
Bit Rate	169 Kbps
Video	
Codec ID	avc1
Codec ID/Info	Advanced Video Coding
Format	High@L1.1
Bit rate	166 Kbps
Width	176 pixels
Height	164 pixels
Display aspect ratio	1,734
Frame rate mode	Constant
Frame rate	25.000 fps
Color space	YUV
Chroma subsampling	4:2:0
Bit depth	8 bits
Scan type	Progressive
Bits/(Pixel*Frame)	0.231
Stream size	607 KiB (99%)

Tabla III.1 Configuración de los parámetros de H.264/MPEG-4 AVC.

MPEG-4 3gp6	
Coding options	Parameter setting
Video Duration	30 s
Codec Format	MPEG-4
Codec ID	3gp6
Size file	292 Kb
Bit Rate	79.4 Kbps variable
Video	
Codec Format	MPEG-4 Visual
Format settings, Matrix	Default (H.263)
Format	Simple@L0
Bit rate	53.7 Kbps variable
Width	176 pixels
Height	144 pixels
Display aspect ratio	1.222
Frame rate mode	Constant
Frame rate	8.333 fps
Color space	YUV
Chroma subsampling	4:2:0
Bit depth	8 bits
Scan type	Progressive
Bits/(Pixel*Frame)	0.254
Stream size	198 KiB (68%)

Tabla III.2 Configuración de los parámetros de MPEG-4 VISUAL.

MPEG-TS	
Coding options	Parameter setting
Video Duration	29 s
Codec Format	MPEG-TS
ID Codec	TS
Size file	724 Kib
Bit Rate	202 Kbps variable
Video	
Codec ID	MPEG
Codec ID/Info	MPEG-2
Bit rate	192 Kbps variable
Width	176 pixels
Height	160 pixels
Display aspect ratio	1,100
Frame rate mode	Variable
Frame rate	60.000 fps
Color space	YUV
Chroma subsampling	4:2:0
Bit depth	8 bits
Scan type	Progressive
Bits/(Pixel*Frame)	0.113
Stream size	676 KiB (93%)

Tabla III.3 Configuración de los parámetros de MPEG-2.

En las tablas anteriores se muestran los parámetros de cada video en particular. Las líneas de “Coding Options” da las características del contenedor, y las líneas de “Video” da las características propias del video.

Como referencia, es válido indicar que se utilizó una resolución de video relativamente baja, en la línea de formato QCIF (aproximadamente 176*144), para evaluar el comportamiento sobre los enlaces seriales en la medida que crece el número de usuarios finales y si compromete su ancho de banda.

III.4) Software Wireshark

III.4.1 Descripción general

Wireshark es el analizador de redes más popular. Se encuentra disponible de forma gratuita y es una herramienta de código abierto (open source). Wireshark se puede ejecutar en diferentes plataformas y ofrece una herramienta ideal de “primera respuesta” para profesionales de la Tecnología de la Información (IT - Information Technology). [39]

En 1997, el mundo del análisis de redes fue dominado por los analizadores de redes comerciales; sus precios variaban entre 5.000 y 20.000 dólares. El costo era prohibitivo para la mayoría de los técnicos de negocios y de la información. Gerald Combs fue uno de estos técnicos que sentían las limitaciones presupuestarias de las costosas herramientas comerciales. Antes de crear el Ethereal (antecesor de Wireshark), Gerald Combs llevaba constantemente un Sniffer™ portátil a la Universidad de Missouri en Kansas City. El presupuesto limitado de su siguiente trabajo de investigación había limitado sus herramientas a tcpdump y snoop. Decidió crear su propio programa de analizador de red.

Gerald Combs originalmente lanzó su programa analizador de red bajo el nombre de Ethereal™ (versión 0.2.0) el 14 de julio de 1998, aunque las notas de desarrollo originales de Gerald datan de varios meses antes (finales 1997). Cuando Gerald comenzó a trabajar con las tecnologías CACE en junio de 2006, problemas de marca de propiedad del nombre Ethereal forzaron el esfuerzo de su desarrollo a cambiar al nuevo nombre, Wireshark10.

Wireshark es mantenido por una comunidad activa de desarrolladores de todo el mundo.

Wireshark está disponible para numerosos sistemas operativos incluyendo Windows, Apple Mac OS X, Debian GNU/Linux, FreeBSD, Gentoo Linux, HP-UX, Mandriva

Linux, NetBSD, OpenPKG, Red Hat Fedora/Enterprise Linux, rPath Linux, Sun Solaris/i386, Sun Solaris/Sparc y Ubuntu.

Wireshark se lanzó bajo la Licencia Pública General de GNU (General Public License - GPL de GNU).

III.4.2 Captura de paquetes de red cableada o inalámbrica

Cuando se conecta Wireshark a una red cableada o inalámbrica, el tráfico se procesa por la interfaz de la capa de enlace de WinPcap, AirPcap o libpcap, como se presenta en la Figura III.4:

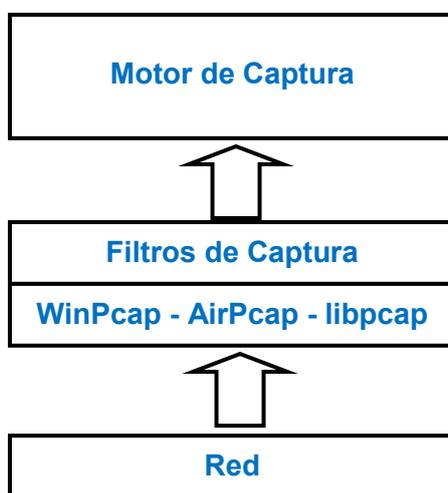


Figura III.3 Proceso para la captura de tráfico.

La biblioteca **libpcap** es la interfaz de la capa de enlace estándar de la industria para capturar tráfico en NIX hosts.

WinPcap es el puerto de Windows para la interfaz de la capa de enlace de libpcap. WinPcap es un driver que proporciona el acceso de red de bajo nivel y la versión de Windows de la API (application damming interface) de libpcap.

AirPcap es una interfaz de la capa de enlace y un adaptador de red para capturar tráfico 802.11 en el sistema operativo Windows. Los adaptadores AirPcap operan en modo pasivo para capturar datos WLAN, de gestión y de control.

III.4.3 Procesamiento de los paquetes

Los archivos de rastreo que se procesan por libpcap, WinPcap o AirPcap se abren con la biblioteca de wiretap se procesan en el motor principal como se muestra en la Figura III.5:

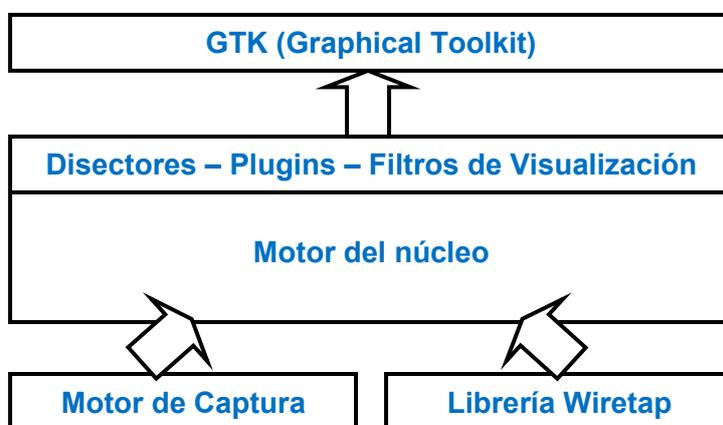


Figura III.4 Elementos para el procesamiento de paquetes.

Los disectores son también denominados decodificadores. Los plugins son rutinas especiales para la disección. Los filtros de visualización son utilizados para definir los paquetes que deben mostrarse. Los disectores, plugins y filtros de visualización se aplican para el tráfico entrante en este momento. Los disectores decodifican los paquetes para mostrar el contenido del campo e interpretan los valores (si está disponible).

El set de herramientas gráficas (Graphical Toolkit - GTK) es el set de herramientas gráficas utilizadas para crear la interfaz gráfica del usuario para Wireshark y ofrece compatibilidad multiplataforma.

III.4.4. Uso de la página de inicio de Wireshark

La página de inicio se agregó a Wireshark al lanzar la versión 1.2.0 y consta de cuatro secciones (Figura III.6):

- Área de captura - Capture Area (1)
- Área de archivos – File Area (2)
- Área en línea (online) – Online Area (3)
- Área de ayuda de captura – Capture Help Area (4)

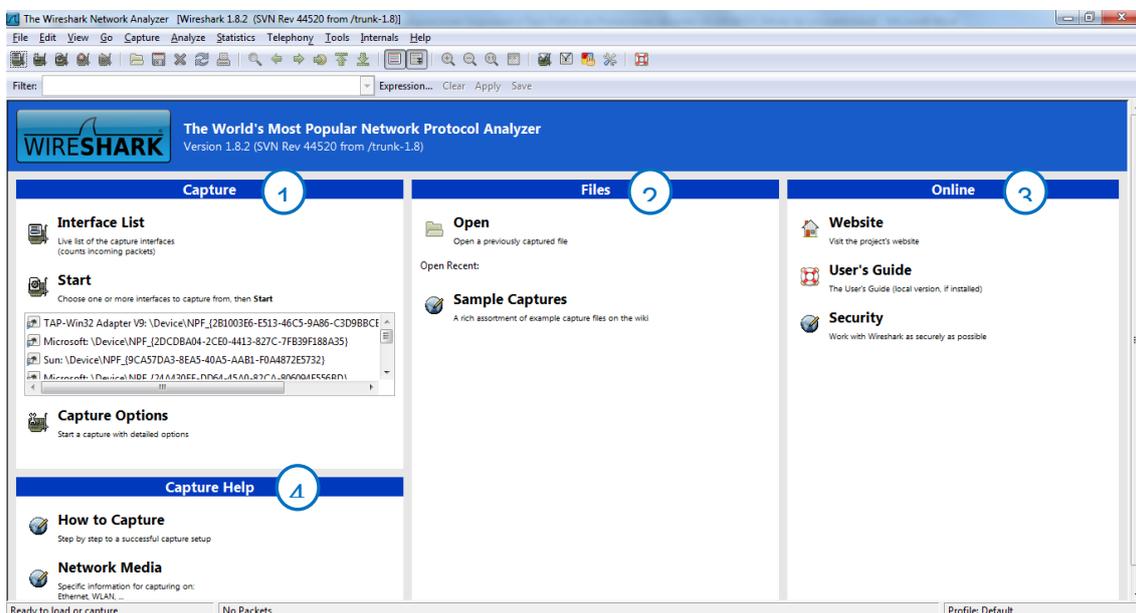


Figura III.5 Página de inicio de Wireshark.

III.4.5 Elementos de la Interfaz Gráfica de Usuario

Al abrir un archivo de rastreo existente o iniciar una sesión de captura, se comienza a trabajar en la ventana principal de Wireshark. Esta ventana contiene nueve secciones distintas, según se presenta en la Figura III.7:

- Título (1)
- Menú (2)
- Barra de herramientas principal (3)

- Barra de herramientas para filtros (4)
- Barra de herramientas para conexiones inalámbricas (wireless) (5)
- Panel que contiene la lista de paquetes (6)
- Panel que contiene los detalles de los paquetes (7)
- Panel que contiene los bytes de los paquetes (8)
- Barra de Estado (9)

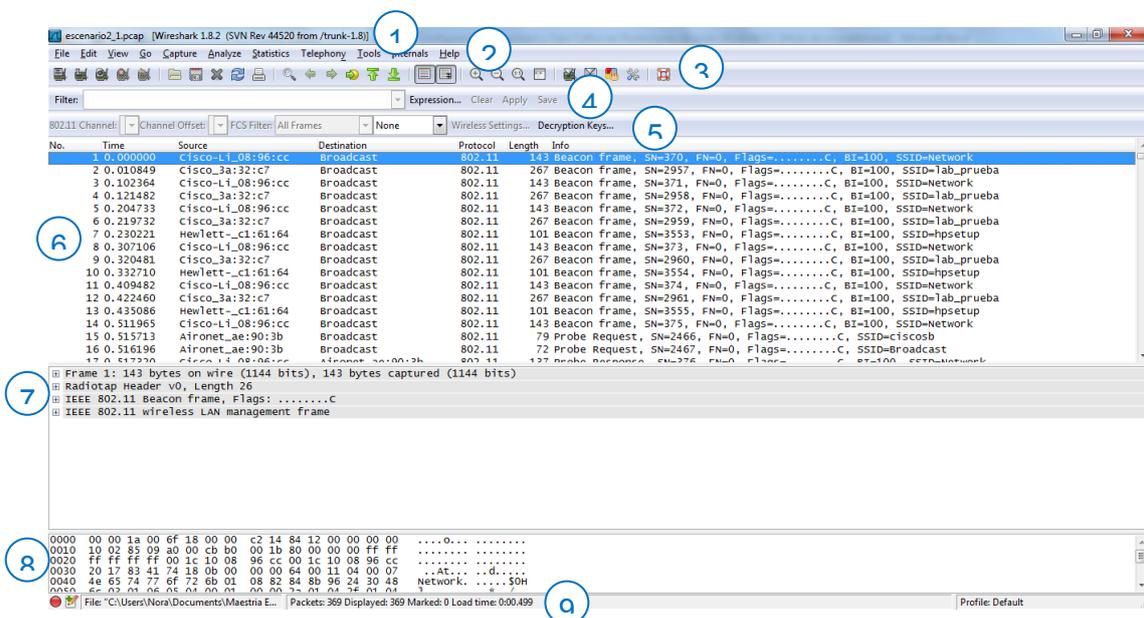


Figura III.6 Vista de Wireshark de un archivo de rastreo guardado.

III.5) Sumario

Se han presentado los principales herramientas y recursos para la realización de las actividades experimentales. Primero se presentó la topología de red utilizada con el hardware asociado. Luego, se presentó el software básico emisor de streaming y su reproductor correspondiente. Se indicaron los archivos fuentes utilizados en la emisión de videos y sus codecs asociados. Finalmente, para la captura de paquetes del tráfico generado se usó el programa Wireshark, que da los archivos de capturas de paquetes en la red, para posteriormente analizarlos y sacar las conclusiones correspondientes.

CAPITULO IV

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este Capítulo se describen los resultados de los experimentos realizados sobre la topología descrita en el capítulo anterior. También se detalla la metodología de inyección y de captura de tráfico establecidas. Para las experimentaciones se utilizó tráfico de video en formato multicast y unicast, con 3 codificaciones distintas. Se analizan distintas métricas de tráfico obtenidas para corroborar y comparar el impacto del tipo de tráfico de video multicast o unicast y del codec utilizado, dado un escenario WAN con su configuración multicast PIM y de routing OSPF.

IV.1) Resultados escenarios de experimentación

Utilizando el test bed detallado en el Capítulo III, se realizaron una serie de experimentos con las siguientes consideraciones y secuencia de pasos comunes:

- a. Se utilizó un archivo de video (descrito en el Capítulo anterior) codificado en 3 formatos distintos (MPEG-4/AVC, MPEG-4 Visual o MPEG-2),
- b. Antes de comenzar las mediciones se sincronizaron en tiempo todos los equipos involucrados en la topología, usando un servidor NTP local.
- c. En una primera instancia, desde el servidor se envió un archivo de video en un codec en particular a la red en formato multidifusión (multicast).
- d. Se repitió el paso anterior, enviando desde el servidor un archivo de video con el mismo codec a la red en formato unidifusión (unicast).
- e. Posteriormente, se cambió a los otros dos codec de video, repitiendo los pasos c y d.

Durante cada ensayo, las mediciones se realizaron capturando tráfico en el servidor y en cada una de las PCs clientes, usando el software sniffer Wireshark [21]. Con este software se generó un archivo con la captura de todas las tramas, para cada ensayo, como se muestra en la Figura IV.1. Con este archivo se dispone de toda la información

de cada una de las tramas capturadas durante el ensayo, como el día y hora exacta de la captura de cada trama, las direcciones MAC e IP origen y destino, el protocolo de capa de transporte y/o de aplicación, el tamaño de trama, etc.

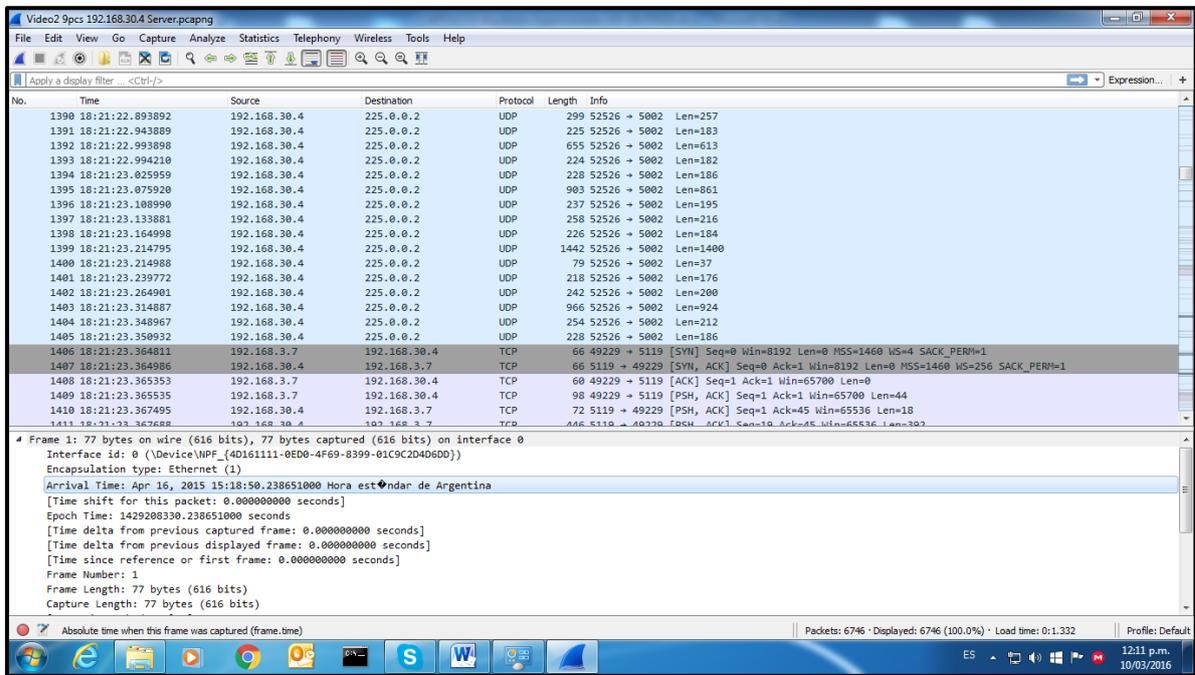


Figura IV.1 Captura de tráfico en Wireshark.

Posteriormente, se procesó cada archivo para obtener, para cada una de las mediciones efectuadas, las métricas definidas en el punto II.3.5.

Teniendo en cuenta los detalles especificados anteriormente, se adoptaron 4 Escenarios de experimentación:

1. Topología de la Figura III.1, en la que se emite desde el servidor y se recibe solamente en 3 clientes (PC2-1, PC0-1 y PC3-1).
2. Topología de la Figura III.1, en la que se emite desde el servidor y se recibe solamente en 6 clientes (PC1-1, PC2-1, PC0-1, PC0-2, PC3-1 y PC4-1).

3. Topología de la Figura III.1, en la que se emite desde el servidor y se recibe en solamente en 9 clientes (PC1-1, PC2-1, PC2-2, PC0-1, PC0-2, PC0-3, PC3-1, PC3-2 y PC4-1).
4. Topología de la Figura III.1, en la que se emite desde el servidor y se recibe en todos los clientes, y se consideran solamente algunas métricas, para tener un universo mayor para la consideración del ancho de banda en los enlaces.

A partir de las mediciones realizadas y al análisis de los resultados, se observó que algunas de las métricas de tráfico no difieren sustancialmente entre los Escenarios. Por ello, en los apartados posteriores se efectuará un análisis de los resultados específicos que dependan de los Escenarios 1 y 2, en profundidad en el Escenario 3, y algunas métricas para el escenario 4.

IV.2) Resultados obtenidos con tráfico Multicast

IV.2.1 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 1

En este punto se plantean los resultados obtenidos de la experimentación con el Escenario 1, en el que se emite un archivo de video en formato multicast desde el servidor, con un codec específico cada vez, y se recibe en 3 PCs clientes.

La Tabla IV.1 resume las métricas obtenidas, solamente de la información del tráfico de video puro. No se considera otro tipo de tráfico presente en la red, como los paquetes de intercambio de protocolos internos de la red, como OSPF (el protocolo de ruteo unicast), PIM (protocolo de ruteo multicast), y algún otro como STP, ARP, etc.

En dicha tabla se muestran las métricas obtenidas para cada codec en particular, medidas en el tráfico de video transmitido por el servidor y en el tráfico de video recibido en cada PC cliente. Al final de la Tabla se muestran los promedios en valores netos, y los porcentajes globales y relativos.

Se observa que independientemente del punto de medición utilizado, los valores son prácticamente constantes y aproximadamente iguales para un codec en particular.

	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
Server	MPEG-4AVC	29,7502	906	0,70405	777,11	0,0317	0,18932
	MPEG-4 V	29,9745	913	0,38192	415,62	0,0323	0,10193
	MPEG-2	29,2765	608	0,69526	1142,15	0,0447	0,18998
PC2-1	MPEG-4AVC	29,7514	906	0,70405	777,11	0,0313	0,18932
	MPEG-4 V	29,9732	913	0,38196	412,52	0,0312	0,10195
	MPEG-2	29,2725	608	0,69526	1141,99	0,0446	0,19001
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7531	906	0,70410	776,85	0,0313	0,18932
	MPEG-4 V	29,9741	913	0,38192	416,25	0,0313	0,10193
	MPEG-2	29,2749	608	0,69530	1141,10	0,0434	0,19001
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7516	906	0,70405	776,59	0,0314	0,18932
	MPEG-4 V	29,9746	913	0,38192	415,33	0,0313	0,10193
	MPEG-2	29,2751	608	0,69530	1142,29	0,0439	0,19001
Promedio	MPEG-4AVC	29,7516	906	0,7041	776,9148	0,0314	0,1893
	MPEG-4 V	29,9741	913	0,3819	414,9320	0,0315	0,1019
	MPEG-2	29,2748	608	0,6953	1141,8778	0,0441	0,1900
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,43%	37,33%	39,53%	33,29%	29,36%	39,34%
	MPEG-4 V	33,68%	37,62%	21,44%	17,78%	29,43%	21,18%
	MPEG-2	32,89%	25,05%	39,03%	48,93%	41,21%	39,48%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,26%	99,23%	100,00%	68,04%	71,25%	99,64%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,25%	36,34%	71,43%	53,65%
	MPEG-2	97,67%	66,59%	98,75%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.1 Resumen de las mediciones multicast para Escenario 1.

Por lo expuesto, y dado que estos valores se mantienen independientemente del Escenario utilizado, el análisis en detalle se realiza en el Escenario 3.

IV.2.2 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 2

En este apartado, se plantean los resultados obtenidos de la experimentación con el Escenario 2. En este caso, se emite un archivo de video desde el servidor, en formato multicast y con un codec específico cada vez, y se recibe en 6 PCs clientes.

La Tabla IV.2 resume las métricas que fueron capturadas, solamente de la información del tráfico de video puro. No se considera otro tipo de tráfico presente en la red, como los paquetes de intercambio de protocolos internos de la red, como OSPF (el protocolo de ruteo unicast), PIM (protocolo de ruteo multicast), y algún otro como STP, ARP, etc.

Como en el Escenario 1, la Tabla muestra las métricas obtenida para cada codec en particular, medidos en el tráfico transmitido por el servidor y el tráfico recibido en cada PC cliente. También se muestran los promedios en valores netos, y los porcentajes globales y relativos.

En este Escenario se reitera la independencia del punto de medición utilizado, dado que los valores de las métricas son prácticamente constantes y aproximadamente iguales para un codec en particular. Y por lo tanto, en el apartado de la experimentación sobre el Escenario 3 se efectuará el análisis en detalle.

	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
Server	MPEG-4AVC	29,7109	906	0,70405	777,10	0,0319	0,18957
	MPEG-4 V	29,9737	913	0,38192	418,31	0,0338	0,10193
	MPEG-2	29,2756	608	0,69526	1143,51	0,0443	0,18999
PC1-1	MPEG-4AVC	29,7102	906	0,70405	777,10	0,0314	0,18958
	MPEG-4 V	29,9725	914	0,38196	402,89	0,0312	0,10195
	MPEG-2	29,2746	608	0,69526	1143,51	0,0449	0,19000
PC2-1	MPEG-4 AVC	29,7099	907	0,70410	776,30	0,0311	0,18959
	MPEG-4 V	29,9733	913	0,38192	418,31	0,0310	0,10194
	MPEG-2	29,2747	609	0,69530	1141,71	0,0443	0,19001
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7078	906	0,70405	777,10	0,0315	0,18959
	MPEG-4 V	29,9819	913	0,38192	418,31	0,0319	0,10191
	MPEG-2	29,2730	609	0,69530	1141,71	0,0461	0,19002
PC4-1	MPEG-4 AVC	29,7099	906	0,70405	777,10	0,0324	0,18958
	MPEG-4 V	29,9730	914	0,38196	417,90	0,0311	0,10195
	MPEG-2	28,9142	598	0,68141	1139,48	0,0444	0,18853
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7094	907	0,70410	776,30	0,0320	0,18960
	MPEG-4 V	29,9729	914	0,38196	417,90	0,0322	0,10195
	MPEG-2	29,2745	609	0,69530	1141,71	0,0476	0,19001
PC0-2	MPEG-4 AVC	29,7096	907	0,70410	776,30	0,0322	0,18960
	MPEG-4 V	29,9730	914	0,38196	417,90	0,0322	0,10195
	MPEG-2	29,2744	609	0,69530	1141,71	0,0476	0,19001
Promedio	MPEG-4AVC	29,7097	906	0,70407	776,76	0,0318	0,18959
	MPEG-4 V	29,9743	914	0,38194	415,93	0,0319	0,10194
	MPEG-2	29,2230	607	0,69330	1141,91	0,0456	0,18979
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,42%	37,35%	39,57%	33,27%	29,09%	39,39%
	MPEG-4 V	33,71%	37,64%	21,47%	17,82%	29,20%	21,18%
	MPEG-2	32,87%	25,01%	38,96%	48,91%	41,70%	39,43%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,12%	99,22%	100,00%	68,02%	69,76%	99,89%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,25%	36,42%	70,03%	53,71%
	MPEG-2	97,49%	66,46%	98,47%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.2 Resumen de las mediciones multicast para Escenario 2.

IV.2.3 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 3

En este punto se plantean los resultados obtenidos de la experimentación con el Escenario 3, en el que se emite un archivo de video desde el servidor, en formato multicast y un codec específico cada vez, y se recibe en 9 PCs clientes. La Tabla IV.3 resume las mediciones que fueron capturadas, solamente de la información del tráfico de video puro. No se considera otro tipo de tráfico presente en la red.

	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
Server	MPEG-4AVC	29,7086	906	0,70405	777,10	0,0314	0,18959
	MPEG-4 V	29,9801	913	0,38192	418,31	0,0276	0,10191
	MPEG-2	29,2806	608	0,69526	1143,51	0,0444	0,18996
PC1-1	MPEG-4AVC	29,7075	906	0,70405	777,10	0,0308	0,18960
	MPEG-4 V	29,9797	913	0,38192	417,90	0,0310	0,10191
	MPEG-2	29,2796	608	0,69526	1143,51	0,0460	0,18996
PC2-1	MPEG-4AVC	29,7076	906	0,70405	777,10	0,0319	0,18960
	MPEG-4 V	29,9800	913	0,38192	417,90	0,0317	0,10191
	MPEG-2	29,2798	608	0,69526	1143,51	0,0451	0,18996
PC2-2	MPEG-4AVC	29,7073	906	0,70405	777,10	0,0325	0,18960
	MPEG-4 V	29,9797	913	0,38192	417,90	0,0316	0,10191
	MPEG-2	29,2796	608	0,69526	1143,51	0,0464	0,18996
PC3-1	MPEG-4AVC	29,7056	906	0,70405	777,10	0,0327	0,18961
	MPEG-4 V	29,9798	913	0,38192	417,90	0,0320	0,10191
	MPEG-2	29,2780	608	0,69526	1143,51	0,0456	0,18997
PC3-2	MPEG-4AVC	29,7059	906	0,70405	777,10	0,0313	0,18961
	MPEG-4 V	29,9796	913	0,38192	417,90	0,0314	0,10191
	MPEG-2	29,2782	608	0,69526	1143,51	0,0444	0,18997
PC4-1	MPEG-4AVC	29,7075	906	0,70405	777,10	0,0329	0,18960
	MPEG-4 V	29,9795	913	0,38192	418,31	0,0326	0,10191
	MPEG-2	29,2796	608	0,69526	1143,51	0,0463	0,18996
PC0-1	MPEG-4AVC	29,7073	906	0,70405	777,10	0,0307	0,18960
	MPEG-4 V	29,9818	913	0,38192	418,31	0,0329	0,10191
	MPEG-2	29,2795	608	0,69526	1141,71	0,0453	0,18996
PC0-2	MPEG-4AVC	29,7071	906	0,70405	777,10	0,0307	0,18960
	MPEG-4 V	29,9800	913	0,38192	418,31	0,0328	0,10191
	MPEG-2	29,2793	608	0,69526	1141,71	0,0453	0,18997
PC0-3	MPEG-4AVC	29,7082	906	0,70405	777,10	0,0307	0,18959
	MPEG-4 V	29,9806	913	0,38192	418,31	0,0329	0,10191
	MPEG-2	29,2804	608	0,69526	1141,71	0,0453	0,18996
Promedio	MPEG-4AVC	29,7072	906	0,70405	777,10	0,0316	0,18960
	MPEG-4 V	29,9801	913	0,38192	418,11	0,0316	0,10191
	MPEG-2	29,2795	608	0,69526	1142,97	0,0454	0,18996
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,39%	37,33%	39,53%	33,24%	29,06%	39,38%
	MPEG-4 V	33,70%	37,62%	21,44%	17,88%	29,13%	21,17%
	MPEG-2	32,91%	25,05%	39,03%	48,88%	41,81%	39,45%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,09%	99,23%	100,00%	67,99%	69,49%	99,81%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,25%	36,58%	69,67%	53,65%
	MPEG-2	97,66%	66,59%	98,75%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.3 Resumen de las mediciones multicast en Escenario 3.

A continuación, en los apartados posteriores, y a partir de esta Tabla, se analizan en más detalle las métricas obtenidas:

IV.2.3.1 Número de paquetes

Se analiza el número de paquetes emitidos por el servidor y recibidos en cada cliente para cada archivo de video en forma individual.

Se considera el tráfico de video únicamente, de acuerdo a la Tabla IV.3. No se incluye los paquetes de otro tráfico existente en la red, ya que el mismo es variable en cada enlace de la topología, y no afecta el estudio que se considera, ya que sólo interesa el tráfico extremo a extremo para el presente análisis

El número de paquetes para cada video que se transmiten por el servidor y se reciben en cada PC, son prácticamente los mismos para un codec en particular y en diferentes PCs, como se muestra en la Figura IV.2.

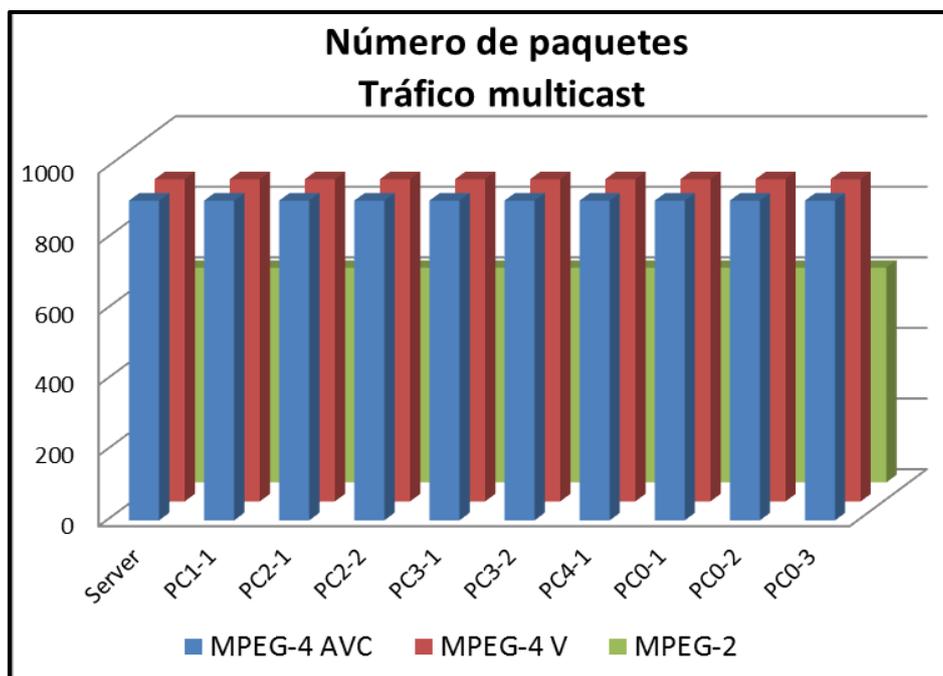


Figura IV.2 Número de paquetes por PC.

Sin embargo, hay una diferencia notable en el número de paquetes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec, como se muestra en las Figuras IV.3 y IV.4.

MPEG-4 Visual es el que utiliza la mayor cantidad de paquetes, con poca diferencia respecto a MPEG-4 AVC (un 0,77% menos); mientras que en el caso de MPEG-2, el número de paquetes es mucho menor (un 33,41% menos), como se describe en la Figura IV.5, desde el porcentaje relativo al número mayor de paquetes.

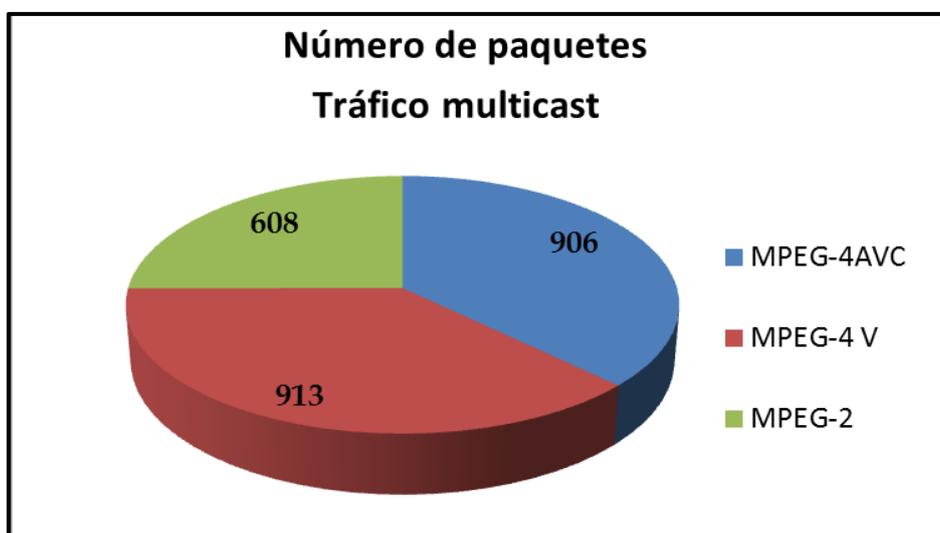


Figura IV.3 Número de paquetes promedio por codec.

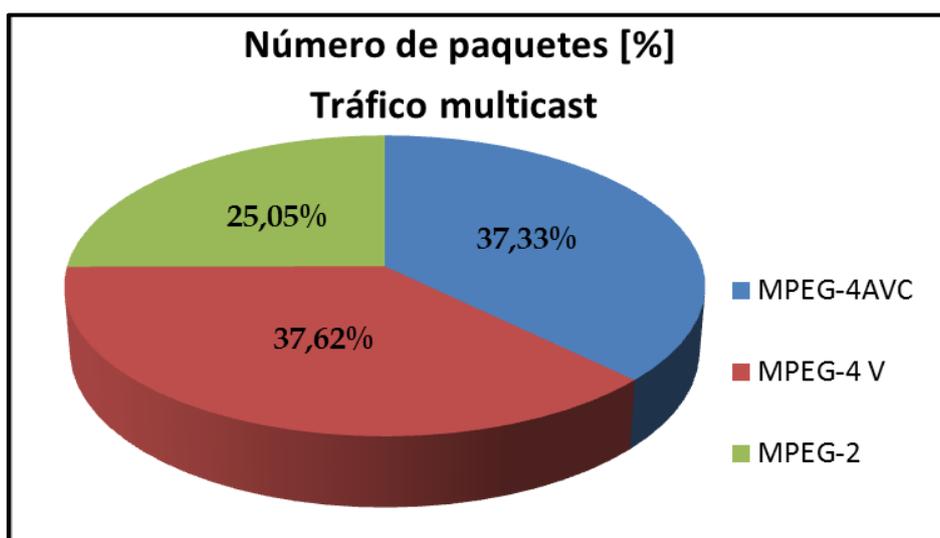


Figura IV.4 Número de paquetes promedio porcentual por codec.

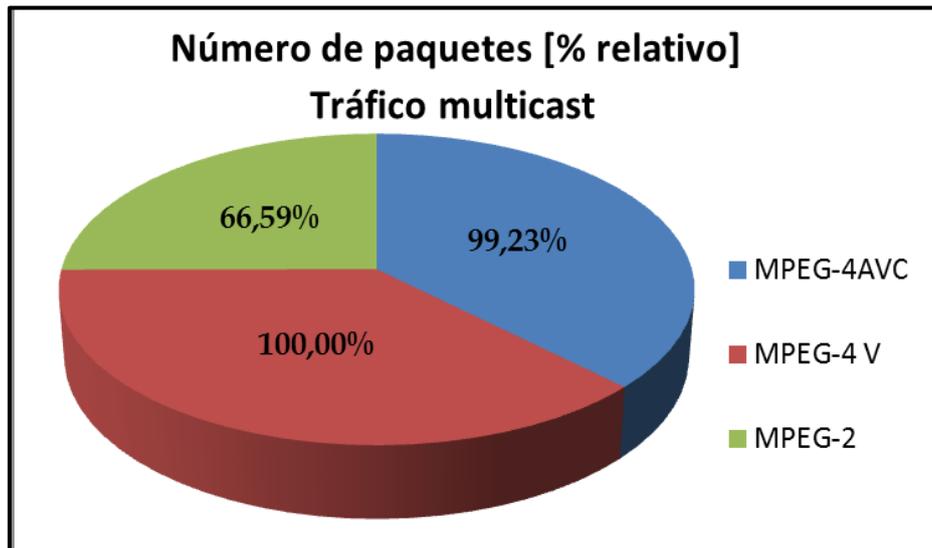


Figura IV.5 Número de paquetes promedio porcentual relativo por codec

IV.2.3.2 Número de bytes

Se analiza la cantidad de bytes emitidos por el servidor y recibidos en cada cliente para cada archivo de video en forma individual.

Se considera el tráfico de video únicamente, de acuerdo a la Tabla IV.3. No se incluye los paquetes de otro tráfico existente en la red, ya que el mismo es variable en cada enlace de la topología, y no afecta el estudio que se considera, ya que sólo interesa el tráfico extremo a extremo para el presente análisis

El número de bytes correspondientes a cada video que se transmiten por el servidor y se reciben en cada PC son virtualmente los mismos para un codec en particular y en diferentes PCs, como se muestra en la Figura IV.6.

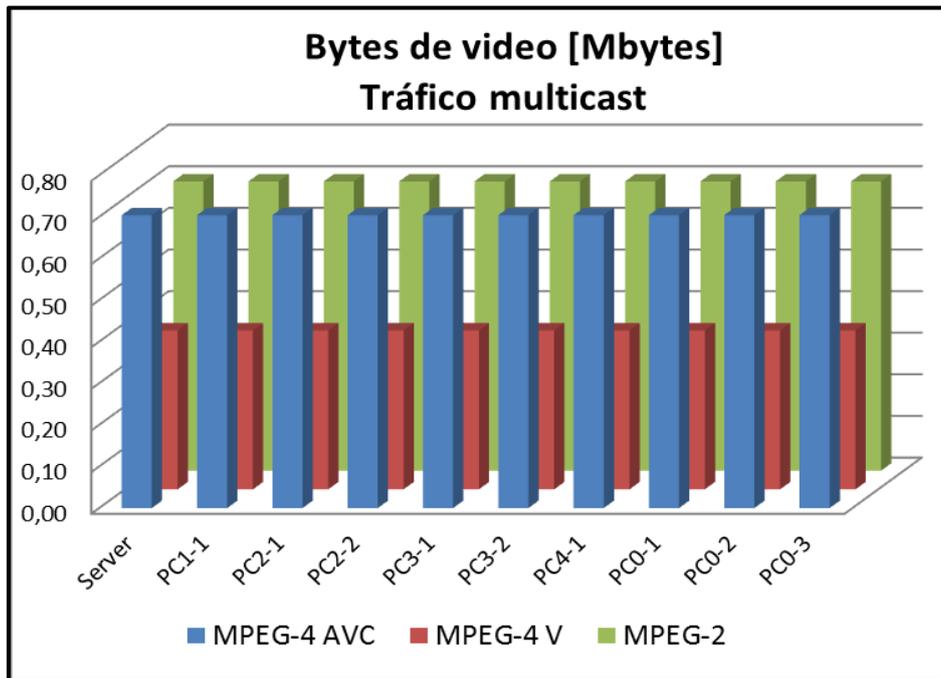


Figura IV.6 Mbytes de Video por PC.

Pero, hay diferencias importantes en la cantidad de bytes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec, como se muestra en las Figuras IV.7 y IV.8.

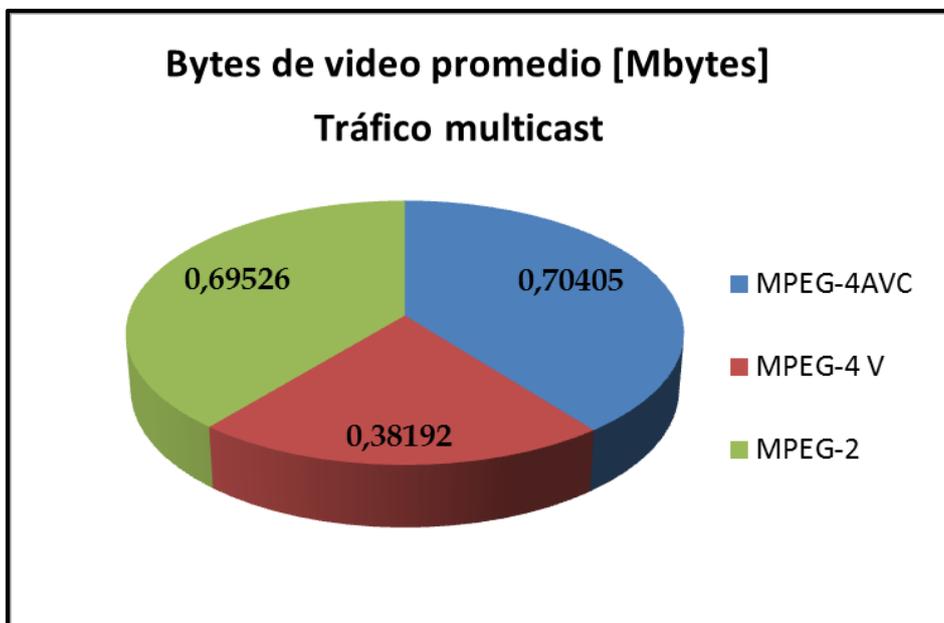


Figura IV.7 Mbytes de video promedio por codec.

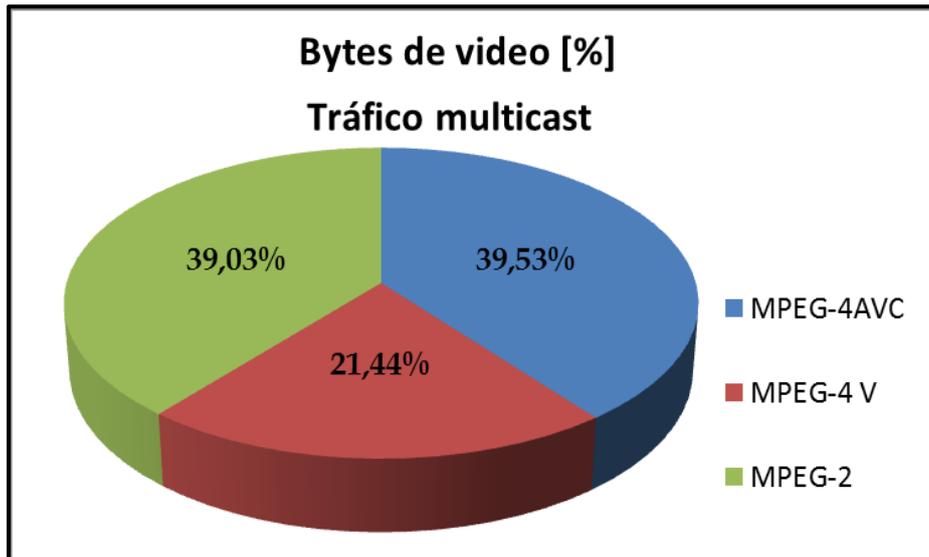


Figura IV.8 Mbytes de video promedio porcentual por codec.

Como en el caso anterior del número total de paquetes, MPEG-4 AVC es el que transmite más cantidad de bytes (o utiliza un archivo de mayor tamaño); hay poca diferencia respecto a MPEG-2 (1,25% menos). En el caso de MPEG-4 Visual, el número de bytes es mucho menor (un 45,75% menos), como se describe en la Figura IV.9, presentando el porcentaje relativo al número mayor de bytes.

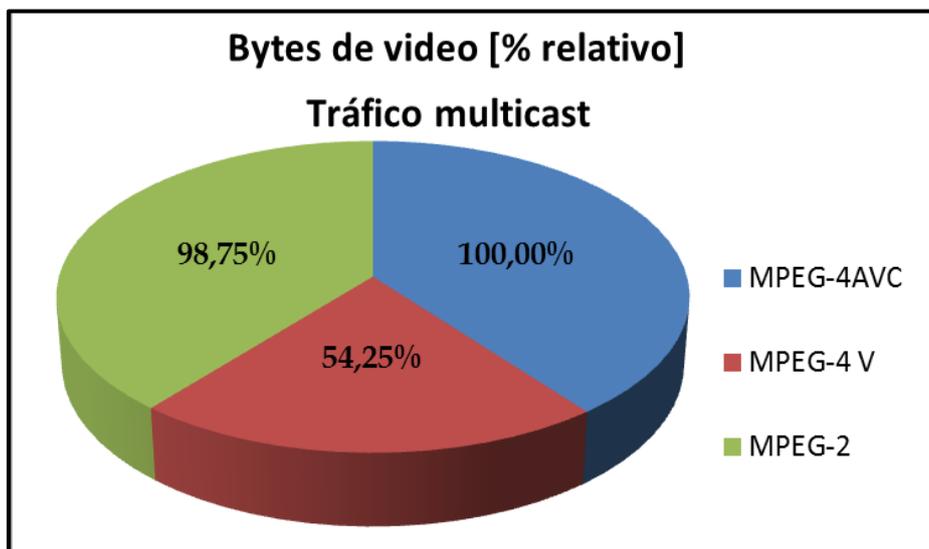


Figura IV.9 Mbytes de video promedio porcentual relativo por codec.

También se pudo analizar el número total de bytes que se existe en cada captura, para tener en cuenta que hay otro tráfico en la red, que no es el de video, como se explica en el Capítulo III.

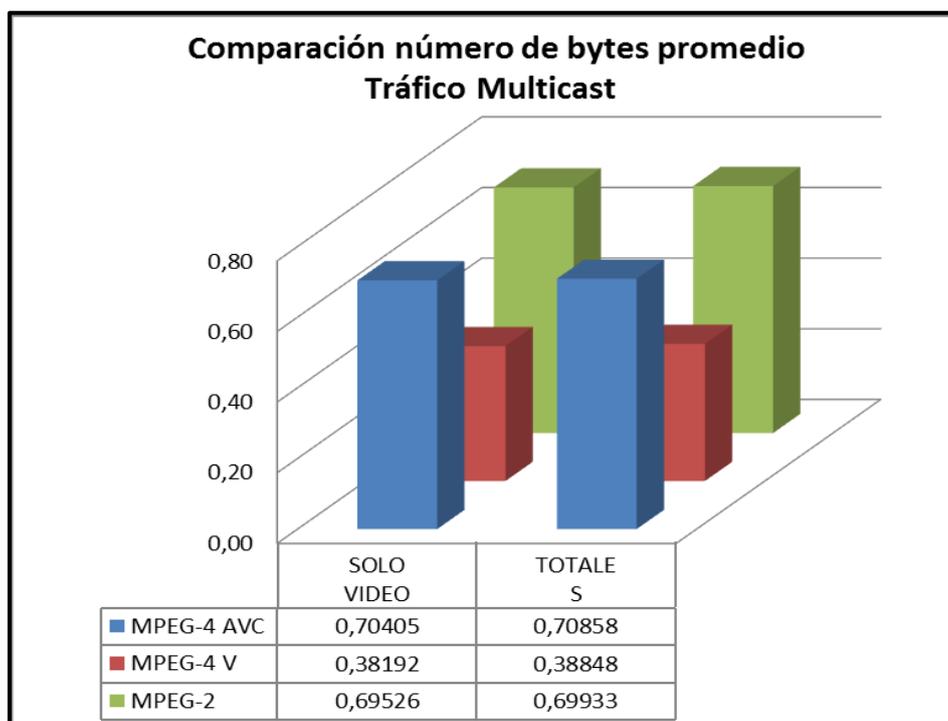


Figura IV.10 Mbytes de video vs Mbytes totales por codec.

En la Figura IV.10 se grafica un promedio registrado por codec del tráfico de video versus el tráfico total capturado. Se aprecia que la diferencia es muy baja, ya que el tráfico adicional es casi despreciable.

IV.2.3.3 Tamaño de paquete promedio

Se analiza el tamaño de paquetes emitidos por el servidor y recibidos en cada cliente para cada archivo de video en forma individual.

Se considera el tráfico de video únicamente, de acuerdo a la Tabla IV.3. No se incluye los paquetes de otro tráfico existente en la red, ya que el mismo es variable en cada enlace de la topología, y no afecta el estudio que se considera, ya que sólo interesa el tráfico extremo a extremo para el presente análisis

Con respecto al tamaño promedio de los paquetes que se transmiten por el servidor y se reciben en cada PC, se observa que son prácticamente los mismos para un codec en particular y en diferentes PCs, como se muestra en la Fig. IV.11.

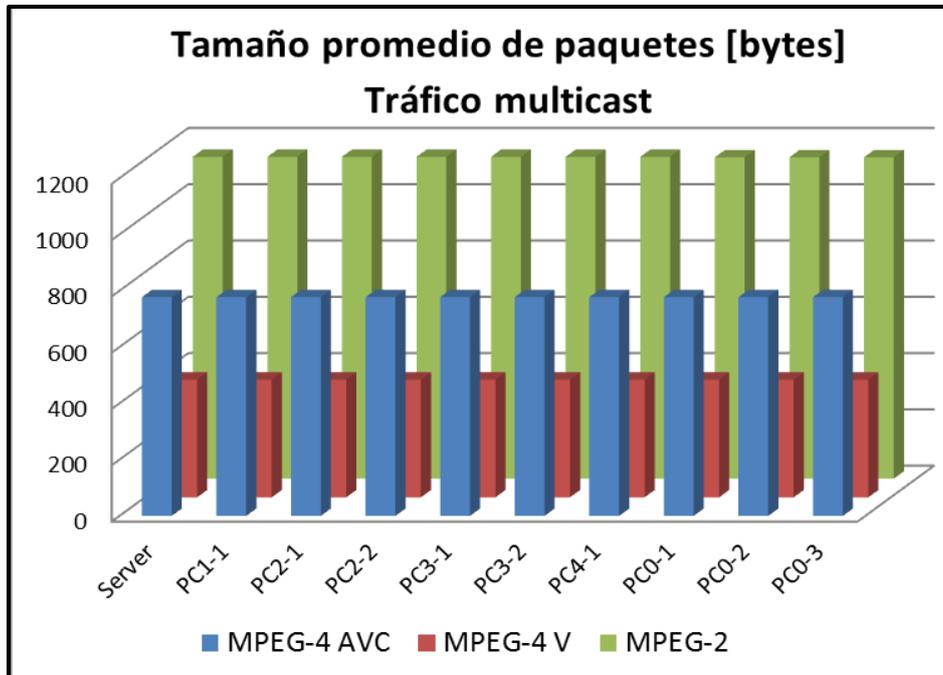


Figura IV.11 Tamaño de paquete promedio (bytes) por PC.

Sin embargo, hay diferencias notables en el tamaño de paquetes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec, lo que se observa en las Figuras IV.12 y IV.13.

En este caso, MPEG-2 es el codec que tiene el mayor tamaño de paquetes, con una diferencia importante respecto a MPEG-4 AVC (32,01% menos). Mientras que en el caso de MPEG-4 Visual, el tamaño es un 63,42% menos, como se describe en la Figura IV.14, expresado como porcentaje relativo al tamaño promedio mayor de paquetes.

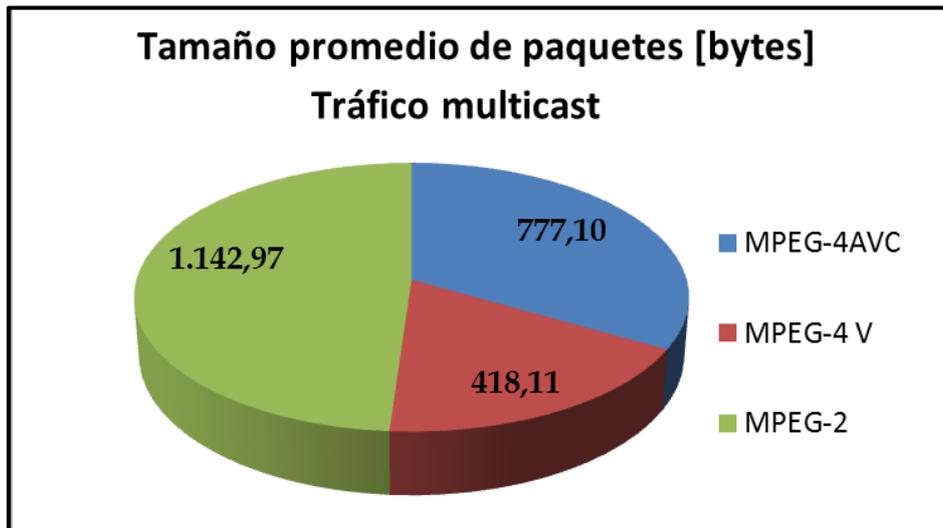


Figura IV.12 Tamaño de paquete promedio (bytes) por codec.

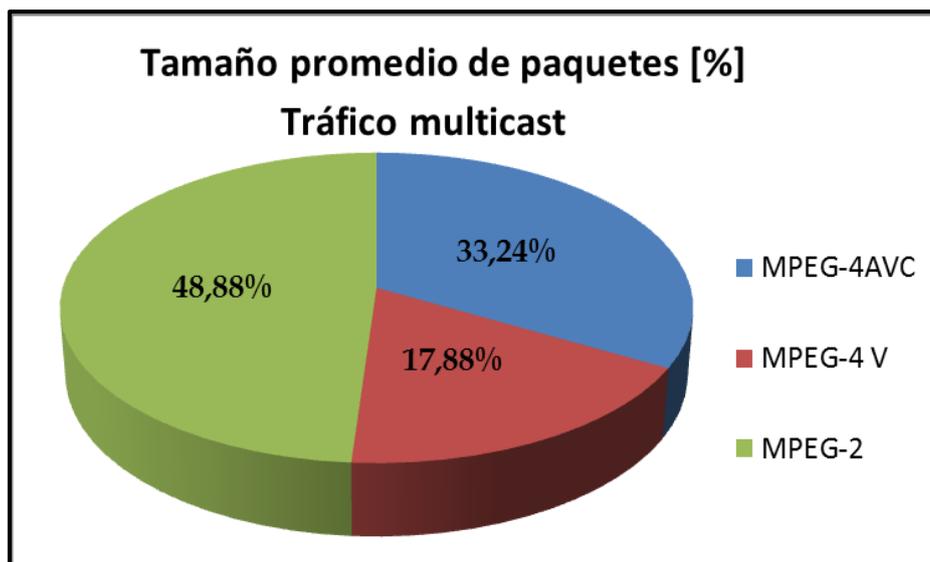


Figura IV.13 Tamaño de paquete promedio porcentual por codec.

IV.2.3.4 Cantidad de errores

Después de analizar la cantidad de paquetes y cantidad de bytes transmitidos y recibidos por la topología de la red, se pueden analizar los posibles errores introducidos por la red.

Se considera el tráfico de video únicamente, de acuerdo a la Tabla IV.3. No se incluye los paquetes de otro tráfico existente en la red, ya que el mismo es variable en cada

enlace de la topología, y no afecta el estudio que se considera, ya que sólo interesa el tráfico extremo a extremo para el presente análisis.

Al observar las tablas de mediciones de los 3 escenarios (IV.1, IV.2 y IV.3), se aprecia que para cada cliente receptor la cantidad de paquetes y la cantidad de bytes recibidos son exactamente iguales a la cantidad de paquetes y bytes emitidos por el servidor, por lo que se puede afirmar que la topología usada en los 3 escenarios, y con las condiciones descritas, está libre de errores, o con una tasa de error igual a 0 (cero).

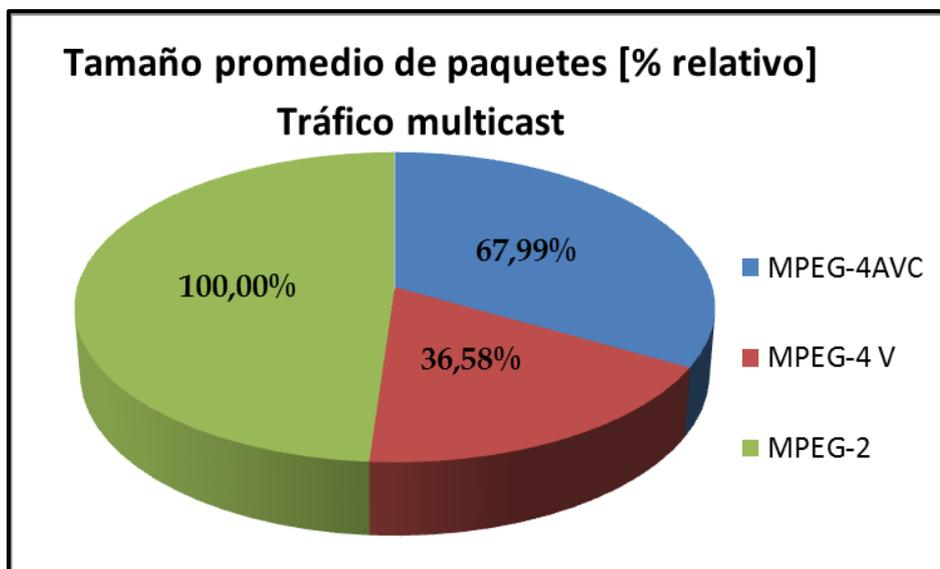


Figura IV.14 Tamaño de paquete promedio porcentual relativo por codec

IV.2.3.5 Espacio intertrama promedio

Otro parámetro importante es el promedio de tiempo entre tramas de paquetes que se transmiten por el servidor y se reciben en cada PC, característica conocida como espacio intertrama (interframe space). Son bastante similares para un codec en particular y en diferentes PCs, como se muestra en la Figura IV.15.

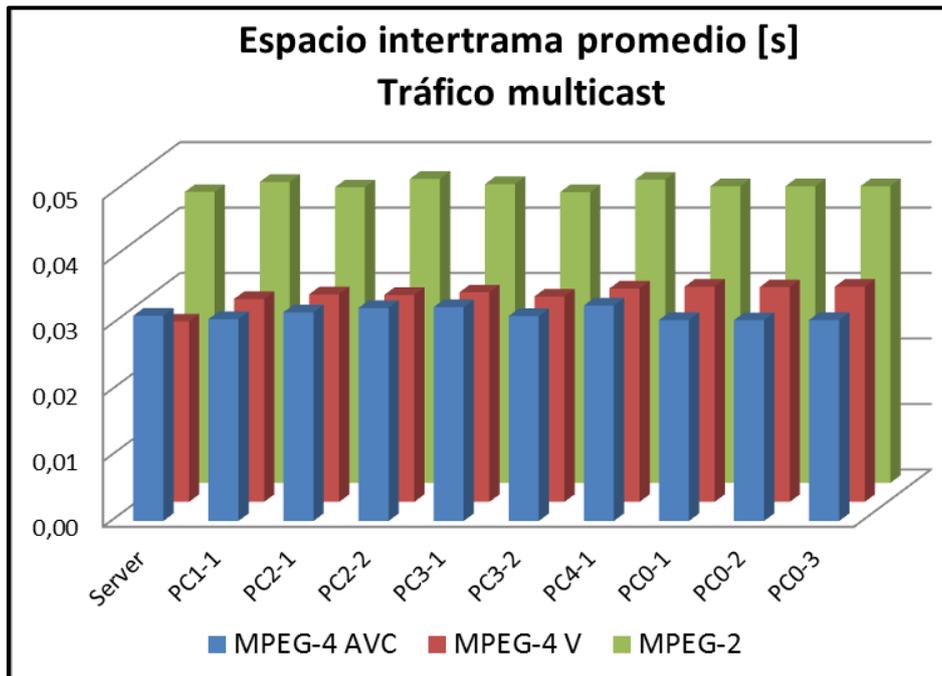


Figura IV.15 Espacio intertrama promedio por PC.

Sin embargo, hay diferencias en el tiempo pasado entre paquetes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec. Esta característica se presenta en las Figuras IV.16 y IV.17.

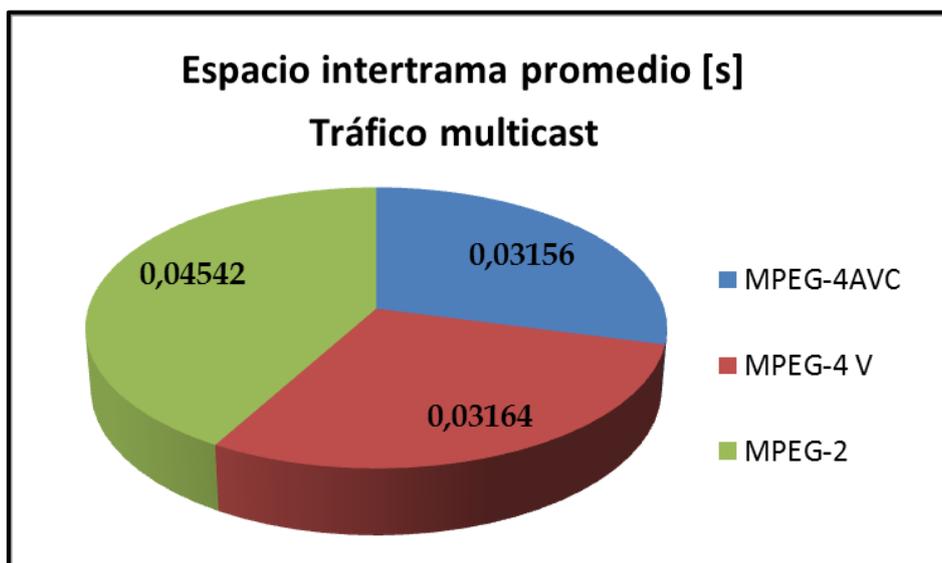


Figura IV.16 Espacio intertrama promedio por codec.

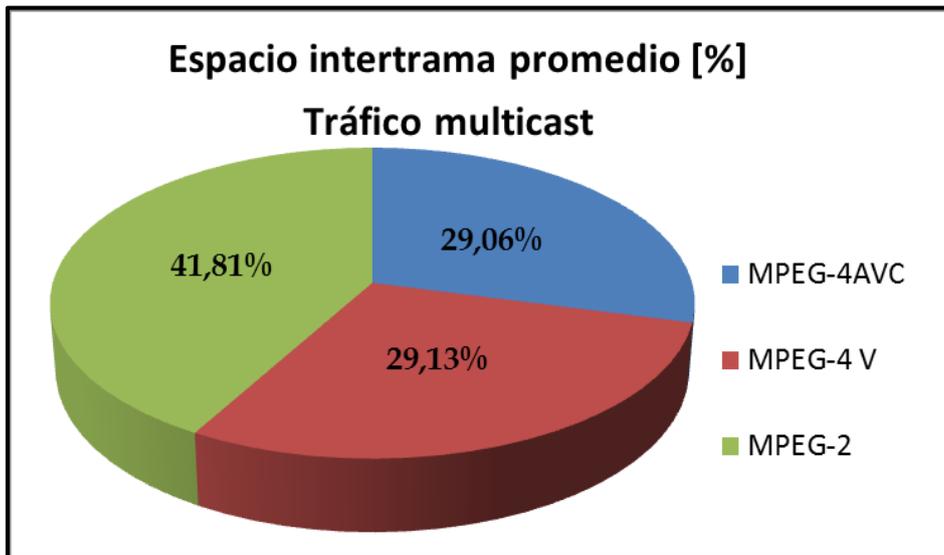


Figura IV.17 Espacio intertrama promedio porcentual por códec.

Igual que en el punto anterior, MPEG-2 es el códec que tiene el mayor espacio intertrama, con una diferencia muy similar con respecto a los otros códecs del orden del 30% menos. Esto se presenta en la Figura IV.18 como porcentaje relativo al tiempo promedio mayor.

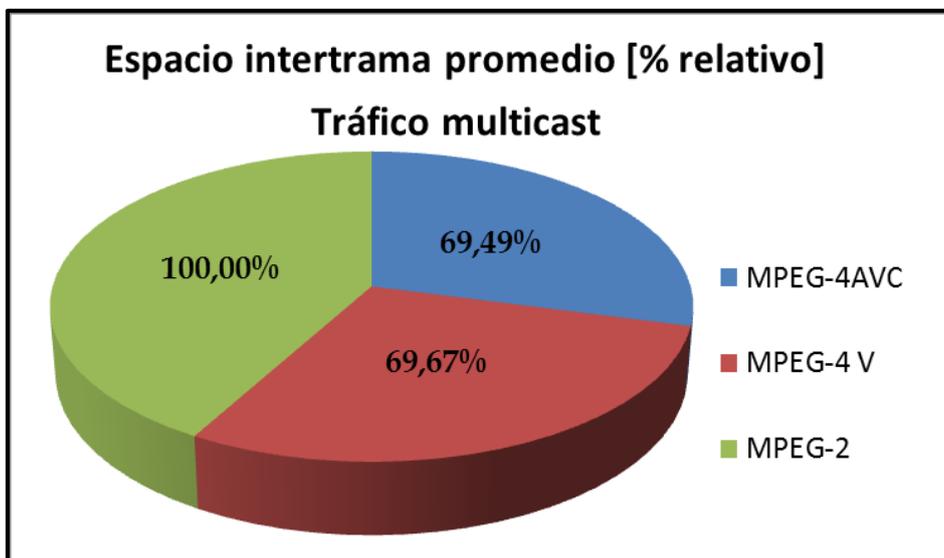


Figura IV.18 Espacio intertrama promedio porcentual relativo por códec.

IV.2.3.6 Velocidad de transmisión promedio

Se analizó también la tasa promedio de transmisión entre el servidor y cada una de las PCs. Los valores son prácticamente los mismos para un codec en particular, como se muestra en la Figura IV.19.

Sin embargo, hay diferencias de velocidad entre diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec, mostrado en la Figura IV.20 y IV.21. De acuerdo a lo observado en las Figuras, MPEG-2 es el codec que tiene la mayor tasa de bits, con una diferencia ínfima con MPEG-4 AVC (de 0,19%); mientras que MPEG-4 V necesita una tasa de bits del 46,35% menos, como se describe en la Figura IV.22.

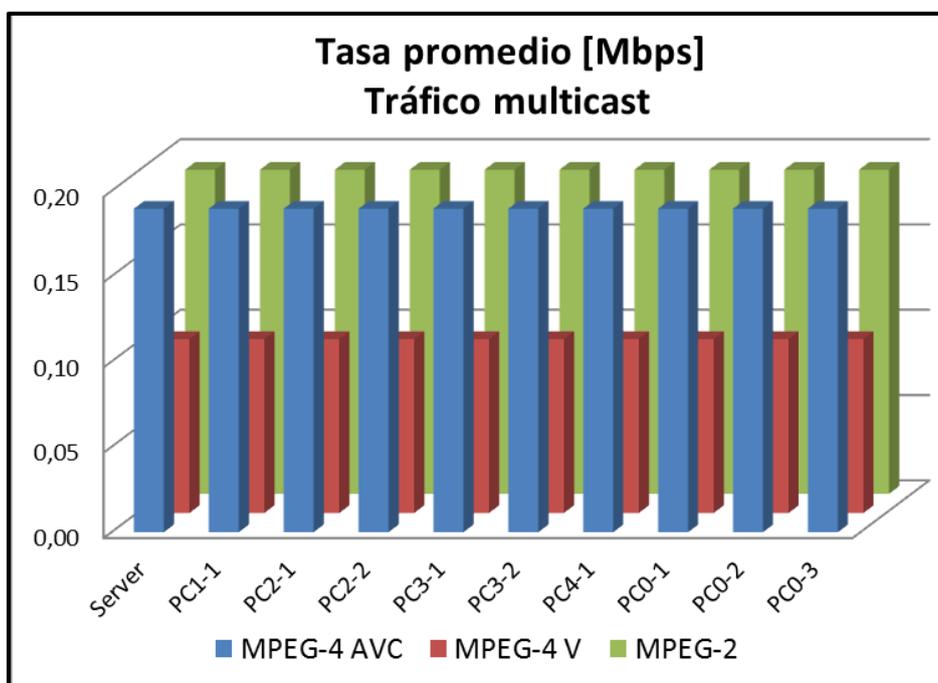


Figura IV.19 Tasa de bits (Mbps) por PC.

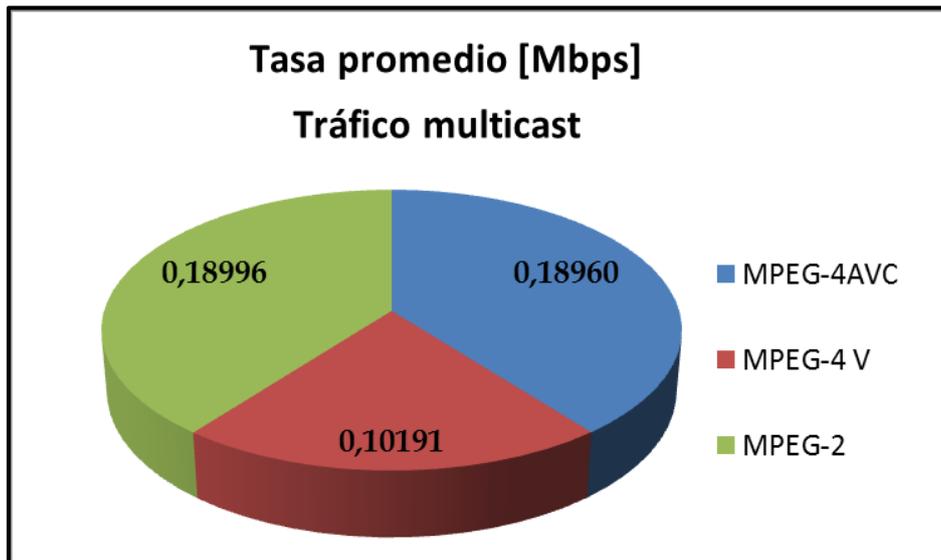


Figura IV.20 Tasa de bits (Mbps) promedio por codec.

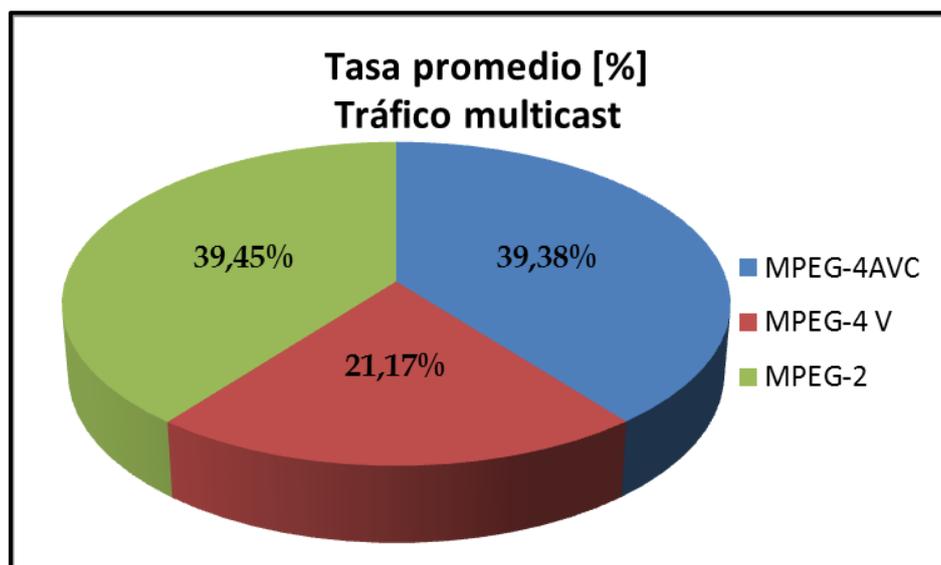


Figura IV.21 Tasa de bits promedio porcentual por codec.

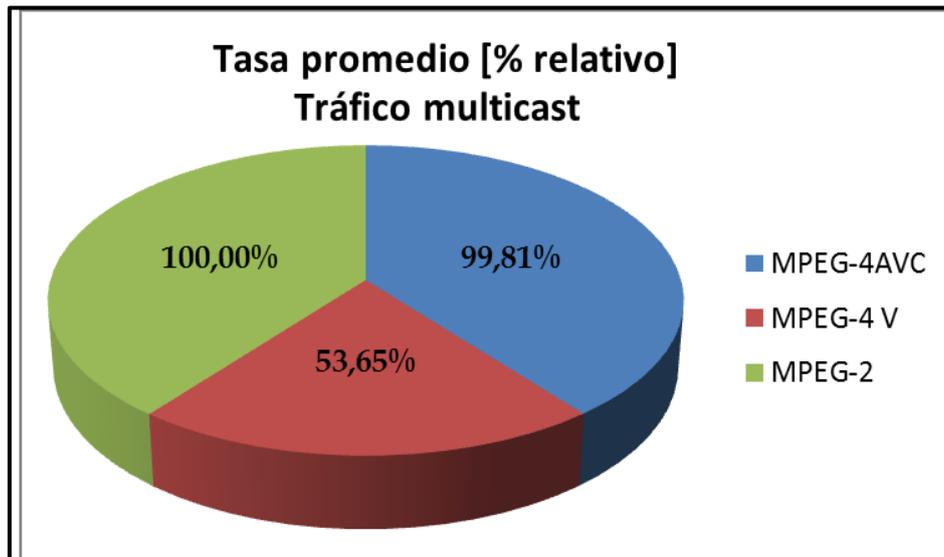


Figura IV.22 Tasa de bits promedio porcentual relativo por codec.

IV.2.4 Distribuciones estadísticas básicas de los codecs para tráfico multicast

También se analizaron las distribuciones estadísticas de tamaños de trama y de espacios entre tramas para cada codec de vídeo, del tráfico multicast que se emite desde el servidor.

IV.2.4.1 Distribución estadística del codec MPEG-4 AVC

En las Figuras a continuación se muestran la distribución de los 906 paquetes agrupados por tamaño y espacios entre tramas para MPEG-4 AVC.

En la Figura IV.23, se muestra la distribución en el tiempo del tamaño de tramas por orden de llegada, donde los tamaños varían entre 150 y 1.440 bytes. Se observa que hay una diversidad de tamaños de tramas.

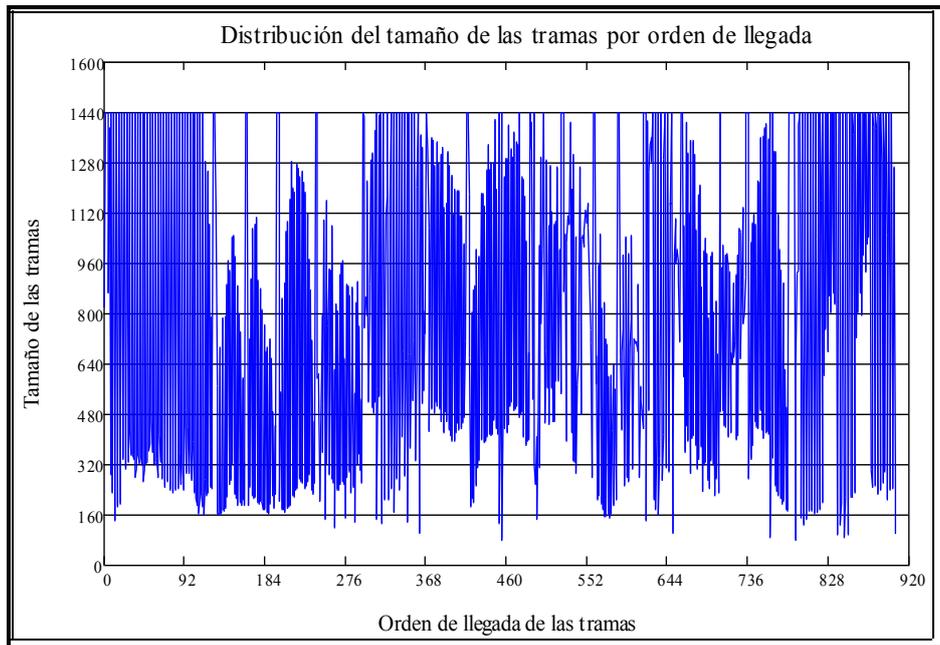


Figura IV.23 Distribución del tamaño por orden de llegada - MPEG-4/AVC.

En la Figura IV.24, se aprecia que un número importante de paquetes tiene una longitud inferior a 500 bytes (35%) y otros tienen 1442 bytes (18%). El resto de los paquetes se distribuyen entre diferentes longitudes ubicadas entre 500 a 1442 bytes.

En la Figura IV.25, se muestra la distribución de los espacios intertramas por orden de llegada, donde los mismos varían entre 0,014 y 80 milisegundos. Se aprecia una distribución variable no uniforme de estos tiempos.

Y en la Figura. IV.26, se observa que la mayor cantidad de paquetes tiene un espacio intertrama inferior a 5 ms (50%). Luego hay una distribución importante entre 68 y 78 ms (32%).

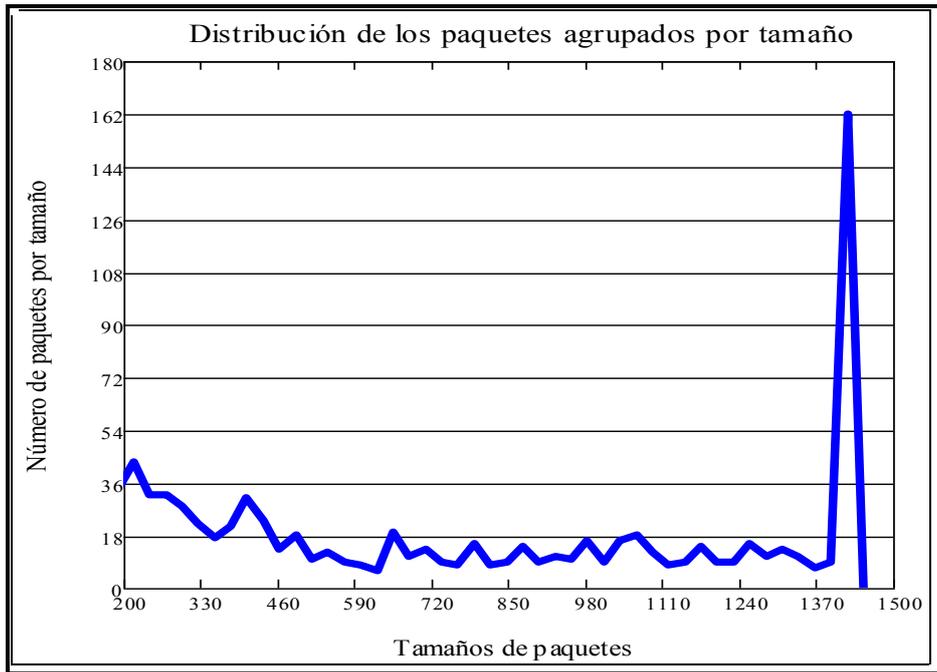


Figura IV.24 Distribución de los paquetes agrupados por tamaño - MPEG-4/AVC

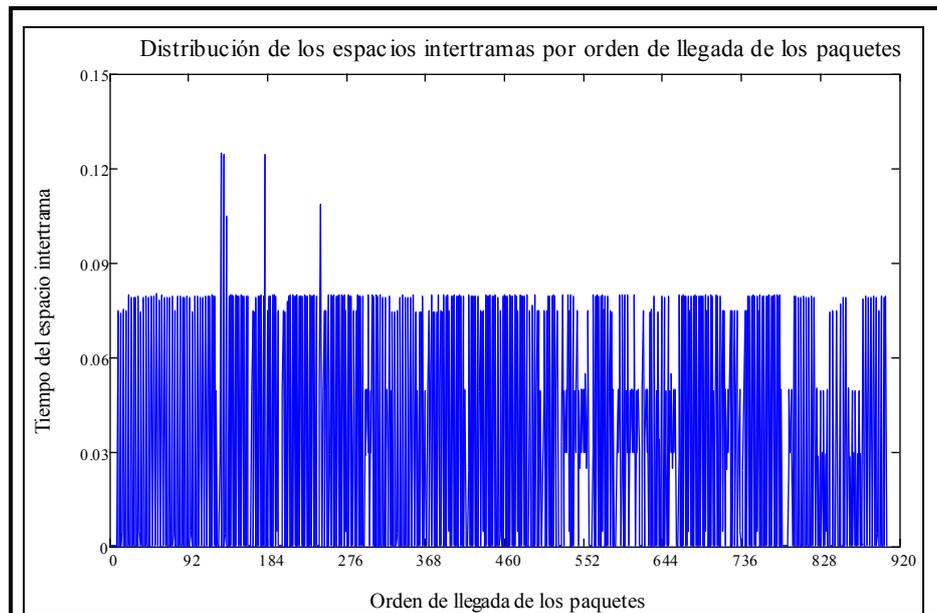


Figura IV.25 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada.

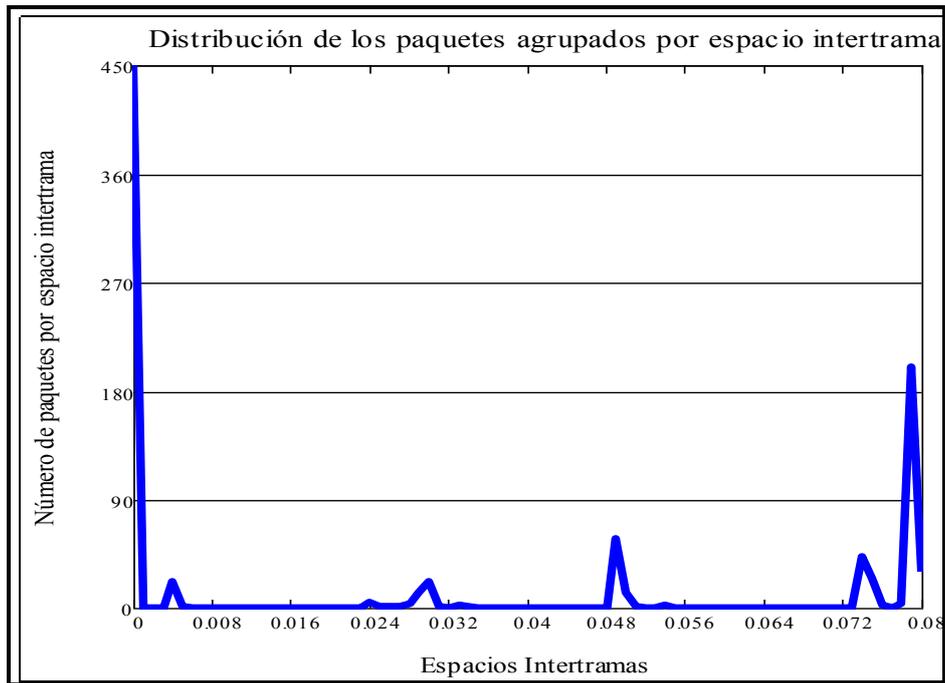


Figura IV.26 Distribución de los paquetes por espacio intertrama.

IV.2.4.2 Distribución estadística del codec MPEG-4 VISUAL

En las Figuras a continuación se muestra la distribución de los 913 paquetes agrupados por tamaño y espacios entre tramas para MPEG-4 Visual.

En la Figura IV.27, se muestra la distribución en el tiempo del tamaño de tramas por orden de llegada, donde los tamaños varían entre 200 y 1.440 bytes, aunque la mayor concentración se encuentra entre los 200 y 400 bytes.

En la Figura IV.28, se aprecia que un número importante de paquetes están entre 200 y 300 bytes (71%) y otro grupo de entre 700 y 1000 bytes (20%). El resto de los paquetes se distribuyen entre diferentes longitudes, principalmente en los 1400 bytes.

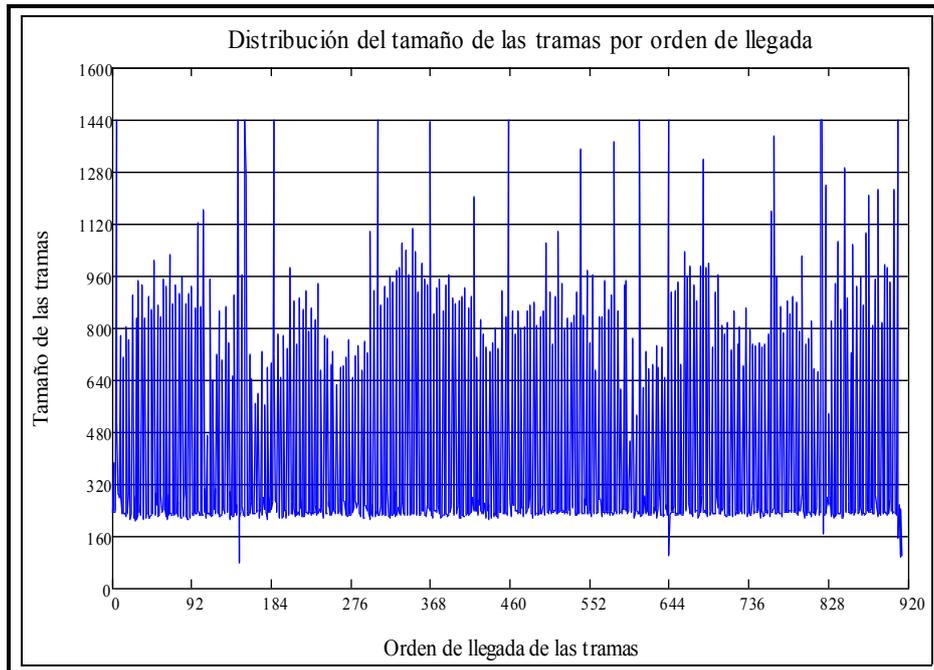


Figura IV.27 Distribución del tamaño por orden de llegada - MPEG-4 V.

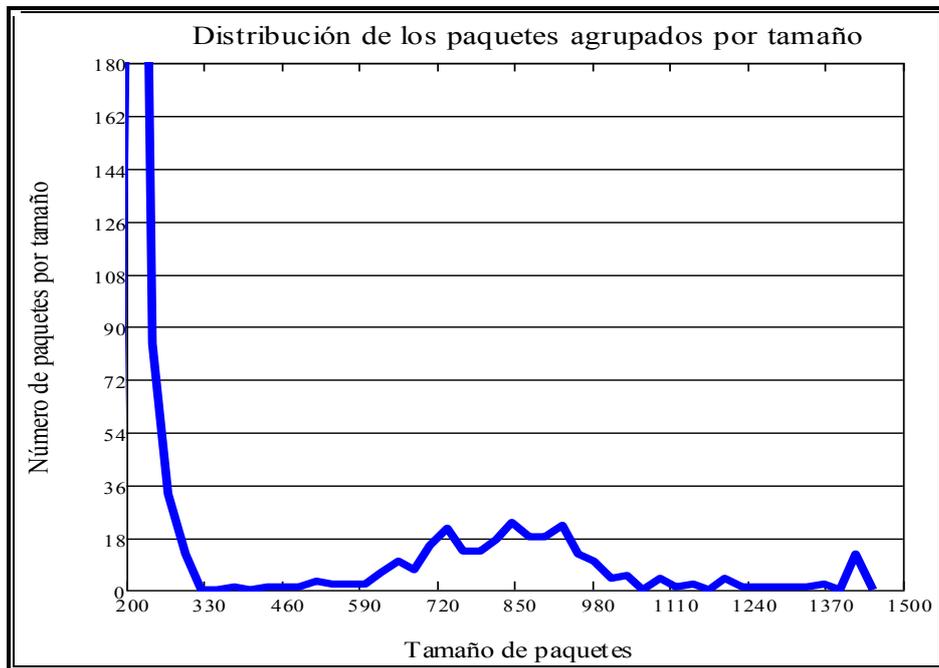


Figura IV.28 Distribución de los paquetes agrupados por tamaño MPEG-4 V.

En la Figura IV.29, se muestra la distribución de los espacios intertramas por orden de llegada, donde los mismos varían entre 0,044 y 55 milisegundos. Se aprecia una distribución variable, con una concentración importante entre los 25 y 50 milisegundos.

Y en la Fig. IV.30, se aprecia que para la mayor cantidad de paquetes, el espacio intertrama es de 50 ms (50%). Otros grupos tienen un menor espacio entre tramas: de 10 ms (21%) y entre 25 y 35 ms (30%).

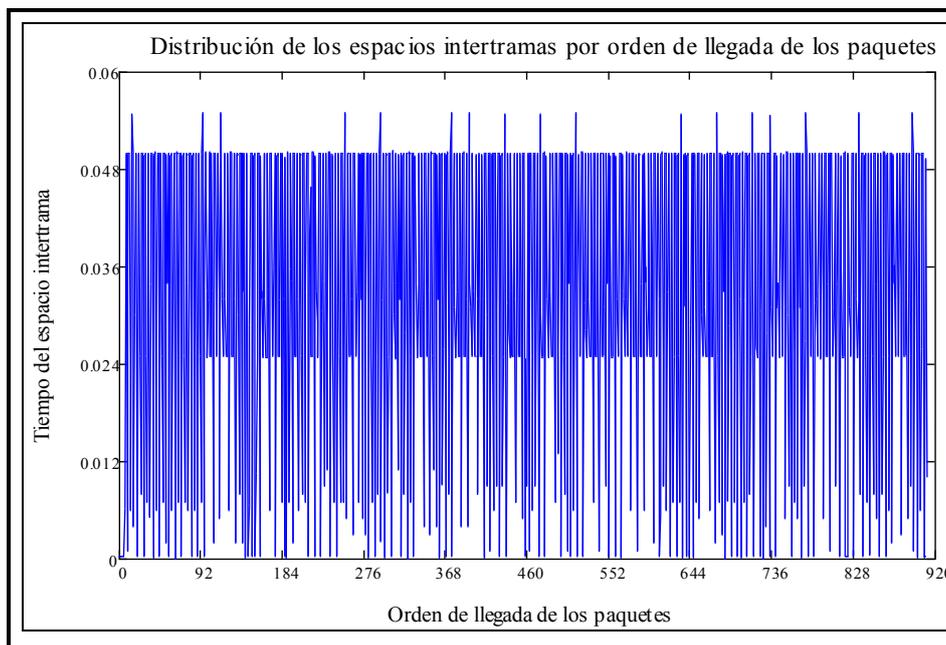


Figura IV.29 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada - MPEG-4 V.

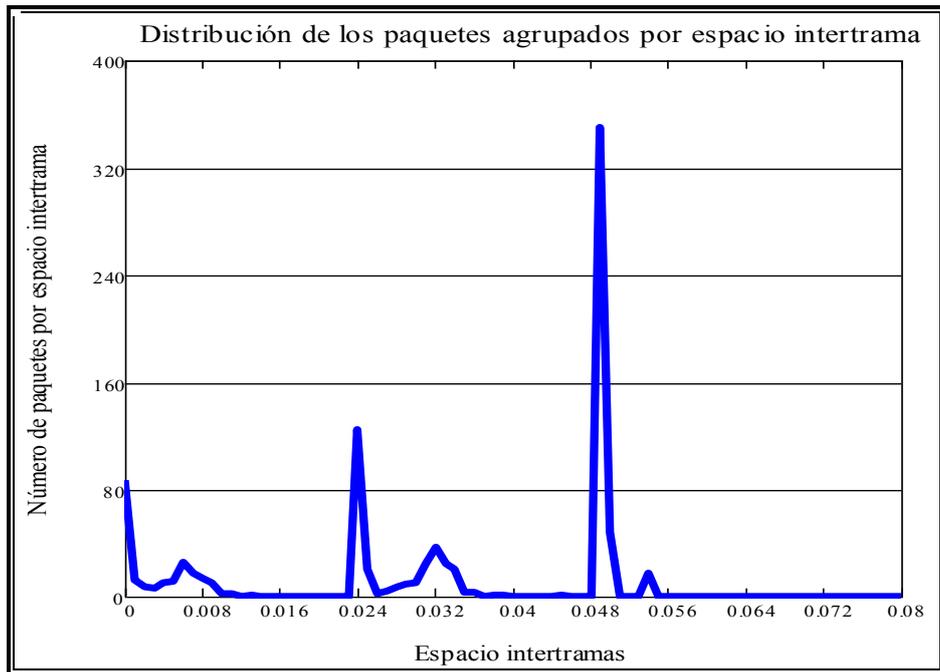


Figura IV.30 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama MPEG-4 V.

IV.2.4.3 Distribución estadística del codec MPEG-2

En las siguientes Figuras se muestra la distribución de los 608 paquetes agrupados por tamaño y espacios entre tramas para MPEG-2.

En la Figura IV.31, se muestra la distribución en el tiempo del tamaño de tramas por orden de llegada, donde los tamaños varían entre 60 y 1.440 bytes, aunque la mayor concentración se encuentra sobre los 1200 bytes.

En la Figura IV.32, apreciamos que la mayor cantidad de paquetes tiene 1442 bytes (60%). El resto de los paquetes se distribuyen en las diferentes longitudes de entre 60 a 1420 bytes.

En la Figura IV.33, se muestra la distribución de los espacios intertramas por orden de llegada, donde los mismos varían entre 0,029 y 130 milisegundos, apreciando una distribución variable, con una concentración importante por debajo de los 50 milisegundos.

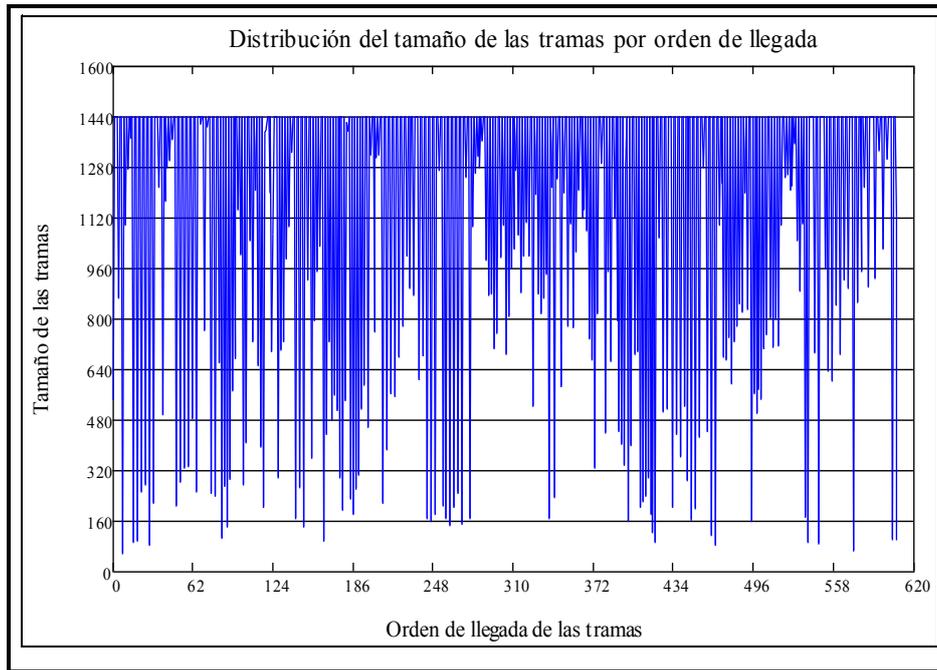


Figura IV.31 Distribución del tamaño por orden de llegada - MPEG-2.

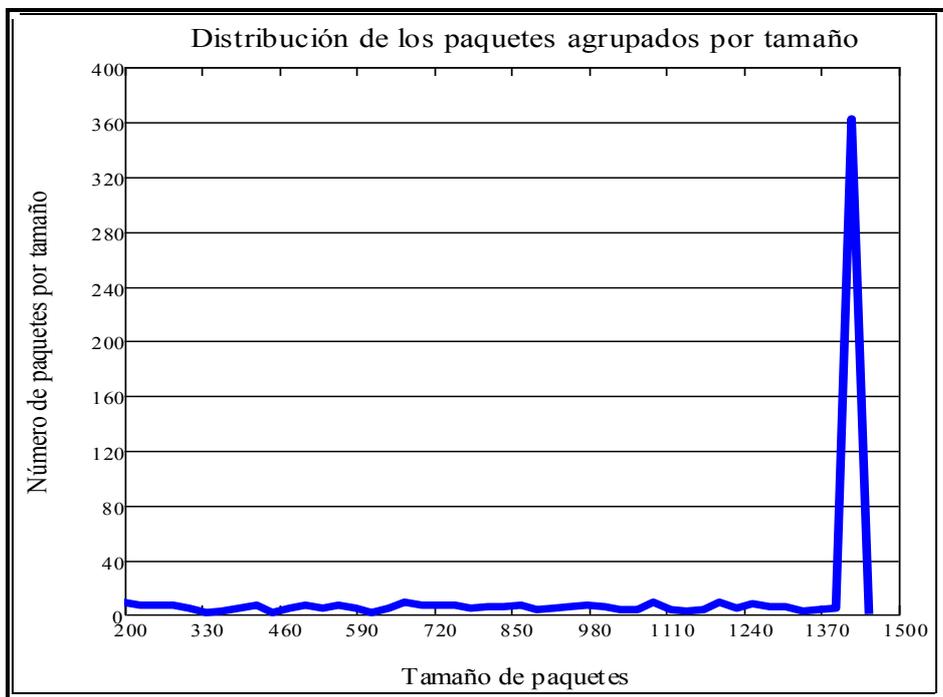


Figura IV.32 Distribución de los paquetes agrupados por tamaño MPEG-2.

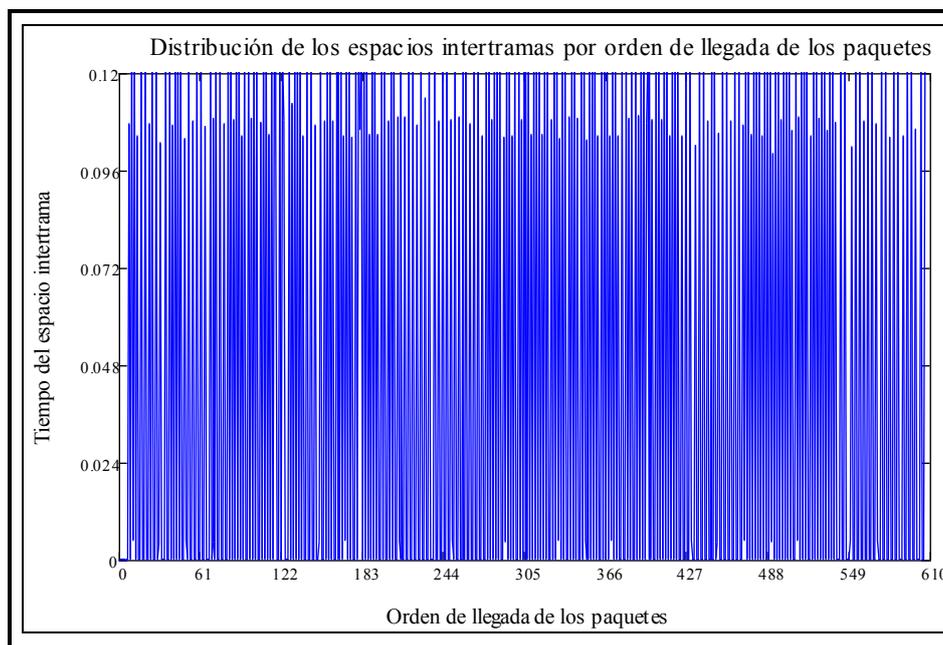


Figura IV.33 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada MPEG-2.

Y en la Fig. IV.34, se aprecia que en la mayor cantidad de paquetes, el espacio intertrama es inferior a 5 ms (60%), y en los restantes tienen una distribución uniforme muy baja a lo largo de todo el período hasta el orden de los 100 y 120 ms (un 20%).

IV.2.4.4 Comparación de la distribución estadística entre los codecs

Por último, también se analizaron las distribuciones estadísticas de tamaños de trama y de espacios entre tramas para cada codec, superponiendo las respuestas de los codecs en una sola Figura (en verde la respuesta de MPEG-4/AVC, en rojo de MPEG-4/V y azul de MPEG-2).

En la Figura IV.35, se observan diferencias significativas en la distribución por tamaño de trama. MPEG-4/V presenta una concentración significativa de tramas pequeñas, mientras que MPEG-4/AVC y MPEG-2 tiene una concentración de tramas grandes en el orden de 1.500 bytes. MPEG-4/AVC muestra una concentración inferior y el resto de los tamaños distribuida más intensamente en diferentes longitudes.

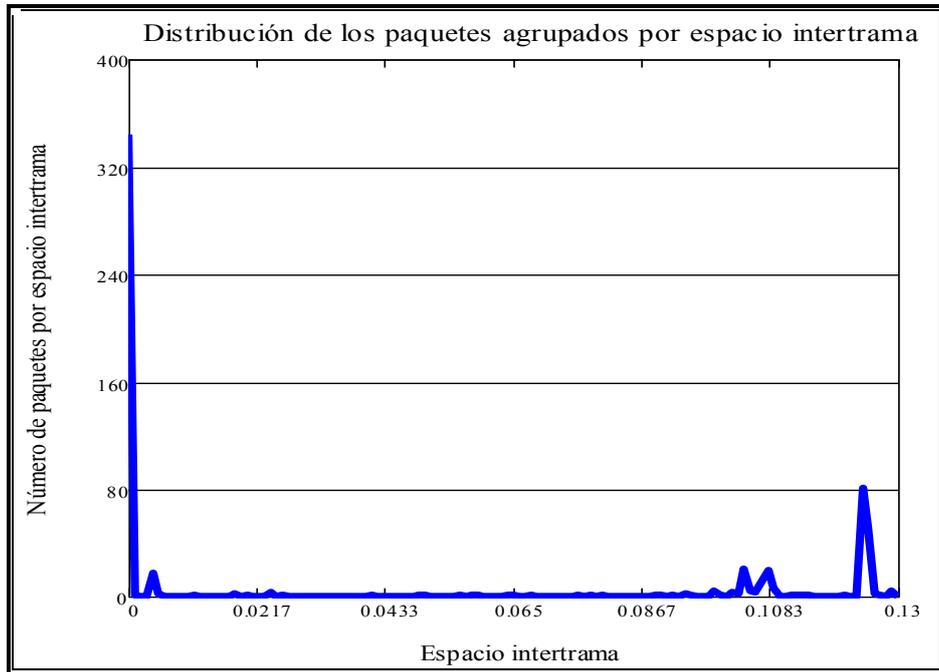


Figura IV.34 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama – MPEG-2.

Y en la Figura IV.36, se muestran las diferencias observadas en la distribución de espacio entre tramas. MPEG-4/V presenta una mayor concentración de tramas en el orden de 50 ms. Y, MPEG-4/AVC y MPEG2 tienen una concentración de espacio entre tramas por debajo de 5 ms, y algunos picos en tiempos mayores.

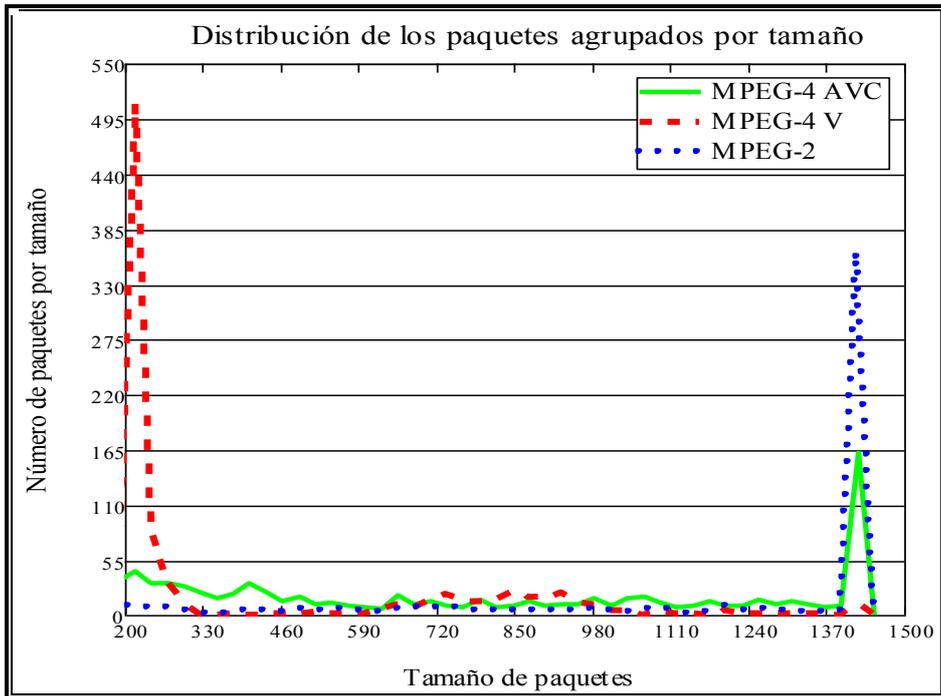


Figura IV.35 Distribución de los paquetes agrupados por tamaño de codecs.

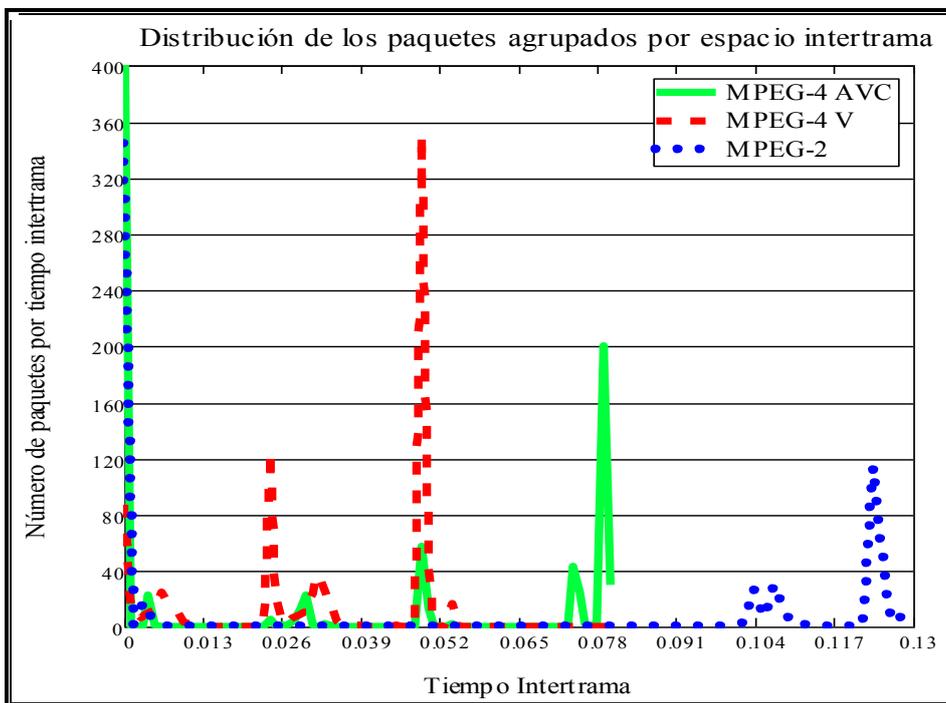


Figura IV.36 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama de codecs.

IV.2.5 Distribuciones estadísticas comportamiento autosimilar de los codecs

El análisis del tráfico proporciona información importante como la carga promedio, los requisitos de ancho de banda para diferentes aplicaciones, y otros numerosos detalles. Los modelos de tráfico permiten a los diseñadores de redes hacer suposiciones acerca de las redes que se diseñan en base a la experiencia pasada y también permite predicción de rendimiento para las necesidades futuras.

Para el diseño de alto rendimiento [40], el paso más importante puede ser el análisis del estudio del tráfico en la red. Como consecuencia, el tipo de modelo de tráfico se utiliza para comprender el flujo de tráfico en la red, y cómo el modelo representa las características en tiempo real de la red, se convierten en parámetros vitales. La elección de un modelo que no describa las características en tiempo real del tráfico en la red puede ser tan malo como no hacer un análisis del tráfico en absoluto.

En [40] se describen distintos modelos, entre ellos:

- distribución Poisson
- distribución Pareto
- distribución Weibull
- Markov
- Autoregresivo

En este punto se comprueba que la distribución de tráfico de video experimentada cumple con la “Distribución Pareto”.

En [41] y [42] se describen tráficos de redes con autosimilaridad y análisis de video para Pareto, Weibull y distribuciones gama.

En [43] se describe el Comportamiento Autosimilar del tráfico Ethernet bajo distribución Pareto. Basado es este estudio se analizan los tráficos de video de cada codec planteado.

En la Figura 4.1 se muestra la representación de la cantidad de tramas en función del tiempo, en el tiempo del video (29 seg.), con una resolución de 1 milisegundo. Luego, las tramas identificadas cronológicamente y sin los campos innecesarios, se exportaron como un vector al programa Matchcad, para proceder a su análisis estadístico. Las tramas se agruparon en un vector A de 40 elementos, en intervalos de 1 milisegundo, y se ordenaron en forma decreciente según la cantidad de tramas. Posteriormente, estos elementos se normalizaron dividiendo el vector A por N, dando origen a un nuevo vector que se llamará O (vector de los valores observados).

En estadística, la distribución Pareto, formulada por el sociólogo Vilfredo Pareto, es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros a y b cuya función de densidad para valores $x \geq b$ es:

$$f(x) = \frac{ab^a}{x^{a+1}}$$

Asignando distintos valores a **a** y **b**, se puede generar el vector E (vector de valores esperados) para la distribución Pareto, con **x** variando entre 1 y 10:

$$E_{i-1} := \int_i^{i+1} f(x, a, b) dx$$

Entonces se puede representar el vector O vs el vector E, y comprobar que el tráfico de video se corresponde con la función Pareto.

IV.2.5.1 Comportamiento autosimilar del codec MPEG-4 AVC

Se analiza la distribución de los 906 paquetes agrupados por espacios intertramas para MPEG-4 AVC, comparada con la distribución esperada de Pareto.

De acuerdo a lo planteado en el punto anterior se armó el vector A, como se indica a continuación:

A =

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	
0	451	200	56	43	30	24	23	...

Posteriormente, estos elementos se normalizaron dividiendo el vector A por N (906 paquetes), dando origen a un nuevo vector que se llamará O (vector de los valores observados):

O =

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	
0	0.498	0.220	0.618	0.0474	0.0331	0.0265	0.0254	...

En la Figura IV.37 se muestra la distribución de los 906 paquetes agrupados por espacios intertramas para MPEG-4 AVC, comparada con la distribución esperada de Pareto

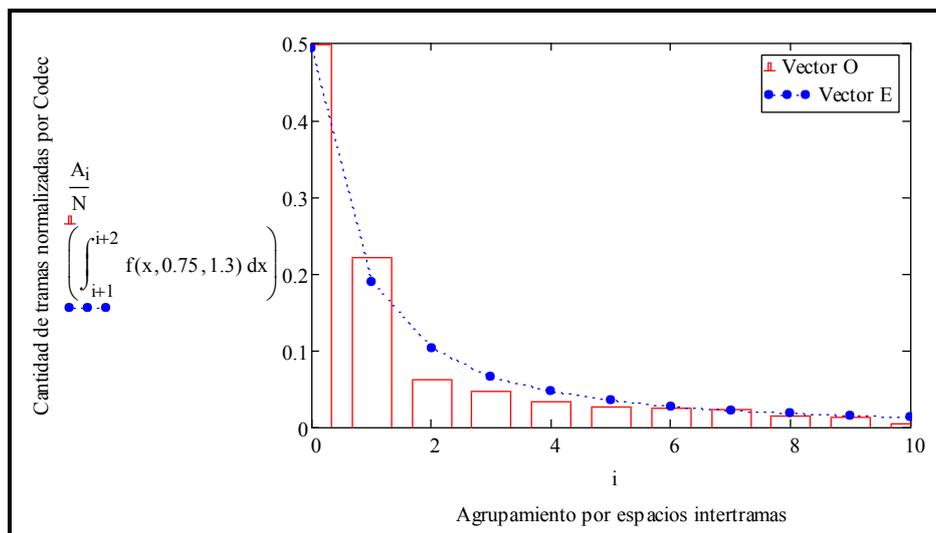


Figura IV.37 Cantidad de tramas normalizadas para MPEG-4 AVC.

Si se observa la gráfica anterior, se puede concluir que el tráfico de dicho codec cumple con la distribución de Pareto, y el tipo de tráfico autosimilar para los parámetros $a=0.75$ y $b=1.3$.

IV.2.5.2 Distribución estadística comportamiento autosimilar del codec MPEG-4 VISUAL

Se analiza la distribución de los 913 paquetes agrupados por espacios intertramas para MPEG-4 Visual, comparada con la distribución esperada de Pareto.

De acuerdo a lo planteado en el punto IV.2.5 se armó el vector A, como se indica a continuación:

A =

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	
0	274	124	101	87	43	36	28	...

Posteriormente, estos elementos se normalizaron dividiendo el vector A por N (913 paquetes), dando origen a un nuevo vector que se llamará O (vector de los valores observados):

O =

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	
0	0.300	0.136	0.111	0.095	0.0471	0.0394	0.0306	...

En la Figura IV.38 se muestra la distribución de los 906 paquetes agrupados por espacios intertramas para MPEG-4 AVC, comparada con la distribución esperada de Pareto.

Si se observa la gráfica, se puede concluir que el tráfico de dicho codec cumple con la distribución de Pareto, y el tipo de tráfico autosimilar para los parámetros $a=0.4$ y $b=1.75$.

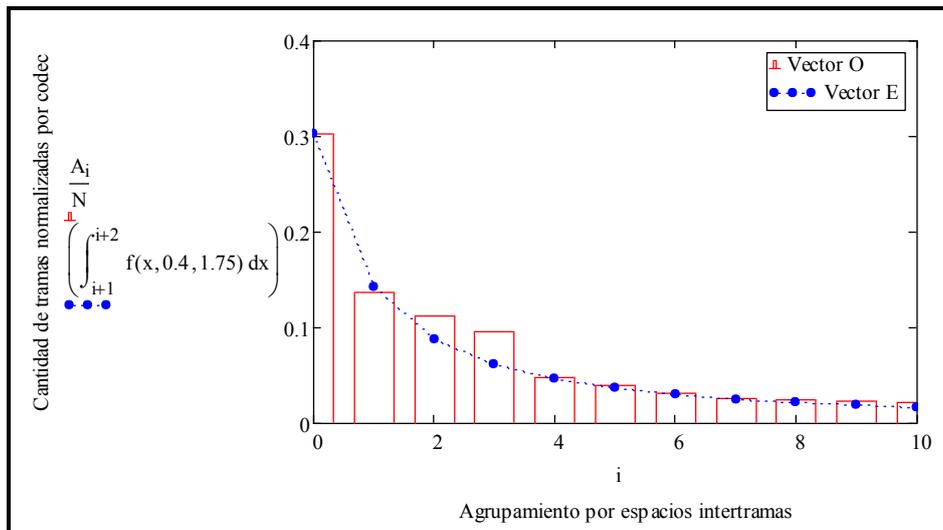


Figura IV.38 Cantidad de tramas normalizadas para MPEG-4 Visual.

IV.2.5.3 Distribución estadística comportamiento autosimilar del codec MPEG-2

Finalmente, se analiza la distribución de los 608 paquetes agrupados por espacios intertramas para MPEG-2, comparada con la distribución esperada de Pareto.

De acuerdo a lo planteado en el punto IV.2.5 se armó el vector A, como se indica a continuación:

A =

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	
0	344	98	57	25	22	17	12	...

Posteriormente, estos elementos se normalizaron dividiendo el vector A por N (608 paquetes), dando origen a un nuevo vector que se llamará O (vector de los valores observados):

O =

	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	
0	0.566	0.161	0.0937	0.0411	0.0361	0.0279	0.0197	...

En la Figura IV.39 se muestra la distribución de los 608 paquetes agrupados por espacios intertramas para MPEG-2, comparada con la distribución esperada de Pareto

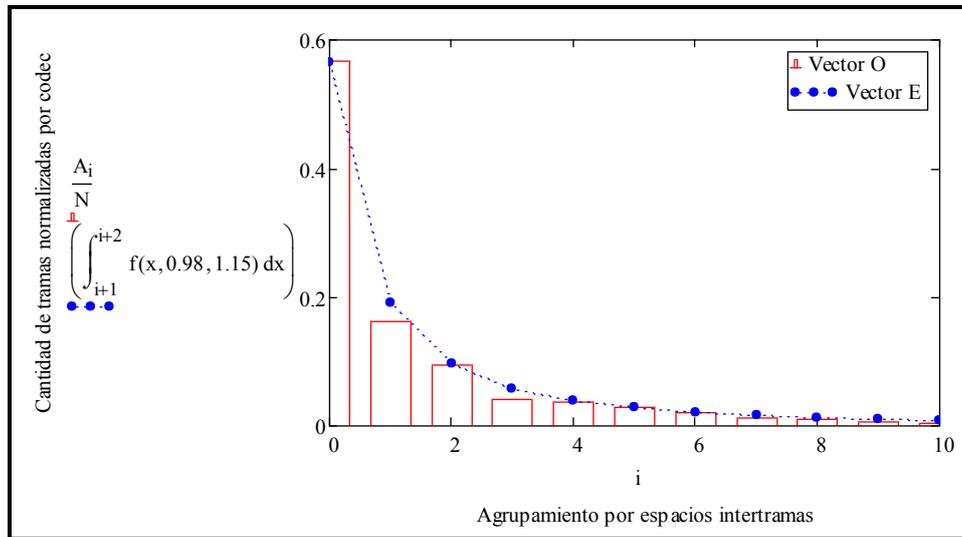


Figura IV.39 Cantidad de tramas normalizadas para MPEG-2.

Si se observa la gráfica anterior, se puede concluir que el tráfico de dicho codec cumple con la distribución de Pareto, y el tipo de tráfico autosimilar para los parámetros $a=0.98$ y $b=1.15$.

IV.2.5.4 Comparación de la distribución estadística autosimilar entre los codecs

En la Figura IV.40 se analizan comparativamente las distribuciones normalizadas de los paquetes agrupados por espacios intertramas para los 3 codecs. Se observa que aunque todos tienen un comportamiento general y típico de tráfico autosimilar, presentan leves diferencias sobre el punto de mayor concentración de ráfaga de tráfico (señalado en los distintos parámetros a y b obtenidos de la función Pareto).

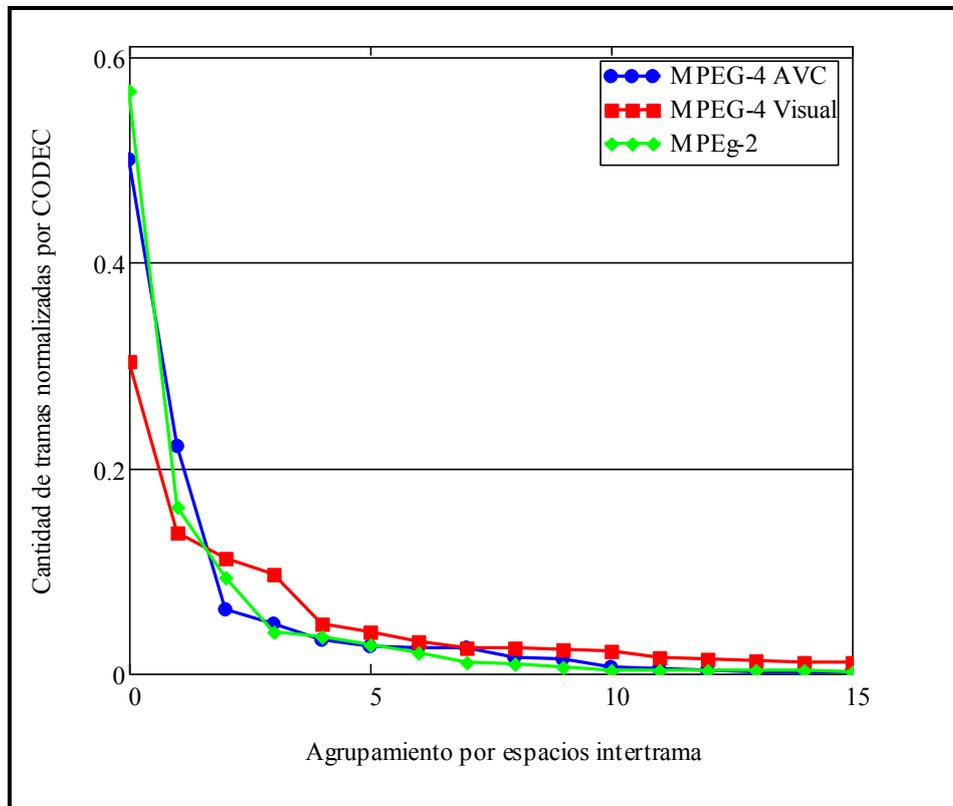


Figura IV.40 Comparación de la cantidad de tramas normalizadas de los 3 codecs.

IV.3) Resultados obtenidos con tráfico unicast

IV.3.1 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 1

En este punto se plantean los resultados obtenidos de la experimentación con el Escenario 1. Se emite el mismo archivo de video desde el servidor, pero formato unicast, con un codec específico cada vez, y se recibe en 3 PCs clientes.

En las Tablas IV.4 y IV.5, se resumen las métricas obtenidas, solamente de la información del tráfico de video puro. No se considera otro tipo de tráfico presente en la red, como los paquetes de intercambio de protocolos internos de la red, como OSPF (el

protocolo de ruteo unicast), PIM (protocolo de ruteo multicast), y algún otro como STP, ARP, etc.

En el caso de tráfico unicast, no hay un solo flujo de información que viaja a través de la red (como en el caso de multicast), por lo que se analizan por separado los tráficos en cada equipo conectado a la red. Al final de las mismas se muestran los promedios en valores netos y los porcentajes globales y relativos.

Transmisión desde Server	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
PC2-1	MPEG-4AVC	29,7536	906	0,70412	777,10	0,0037	0,18932
	MPEG-4 V	29,9699	913	0,38191	412,55	0,0038	0,10195
	MPEG-2	29,2786	608	0,69545	1141,96	0,0063	0,19002
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7548	906	0,70409	776,89	0,0038	0,18930
	MPEG-4 V	29,9715	913	0,38186	416,31	0,0038	0,10193
	MPEG-2	29,2777	608	0,69545	1141,85	0,0068	0,19003
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7528	906	0,70401	776,96	0,0035	0,18930
	MPEG-4 V	29,9741	913	0,38185	415,29	0,0038	0,10192
	MPEG-2	29,2759	608	0,69516	1142,35	0,0062	0,18996
Promedio	MPEG-4AVC	29,7537	906	0,7041	776,9840	0,0036	0,1893
	MPEG-4 V	29,9718	913	0,3819	414,7150	0,0038	0,1019
	MPEG-2	29,2774	608	0,6954	1142,0533	0,0064	0,1900
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,43%	37,33%	39,53%	33,29%	26,25%	39,34%
	MPEG-4 V	33,68%	37,62%	21,44%	17,77%	27,51%	21,18%
	MPEG-2	32,89%	25,05%	39,04%	48,94%	46,24%	39,48%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,27%	99,23%	100,00%	68,03%	56,77%	99,63%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,24%	36,31%	59,48%	53,65%
	MPEG-2	97,68%	66,59%	98,76%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.4 Resumen del tráfico unicast emitido por el servidor Escenario 1.

Recepción en PCs	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
PC2-1	MPEG-4AVC	29,7531	906	0,70418	777,11	0,0317	0,18934
	MPEG-4 V	29,9693	913	0,38190	412,51	0,0313	0,10194
	MPEG-2	29,2790	608	0,69544	1141,89	0,0452	0,19002
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7551	906	0,70402	776,95	0,0318	0,18928
	MPEG-4 V	29,9718	913	0,38185	416,42	0,0318	0,10192
	MPEG-2	29,2771	608	0,69538	1141,77	0,0451	0,19001
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7522	906	0,70402	776,92	0,0313	0,18930
	MPEG-4 V	29,9745	913	0,38184	415,33	0,0315	0,10191
	MPEG-2	29,2751	608	0,69517	1142,32	0,0438	0,18997
Promedio	MPEG-4AVC	29,7535	906	0,7041	776,9917	0,0316	0,1893
	MPEG-4 V	29,9719	913	0,3819	414,7533	0,0315	0,1019
	MPEG-2	29,2771	608	0,6953	1141,9933	0,0447	0,1900
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,43%	37,33%	39,53%	33,29%	29,30%	39,34%
	MPEG-4 V	33,68%	37,62%	21,44%	17,77%	29,25%	21,18%
	MPEG-2	32,89%	25,05%	39,04%	48,93%	41,45%	39,48%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,27%	99,23%	184,38%	187,34%	100,19%	185,73%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	MPEG-2	97,68%	66,59%	182,09%	275,34%	141,74%	186,41%

Tabla IV.5 Resumen del tráfico unicast recibido en los clientes Escenario 1.

Se observa que, independientemente del punto de medición utilizado, los valores son prácticamente constantes y aproximadamente iguales para un codec en particular, excepto en la métrica de “espacio intertrama”.

A su vez, como estos valores se mantienen independientemente del Escenario utilizado, el análisis en detalle se realiza en el Escenario 3.

IV.3.2 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 2

En este punto se plantean los resultados obtenidos de la experimentación con el Escenario 2, inyectando desde el servidor el archivo de video en formato unicast, con un codec específico cada vez, a 6 PCs clientes.

Las Tablas IV.6 y IV.7 se resumen las métricas obtenidas, solamente de la información del tráfico de video puro. No se considera otro tipo de tráfico presente en la red, como

los paquetes de intercambio de protocolos internos de la red, como OSPF (el protocolo de ruteo unicast), PIM (protocolo de ruteo multicast), y algún otro como STP, ARP, etc.

Como en el caso anterior, dado que se trata de tráfico unicast, se analizan por separado los tráficos en cada equipo conectado a la red. Al final de las mismas se muestran los promedios en valores netos y los porcentajes globales y relativos.

Transmisión desde Server	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
PC1-1	MPEG-4AVC	29,7188	906	0,70405	776,31	0,00559	0,18956
	MPEG-4 V	29,9733	912	0,38168	417,91	0,00588	0,10187
	MPEG-2	29,2716	608	0,69526	1141,73	0,00883	0,18952
PC2-1	MPEG-4 AVC	29,7126	906	0,70405	776,31	0,00566	0,18956
	MPEG-4 V	29,9544	912	0,38168	417,91	0,00586	0,10187
	MPEG-2	29,1528	608	0,69516	1143,44	0,00908	0,18952
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7135	906	0,70405	776,31	0,00564	0,18956
	MPEG-4 V	29,9734	912	0,38168	417,91	0,00586	0,10187
	MPEG-2	29,2639	608	0,69327	1142,21	0,00882	0,18952
PC4-1	MPEG-4 AVC	29,7235	906	0,70405	776,31	0,00563	0,18956
	MPEG-4 V	29,9733	912	0,38168	417,91	0,00579	0,10187
	MPEG-2	29,2675	608	0,69526	1141,73	0,00914	0,18952
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7174	906	0,70405	776,31	0,00563	0,18951
	MPEG-4 V	29,9723	912	0,38168	417,91	0,00590	0,10187
	MPEG-2	29,1499	608	0,69516	1143,44	0,00927	0,18952
PC0-2	MPEG-4 AVC	29,7084	906	0,70405	776,31	0,00563	0,18956
	MPEG-4 V	29,9652	912	0,38168	417,91	0,00582	0,10187
	MPEG-2	29,2795	608	0,69526	1141,73	0,00890	0,18952
Promedio	MPEG-4AVC	29,7157	906	0,70405	776,31	0,00563	0,18955
	MPEG-4 V	29,9687	912	0,38168	417,91	0,00585	0,10187
	MPEG-2	29,2309	608	0,69489	1142,38	0,00901	0,18952
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,42%	37,35%	39,54%	33,22%	27,47%	39,41%
	MPEG-4 V	33,70%	37,59%	21,43%	17,89%	28,56%	21,18%
	MPEG-2	32,87%	25,06%	39,03%	48,89%	43,96%	39,41%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,16%	99,34%	100,00%	67,96%	62,49%	100,02%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,21%	36,58%	64,97%	53,75%
	MPEG-2	97,54%	66,67%	98,70%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.6 Resumen del tráfico unicast emitido por el servidor Escenario 2.

También en este caso se observa que, independientemente del punto de medición utilizado, los valores son prácticamente constantes y aproximadamente iguales para un codec en particular, excepto en la métrica de “espacio intertrama”.

Por ello, y dado que estos valores se mantienen independientemente del Escenario utilizado, el análisis en detalle se realiza en el Escenario 3.

Recepción en PCs	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
PC1-1	MPEG-4AVC	29,7180	906	0,70405	770,14	0,03131	0,18953
	MPEG-4 V	29,9725	912	0,38168	414,53	0,03074	0,10187
	MPEG-2	29,2706	608	0,69526	1115,97	0,04322	0,19002
PC2-1	MPEG-4 AVC	29,7117	906	0,70405	769,37	0,03108	0,18957
	MPEG-4 V	29,9539	912	0,38168	416,40	0,03170	0,10194
	MPEG-2	29,2723	608	0,69526	1124,42	0,04424	0,19001
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7131	906	0,70405	771,67	0,03134	0,18956
	MPEG-4 V	29,9724	912	0,38168	416,03	0,03122	0,10187
	MPEG-2	29,2811	608	0,69526	1133,01	0,04386	0,18995
PC4-1	MPEG-4 AVC	29,7225	906	0,70405	771,67	0,03131	0,18950
	MPEG-4 V	29,9729	912	0,38168	416,40	0,03158	0,10187
	MPEG-2	29,2665	608	0,69526	1131,28	0,04512	0,19005
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7206	906	0,70405	776,31	0,03171	0,18951
	MPEG-4 V	29,9716	912	0,38168	417,92	0,03161	0,10188
	MPEG-2	29,2738	608	0,69526	1141,74	0,04366	0,19000
PC0-2	MPEG-4 AVC	29,7059	906	0,70405	776,31	0,03175	0,18961
	MPEG-4 V	29,9675	912	0,38168	417,92	0,03157	0,10189
	MPEG-2	29,2780	608	0,69526	1141,74	0,04303	0,18997
Promedio	MPEG-4AVC	29,7153	906	0,70405	772,58	0,03142	0,18955
	MPEG-4 V	29,9685	912	0,38168	416,53	0,03140	0,10189
	MPEG-2	29,2737	608	0,69526	1131,36	0,04385	0,19000
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,40%	37,35%	39,53%	33,29%	29,45%	39,37%
	MPEG-4 V	33,69%	37,59%	21,43%	17,95%	29,44%	21,16%
	MPEG-2	32,91%	25,06%	39,04%	48,76%	41,11%	39,47%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,16%	99,34%	100,00%	68,29%	71,64%	99,76%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,21%	36,82%	71,61%	53,62%
	MPEG-2	97,68%	66,67%	98,75%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.7 Resumen del tráfico unicast recibido en los clientes Escenario 2.

IV.3.3 Resultados obtenidos de la experimentación con Escenario 3

En este punto se plantean los resultados obtenidos de la experimentación con el Escenario 3, transmitiendo el mismo archivo desde el servidor, en formato unicast, con un codec específico cada vez, y se recibe en 9 PCs clientes.

En las Tablas IV.8 y IV.9 se resumen las métricas obtenidas, solamente de la información del tráfico de video puro. No se considera otro tipo de tráfico presente en la red, como los paquetes de intercambio de protocolos internos de la red, como OSPF (el protocolo de ruteo unicast), PIM (protocolo de ruteo multicast), y algún otro como STP, ARP, etc.

Se analizan por separado los tráficos en cada equipo conectado a la red, lo que emite el servidor a cada PC cliente en forma independiente, y lo que recibe cada PC cliente.

Transmisión desde Server	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
PC1-1	MPEG-4AVC	29,7075	906	0,70405	772,93	0,0038	0,18960
	MPEG-4 V	29,9664	913	0,38192	417,61	0,0039	0,10196
	MPEG-2	29,2795	608	0,69526	1138,98	0,0062	0,18996
PC2-1	MPEG-4 AVC	29,7238	906	0,70405	774,00	0,0038	0,18949
	MPEG-4 V	29,9632	913	0,38192	417,63	0,0039	0,10197
	MPEG-2	29,2695	608	0,69526	1142,04	0,0062	0,19003
PC2-2	MPEG-4 AVC	29,7088	906	0,70405	776,86	0,0037	0,18959
	MPEG-4 V	29,9654	913	0,38192	417,40	0,0039	0,10196
	MPEG-2	29,2626	608	0,69526	1142,16	0,0061	0,19007
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7136	906	0,70405	775,66	0,0037	0,18956
	MPEG-4 V	29,9664	913	0,38192	418,12	0,0039	0,10196
	MPEG-2	29,2794	608	0,69526	1138,26	0,0061	0,18996
PC3-2	MPEG-4 AVC	29,7237	906	0,70405	777,58	0,0038	0,18949
	MPEG-4 V	29,9625	913	0,38192	417,76	0,0039	0,10197
	MPEG-2	29,2676	608	0,69526	1141,78	0,0061	0,19004
PC4-1	MPEG-4 AVC	29,7286	906	0,70405	775,53	0,0038	0,18946
	MPEG-4 V	29,9684	913	0,38192	416,20	0,0040	0,10195
	MPEG-2	29,2695	608	0,69526	1139,19	0,0061	0,19003
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7012	906	0,70405	776,56	0,0037	0,18964
	MPEG-4 V	29,9634	913	0,38192	418,19	0,0039	0,10197
	MPEG-2	29,2706	608	0,69526	1139,56	0,0062	0,19002
PC0-2	MPEG-4 AVC	29,7147	906	0,70405	774,06	0,0038	0,18955
	MPEG-4 V	29,9633	913	0,38192	418,03	0,0039	0,10197
	MPEG-2	29,2695	608	0,69526	1134,82	0,0062	0,19003
PC0-3	MPEG-4 AVC	29,7177	906	0,70405	776,89	0,0038	0,18953
	MPEG-4 V	29,9743	913	0,38192	417,95	0,0039	0,10193
	MPEG-2	29,2694	608	0,69526	1143,18	0,0062	0,19003
Promedio	MPEG-4AVC	29,7155	906	0,7041	775,5656	0,0038	0,1895
	MPEG-4 V	29,9659	913	0,3819	417,6547	0,0039	0,1020
	MPEG-2	29,2708	608	0,6953	1139,9966	0,0062	0,1900
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,41%	37,33%	39,53%	33,24%	27,15%	39,36%
	MPEG-4 V	33,69%	37,62%	21,44%	17,90%	28,30%	21,17%
	MPEG-2	32,91%	25,05%	39,03%	48,86%	44,56%	39,46%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,16%	99,23%	100,00%	68,03%	60,92%	99,75%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,25%	36,64%	63,51%	53,66%
	MPEG-2	97,68%	66,59%	98,75%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.8 Resumen del tráfico unicast emitido por el servidor Escenario 3.

Recepción en PCs	Codec	Tiempo del video	Número de paquetes	Número de bytes [Mbytes]	Tamaño promedio paquetes [bytes]	Espacio Intertrama promedio [s]	Tasa promedio [Mbps]
PC1-1	MPEG-4AVC	29,7001	906	0,70405	774,76	0,03115	0,18964
	MPEG-4 V	29,9625	913	0,38192	414,90	0,03147	0,10197
	MPEG-2	29,2696	608	0,69526	1138,23	0,04391	0,19003
PC2-1	MPEG-4 AVC	29,7238	906	0,70405	768,61	0,03068	0,18949
	MPEG-4 V	29,9628	912	0,38168	415,65	0,03085	0,10191
	MPEG-2	29,2544	608	0,69526	1124,42	0,04384	0,19013
PC2-2	MPEG-4 AVC	29,7150	906	0,70405	773,21	0,03003	0,18955
	MPEG-4 V	29,9737	913	0,38192	415,27	0,03158	0,10193
	MPEG-2	29,2669	608	0,69526	1133,01	0,04457	0,19005
PC3-1	MPEG-4 AVC	29,7008	906	0,70405	776,31	0,03160	0,18964
	MPEG-4 V	29,9654	913	0,38192	416,40	0,02940	0,10196
	MPEG-2	29,2770	608	0,69526	1140,42	0,04533	0,18998
PC3-2	MPEG-4 AVC	29,7212	906	0,70405	776,31	0,03074	0,18951
	MPEG-4 V	29,9626	913	0,38192	417,92	0,02939	0,10197
	MPEG-2	29,2808	608	0,69526	1141,74	0,04411	0,18996
PC4-1	MPEG-4 AVC	29,7076	906	0,70405	776,31	0,03153	0,18960
	MPEG-4 V	29,9649	913	0,38192	417,92	0,03118	0,10196
	MPEG-2	29,2616	608	0,69526	1141,74	0,04519	0,19008
PC0-1	MPEG-4 AVC	29,7049	906	0,70405	770,14	0,03180	0,18961
	MPEG-4 V	29,9657	913	0,38192	415,27	0,03120	0,10196
	MPEG-2	29,2769	608	0,69526	1124,42	0,04520	0,18998
PC0-2	MPEG-4 AVC	29,7089	906	0,70405	767,54	0,03154	0,18959
	MPEG-4 V	29,9616	913	0,38192	414,90	0,03128	0,10198
	MPEG-2	29,2650	608	0,69526	1126,13	0,04528	0,19006
PC0-3	MPEG-4 AVC	29,7206	906	0,70405	767,09	0,03166	0,18951
	MPEG-4 V	29,9686	913	0,38192	417,16	0,03164	0,10195
	MPEG-2	29,2669	608	0,69526	1131,28	0,04543	0,19005
Promedio	MPEG-4AVC	29,7114	906	0,7041	772,2520	0,0312	0,1896
	MPEG-4 V	29,9653	913	0,3819	416,1556	0,0309	0,1020
	MPEG-2	29,2688	608	0,6953	1133,4869	0,0448	0,1900
Porcentaje Global	MPEG-4AVC	33,40%	37,33%	39,53%	33,26%	29,19%	39,37%
	MPEG-4 V	33,69%	37,62%	21,44%	17,92%	28,91%	21,17%
	MPEG-2	32,91%	25,05%	39,03%	48,82%	41,90%	39,46%
Porcentaje relativo al mayor	MPEG-4AVC	99,15%	99,25%	100,00%	68,13%	69,68%	99,76%
	MPEG-4 V	100,00%	100,00%	54,24%	36,71%	69,00%	53,65%
	MPEG-2	97,68%	66,60%	98,75%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla IV.9 Resumen del tráfico unicast recibido en los clientes Escenario 3.

A continuación, y en los sucesivos apartados, se analizan las métricas que se presentan en las Tablas con más detalle.

IV.3.3.1 Número de paquetes total

Se analiza el número de paquetes emitidos por el servidor y recibidos en cada cliente para cada archivo de video en forma individual, para cada flujo de tráfico con cada cliente en formato unicast.

Se considera el tráfico de video únicamente, de acuerdo a las Tablas IV.8 y IV.9. No se incluye los paquetes de otro tráfico existente en la red, ya que el mismo es variable en cada enlace de la topología, y no afecta el estudio que se considera, ya que sólo interesa el tráfico extremo a extremo para el presente análisis

El número total de paquetes que transmite el servidor y se recibe en cada PC, son prácticamente los mismos para un codec en particular y en diferentes PCs, como se muestra en la Figura IV.41.

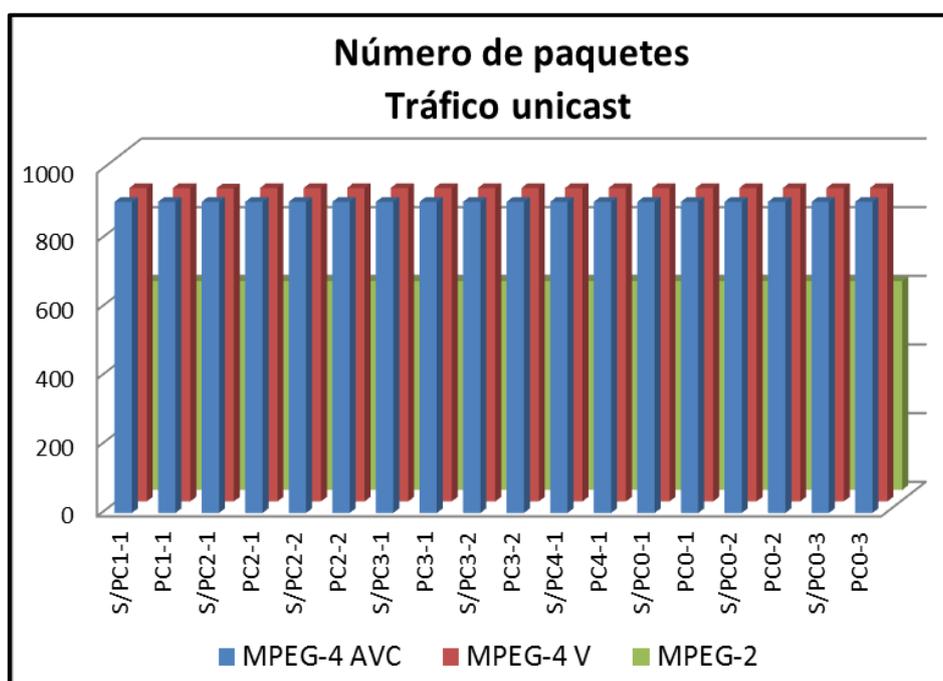


Figura IV.41 Número de paquetes por PC.

Sin embargo, hay una diferencia notable en el número de paquetes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec. Esto se presenta en la Figura IV.42 y IV.43.

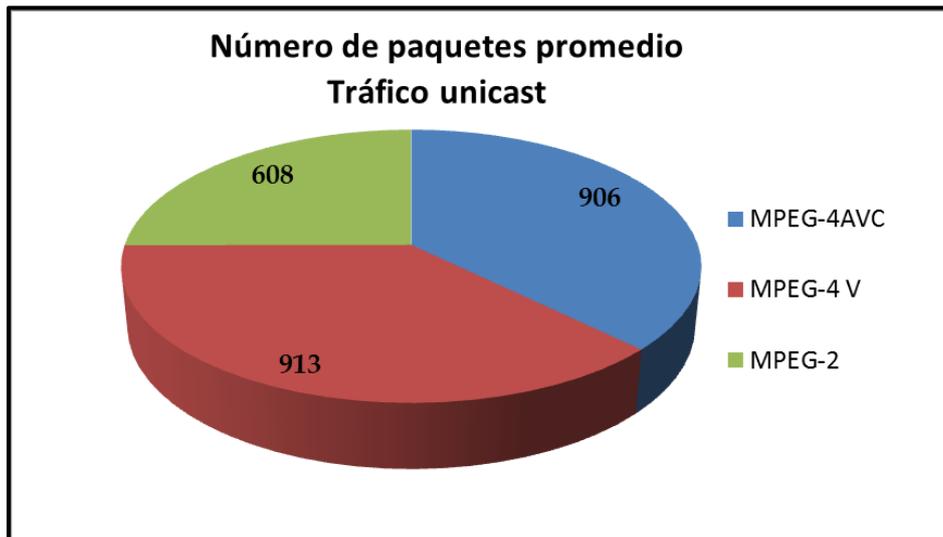


Figura IV.42 Número de paquetes promedio.

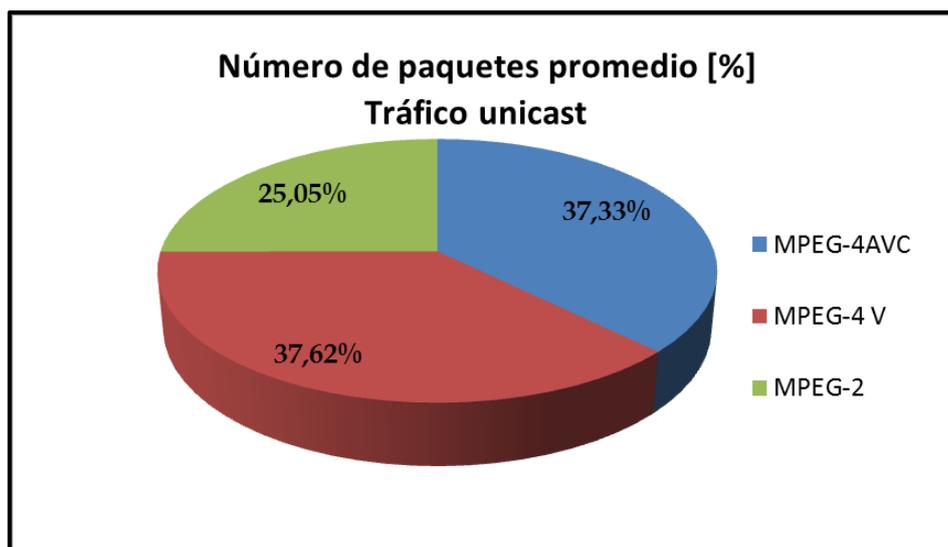


Figura IV.43 Número de paquetes promedio porcentual.

MPEG-4 Visual es el que utiliza la mayor cantidad de paquetes, con poca diferencia respecto a MPEG-4 AVC (un 0,77% menos). MPEG-2 tiene un número de paquetes mucho menor (un 33,41% menos), como se describe en la Figura IV.44, como porcentaje relativo al número mayor de paquetes. Si se compara con el tráfico multicast (en el punto IV.2.3.1) los valores son prácticamente iguales.

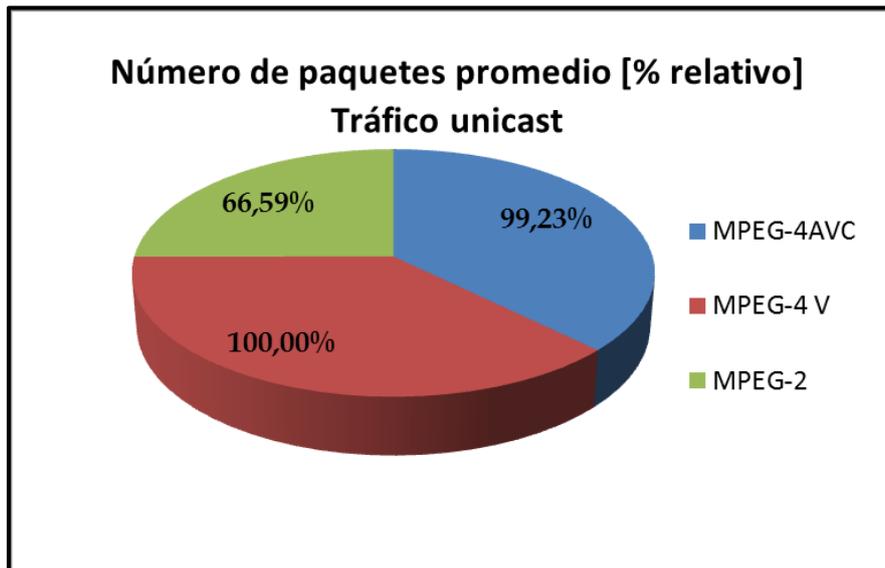


Figura IV.44 Número de paquetes promedio porcentual relativo.

IV.3.3.2 Número de bytes por flujo por codec

Se analiza la cantidad de bytes emitidos por el servidor y recibidos en cada cliente para cada archivo de video en forma individual, para cada flujo de tráfico con cada cliente en formato unicast.

Se considera el tráfico de video únicamente, de acuerdo a las Tablas IV.8 y IV.9. No se incluye los paquetes de otro tráfico existente en la red, ya que el mismo es variable en cada enlace de la topología, y no afecta el estudio que se considera, ya que sólo interesa el tráfico extremo a extremo para el presente análisis.

El número de bytes transmitidos por el servidor y recibidos en cada PC son virtualmente los mismos para un codec en particular y en diferentes PCs, como se muestra en la Figura IV.45. Se representa en la Figura el tráfico individual de cada flujo desde el servidor hasta cada cliente.

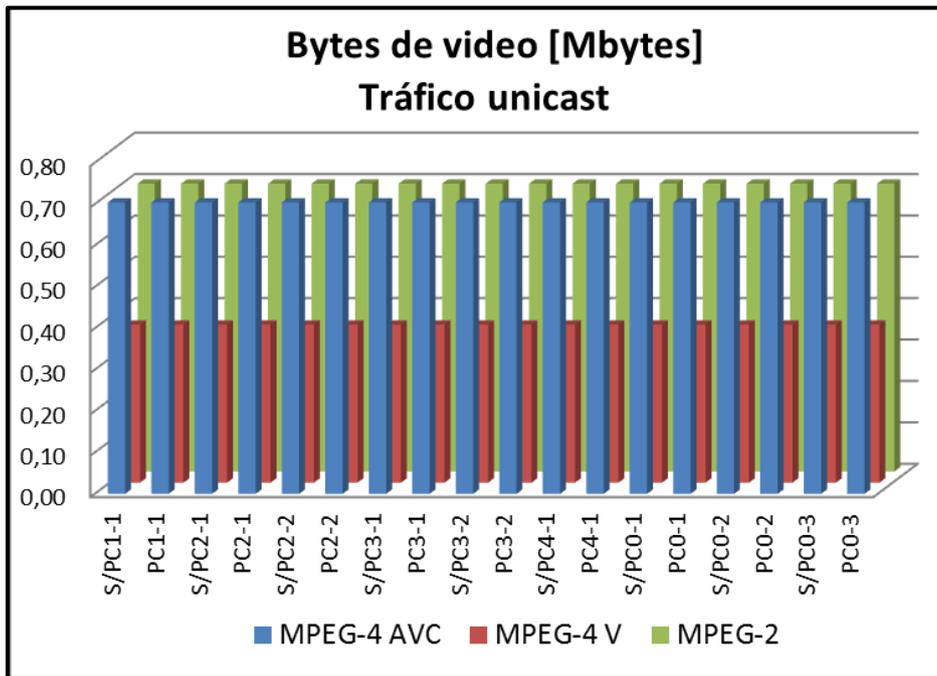


Figura IV.45 Número de bytes por PC.

Sin embargo, hay diferencias importantes en la cantidad de bytes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec. Esto se observa con mayor claridad en las Figuras IV.46 y IV.47.

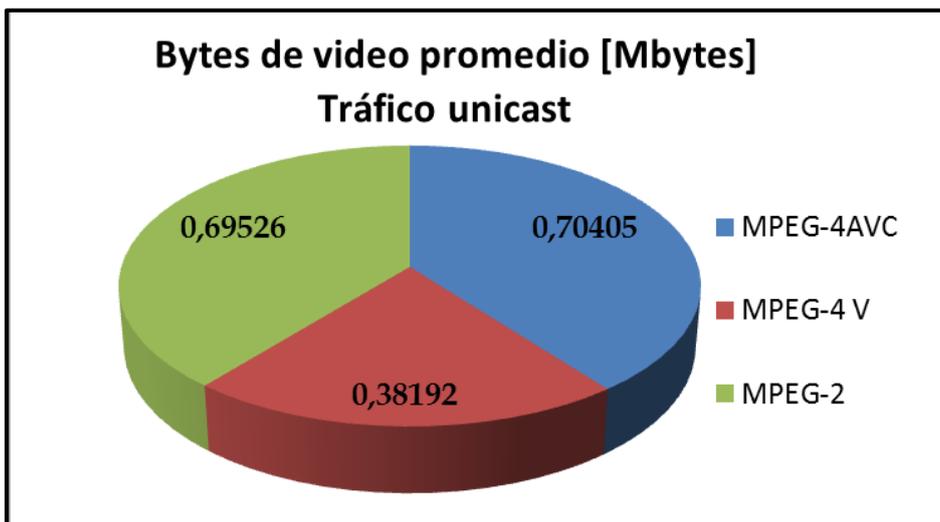


Figura IV.46 Número de bytes promedio.

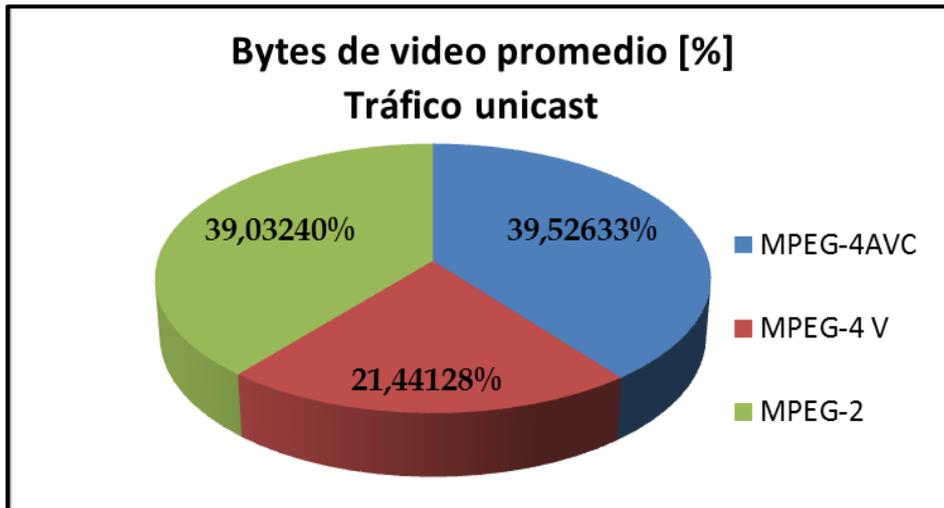


Figura IV.47 Número de bytes promedio porcentual.

Como en el caso anterior del número total de paquetes, MPEG-4 AVC es la que transmite más cantidad de bytes (o utiliza un archivo de mayor tamaño); en este caso, con poca diferencia respecto a MPEG-2 (1,25% menos). Mientras que en el caso de MPEG-4 Visual, el número de bytes es mucho menor (un 45,75% menos), como se describe en la Figura IV.48, expresado como porcentaje relativo al número mayor de paquetes.

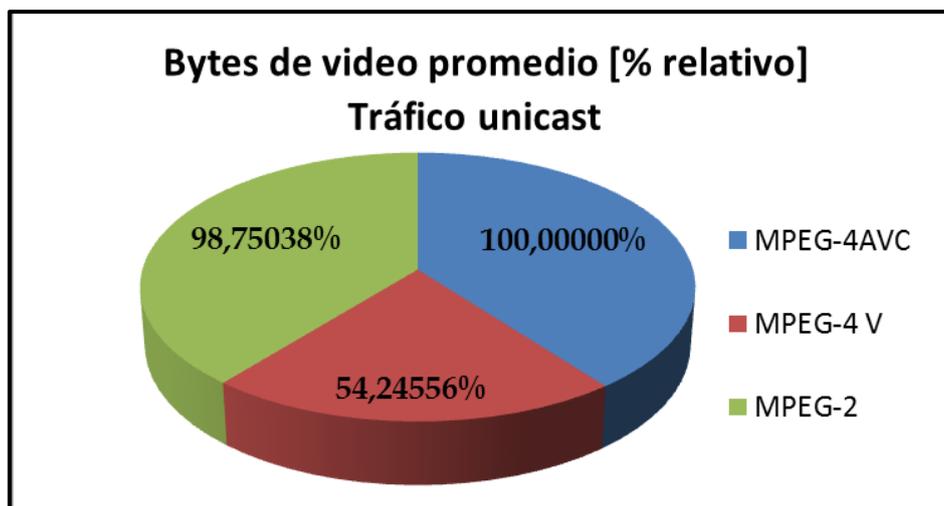


Figura IV.48 Número de bytes promedio porcentual relativo.

Se puede analizar también el número total de bytes que existe en cada captura, para tener en cuenta que hay otro tráfico en la red, que no es el de video, como se explica en el Capítulo III.

En la Figura IV.49 se grafica un promedio registrado por codec del tráfico de video versus el tráfico total capturado, en los equipos clientes. Se aprecia que la diferencia es muy baja, ya que el tráfico adicional es casi despreciable.

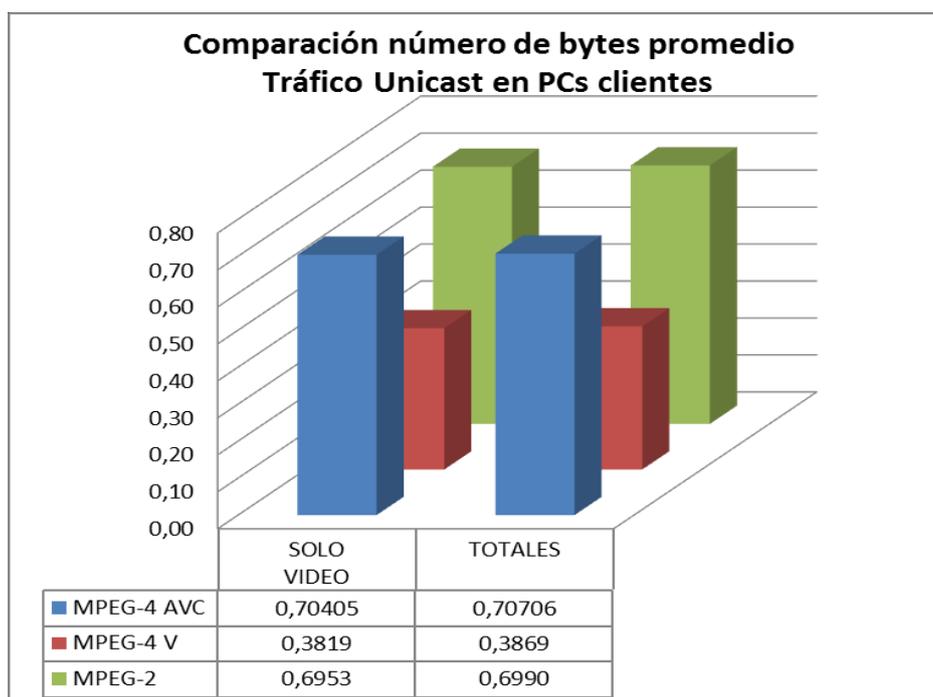


Figura IV.49 Mbytes de video vs Mbytes totales por codec.

Para el caso de tráfico de unicast, se puede analizar también el número total de bytes que se emite desde el servidor y el número total de bytes en el enlace, como se muestra en la Figura IV.50. Se aprecia que el número total de bytes emitidos por el servidor se incrementa notablemente ya que ahora debe emitir 9 flujos de video iguales para 9 clientes.

En la Figura IV.51 de grafica esta característica, donde se nota que hay aproximadamente un 800% más de tráfico (8 veces más) en el servidor.

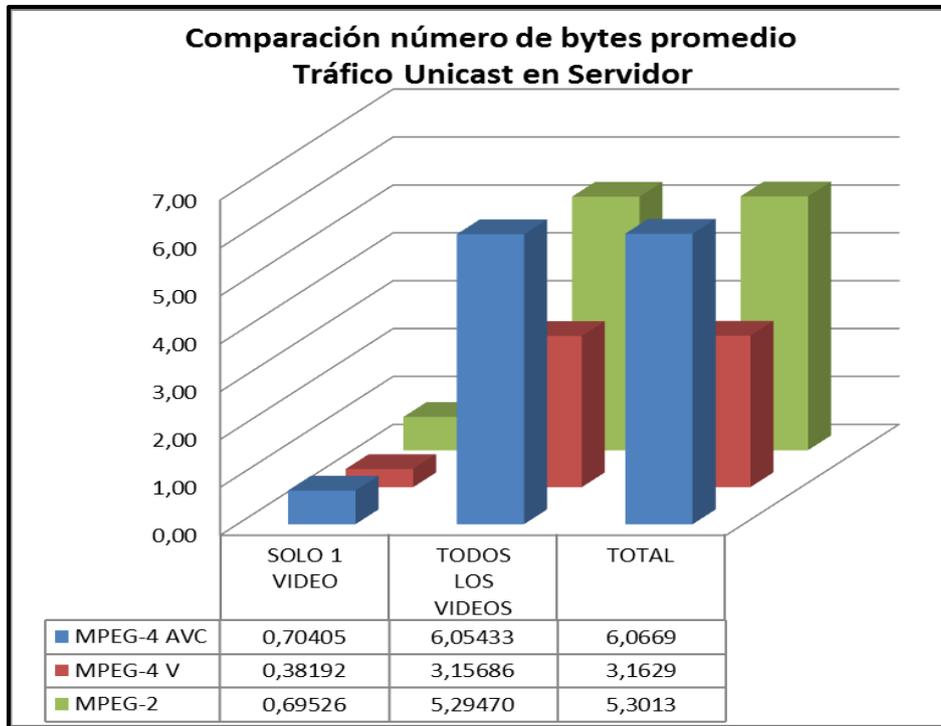


Figura IV.50 Mbytes de video vs Mbytes totales por códec.

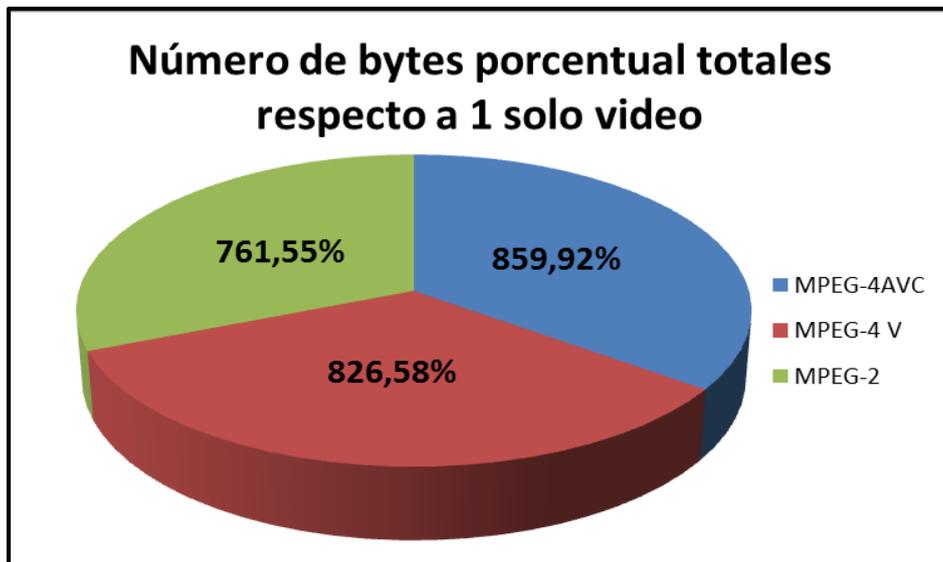


Figura IV.51 Número de bytes porcentual totales respecto a 1 solo video.

IV.3.3.3 Tamaño de paquete promedio

Con respecto al tamaño promedio de los paquetes transmitidos por el servidor y recibidos en cada PC se observa que son prácticamente los mismos para un codec en particular y en diferentes PCs, como se muestra en la Figura IV.52.

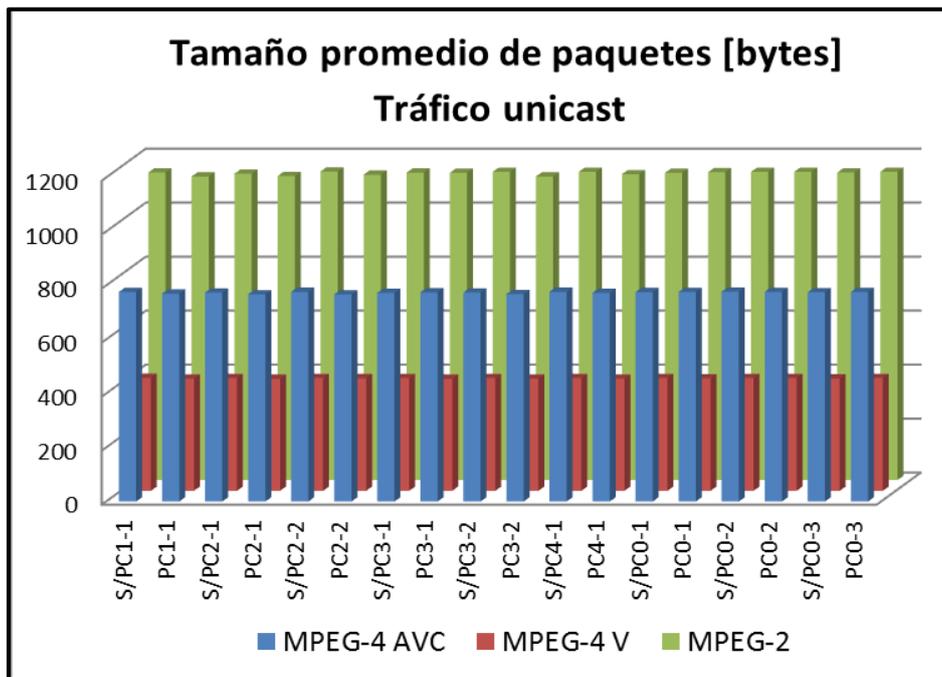


Figura IV.52 Tamaño de paquetes por PC.

Sin embargo, hay diferencias notables en el tamaño de paquetes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec, mostrado en las Figuras IV.53 y IV.54.

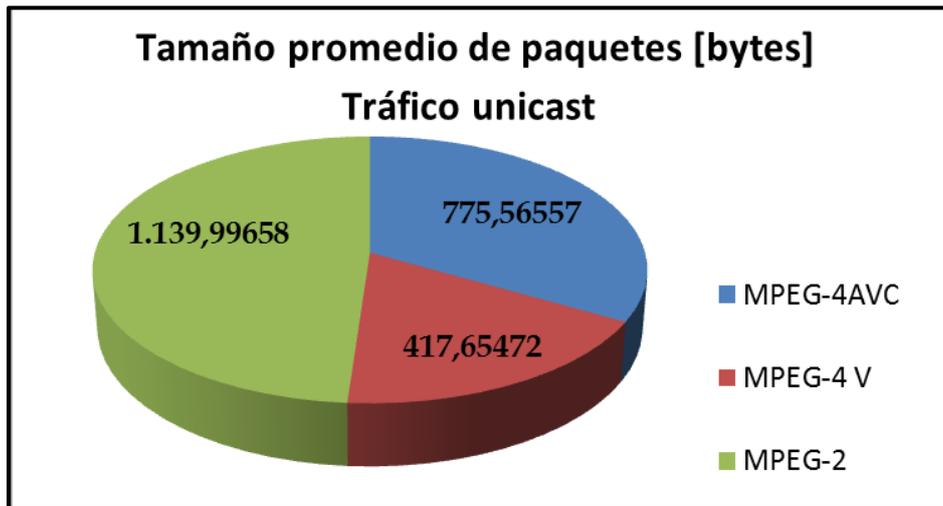


Figura IV.53 Tamaño de paquetes promedio.

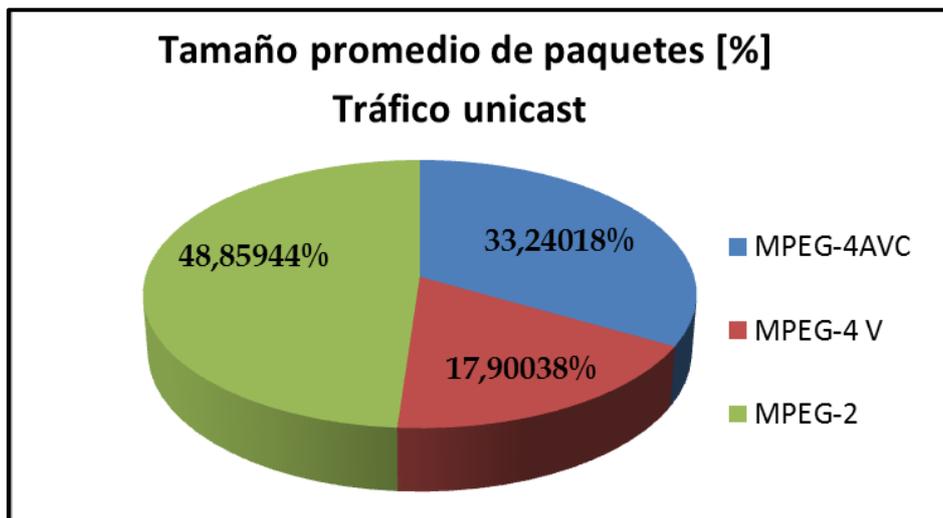


Figura IV.54 Tamaño de paquetes promedio porcentual.

En este caso, MPEG-2 es el codec que tiene el mayor tamaño de paquetes, con una diferencia respecto a MPEG-4 AVC de 31,97% menos. En el caso de MPEG-4 Visual, el tamaño es un 63,37% menos, como se describe en la Figura IV.55. Esto se presenta como porcentaje relativo al tamaño promedio mayor de paquetes.

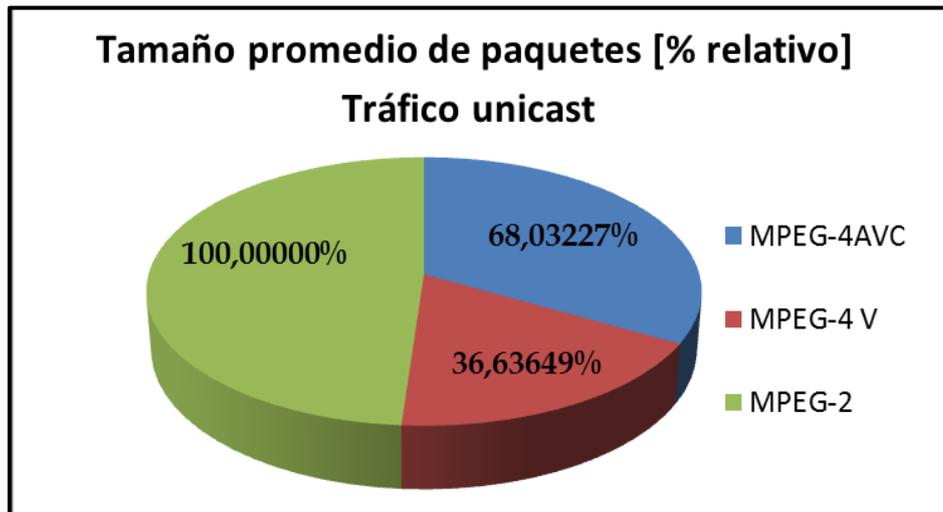


Figura IV.55 Tamaño de paquetes promedio.

IV.3.3.4 Cantidad de errores

Después de analizar la cantidad de paquetes y cantidad de bytes transmitidos y recibidos por la topología de la red, se pueden analizar los posibles errores introducidos por la red.

Se considera el tráfico de video únicamente. No se incluye los paquetes de otro tráfico existente en la red, ya que el mismo es variable en cada enlace de la topología, y no afecta el estudio que se considera, ya que sólo interesa el tráfico extremo a extremo para el presente análisis.

Al observar las tablas de mediciones de los 3 escenarios (IV.4 a IV.9), se aprecia que para cada cliente receptor la cantidad de paquetes y la cantidad de bytes recibidos son exactamente iguales a la cantidad de paquetes y bytes emitidos por el servidor, por lo que se puede afirmar que la topología usada en los 3 escenarios, y con las condiciones descritas, está libre de errores, o con una tasa de error igual a 0 (cero).

IV.3.3.5 Espacio intertrama promedio

Este parámetro es bastante similar para un codec en particular y en diferentes PCs clientes, como se muestra en la Fig. IV.56. Se destaca la diferencia importante que se da en el servidor, ya que al mismo tiempo debe enviar 9 flujos simultáneos a la red, para

abastecer a cada cliente en forma individual. Por ello, el espacio intertrama disminuye (a diferencia del tráfico multicast). Esta medición no se hace sobre los flujos individuales a cada cliente, sino sobre el espacio real entre tramas que salen del servidor.

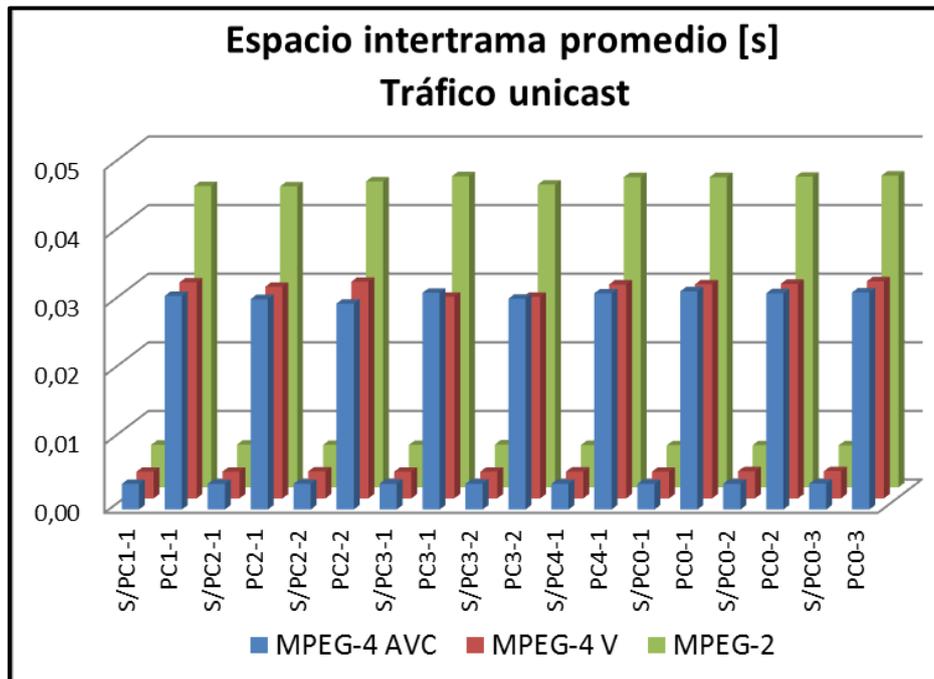


Figura IV.56 Espacio intertrama por PC.

Evaluando, entonces, lo que pasa en el servidor y lo recibido en cada cliente se observa que hay diferencias en el tiempo pasado entre paquetes para diferentes codecs, cuando se representa el promedio de lo emitido en el Servidor (Figura IV.57 y IV.58) y lo recibido en las PCs clientes (Figura IV.59 y IV.60) para cada codec.

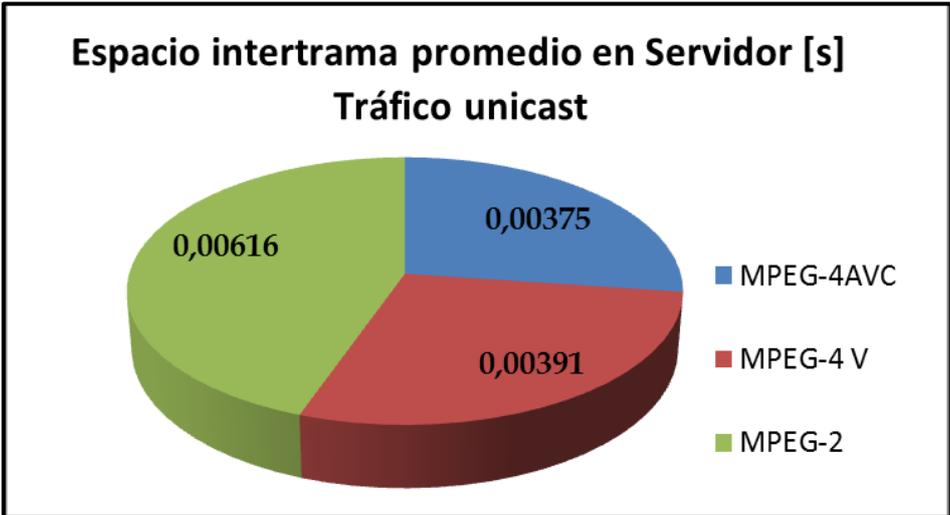


Figura IV.57 Espacio intertrama promedio en el servidor.

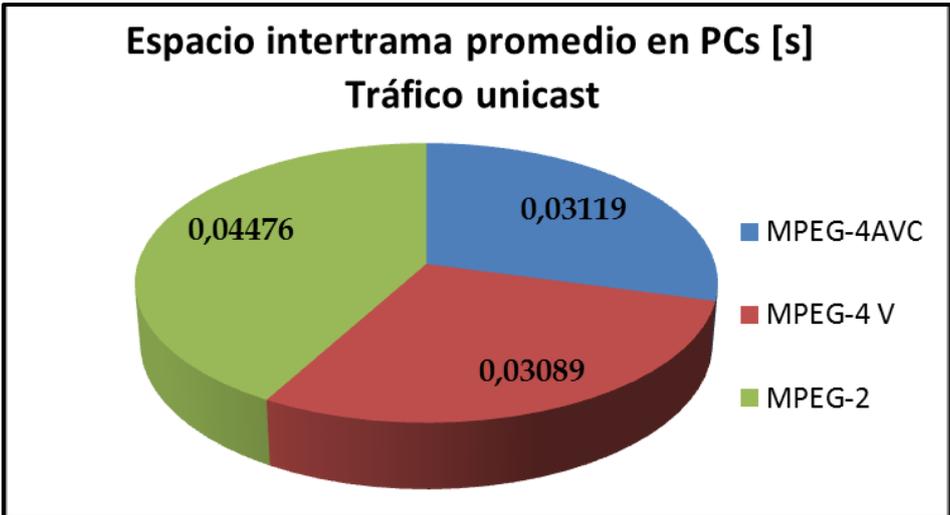


Figura IV.58 Espacio intertrama promedio en los clientes.

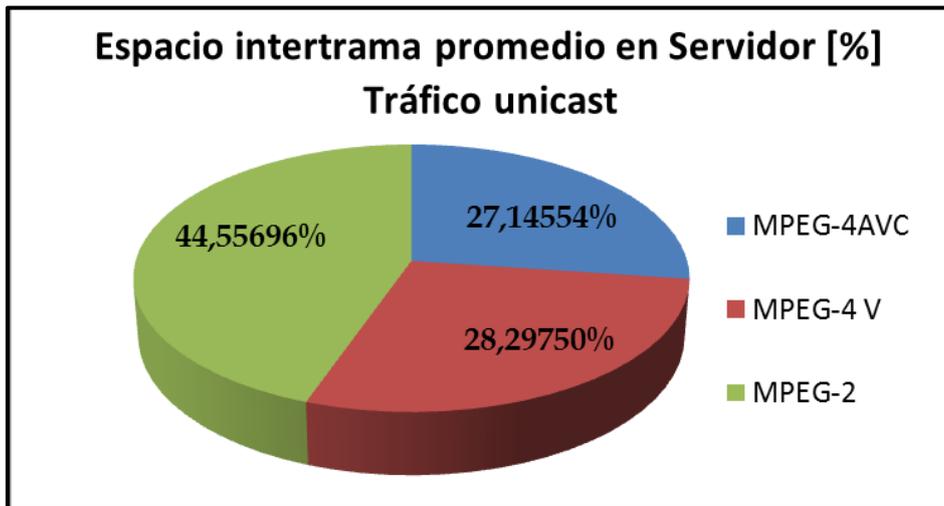


Figura IV.59 Espacio intertrama promedio porcentual en el servidor.

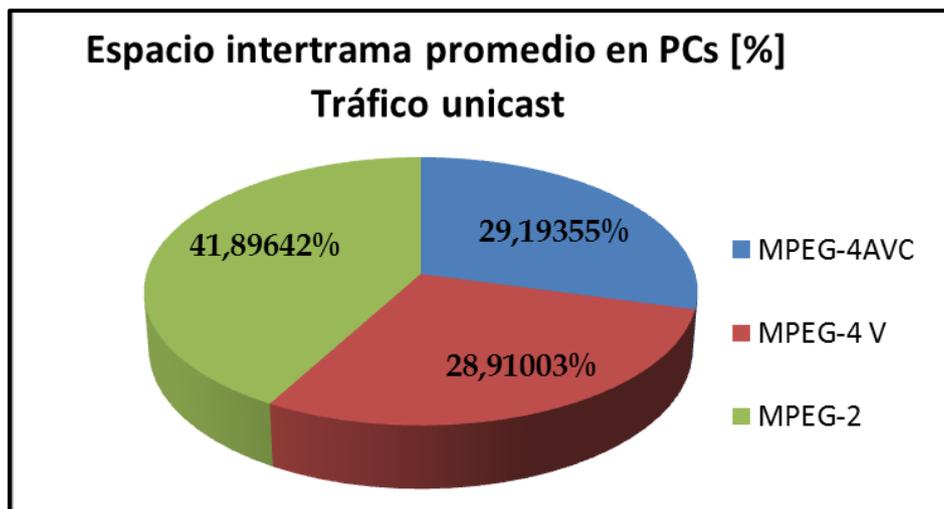


Figura IV.60 Espacio intertrama promedio porcentual en los clientes.

También en este caso, MPEG-2 es el codec que tiene el mayor espacio intertrama. En este caso se diferencia lo que ocurre en el Servidor, donde MPEG-4 Visual y MPEG-4 AVC tienen un tiempo menor un 36,5 % y 39,08%, respectivamente, como se muestra en la Figura IV.61. Para el caso de los clientes hay una diferencia muy similar con respecto a los otros codecs del orden del 30% menos, tal cual se describe en la Figura IV.62 como porcentaje relativo al tiempo promedio mayor.

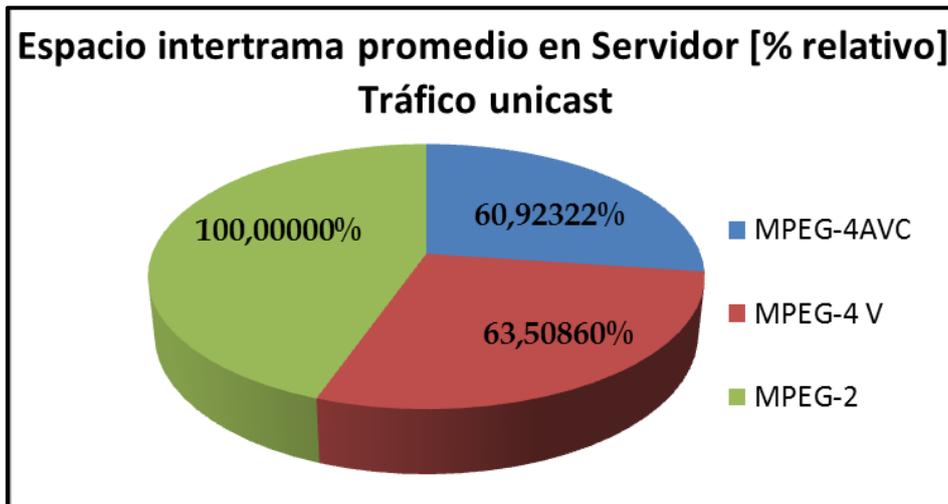


Figura IV.61 Espacio intertrama promedio porcentual relativo en servidor.

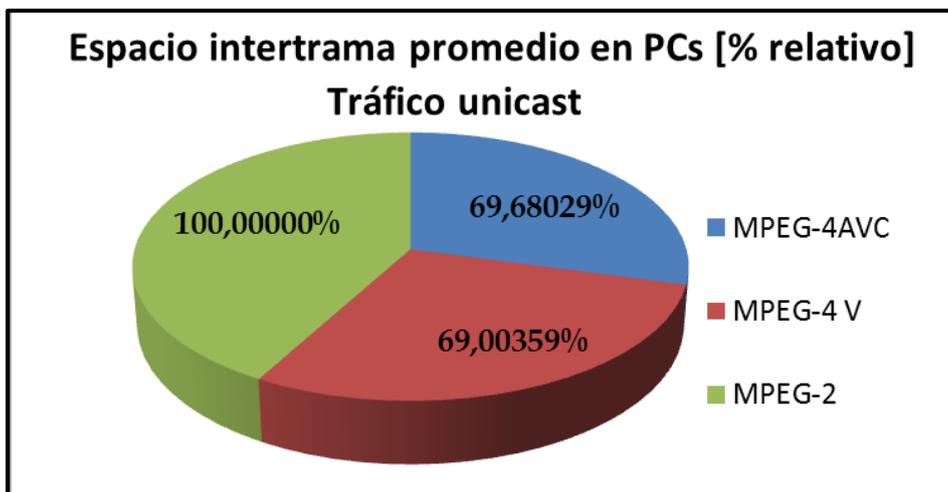


Figura IV.62 Espacio intertrama promedio porcentual relativo en clientes.

Al efectuar una comparación del espacio intertrama entre servidor y clientes se observa una diferencia notable del orden del 87%, como se observa en las Figuras IV.63 y IV.64.

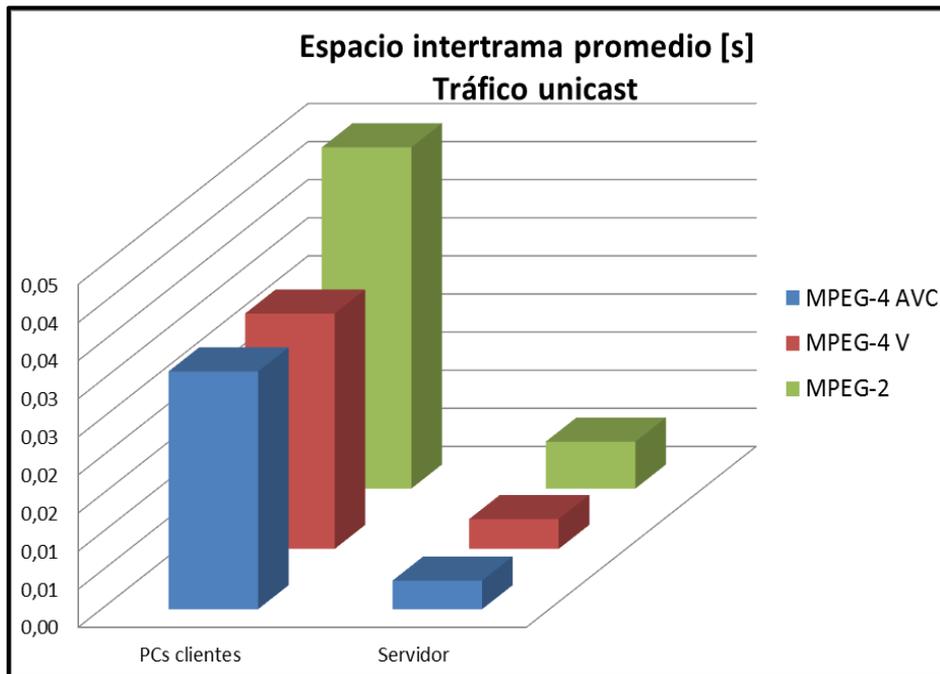


Figura IV.63 Comparación espacio intertrama promedio entre servidor y clientes.

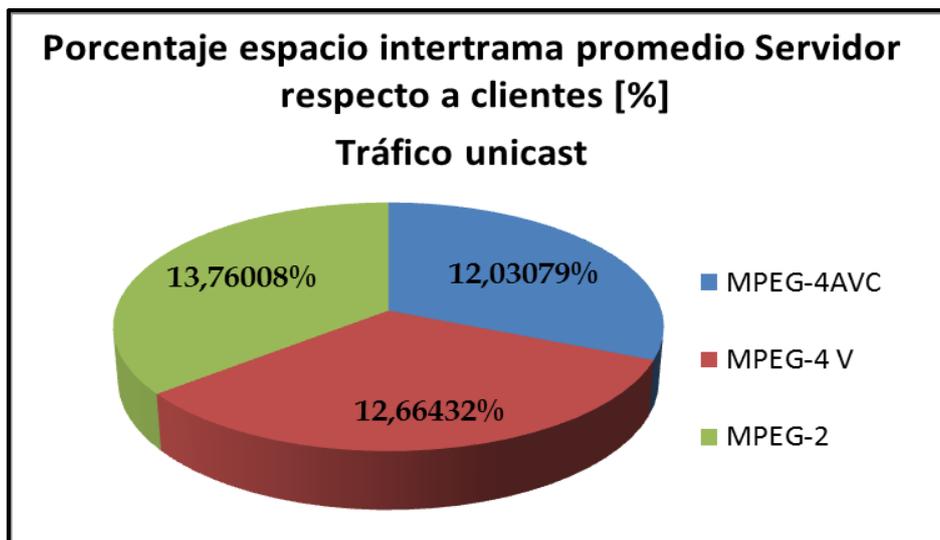


Figura IV.64 Comparación espacio intertrama promedio entre servidor y clientes.

IV.3.3.6 Velocidad de transmisión promedio

Finalmente, se analizó la tasa promedio de transmisión entre el servidor y cada una de las PCs. Los valores son prácticamente los mismos para un codec en particular, como se muestra en la Figura IV.65.

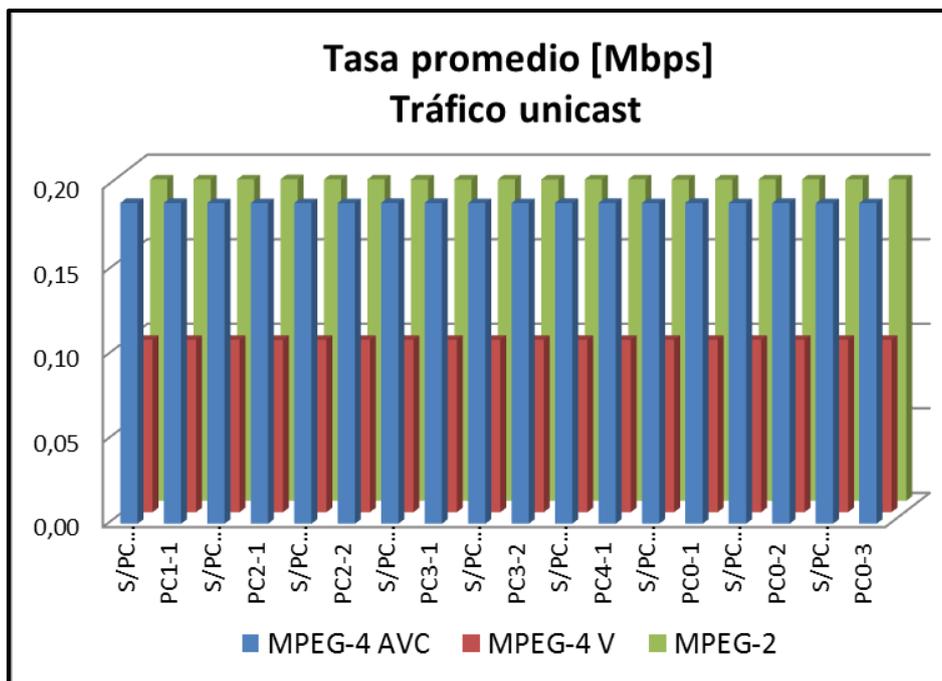


Figura IV.65 Tasa de bits promedio por codec por PC.

Sin embargo, hay diferencias de velocidad entre diferentes codecs, cuando se representa el promedio de todas las PCs para el mismo codec. Esta característica se presenta en las Figuras IV.66 y IV.67.

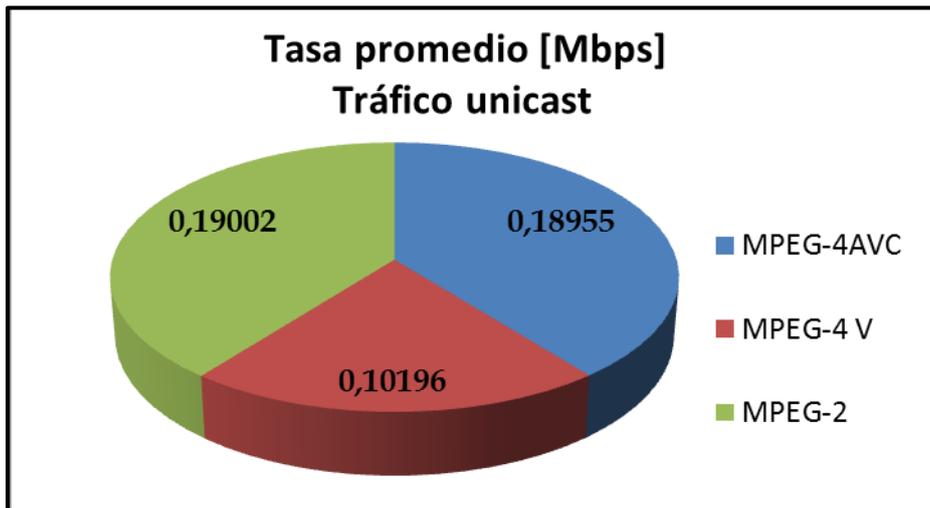


Figura IV.66 Tasa de bits promedio por códec.

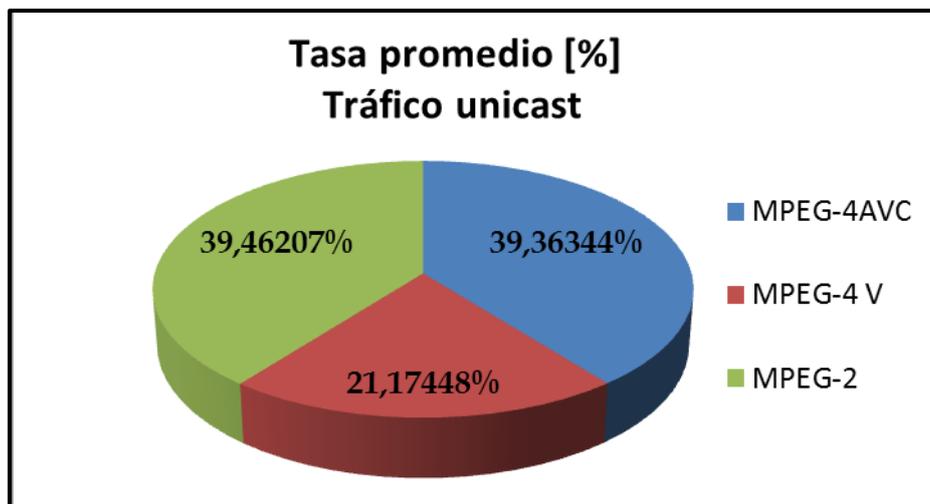


Figura IV.67 Tasa de bits promedio porcentual por codec.

De acuerdo a lo observado en las Figuras, MPEG-2 es el codec que tiene la mayor tasa de bits, con una diferencia ínfima con MPEG-4 AVC (de 0,25%); mientras que MPEG-4 V necesita una tasa de bits del 46,34% menor, como se describe en la Figura IV.68.

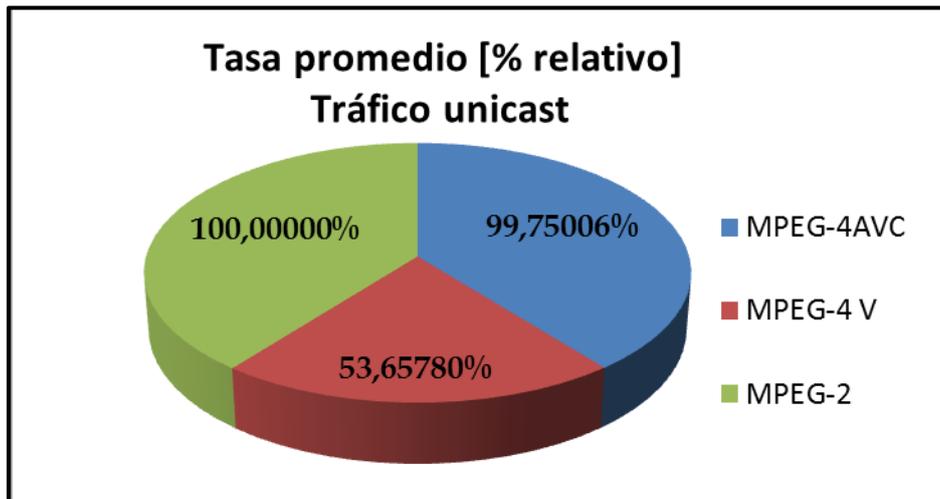


Figura IV.68 Tasa de bits promedio porcentual relativo por códec.

IV.3.4 Distribuciones estadísticas de los codecs para tráfico unicast

También se analizaron las distribuciones estadísticas de tamaños de trama y de espacios entre tramas para cada códec de vídeo del tráfico de unicast.

IV.3.4.1 Distribución estadística del códec MPEG-4 AVC

Se analiza solamente la distribución de los 906 paquetes agrupados por espacios entre tramas, que es la métrica que varía significativamente con respecto al tráfico multicast.

En la Figura IV.69, se muestra la distribución de los espacios intertramas para el tráfico saliente del servidor por orden de salida (desde el paquete 1 al último paquete del video correspondiente), donde los mismos varían entre 0,0004 y 25 milisegundos. Se aprecia una distribución variable.

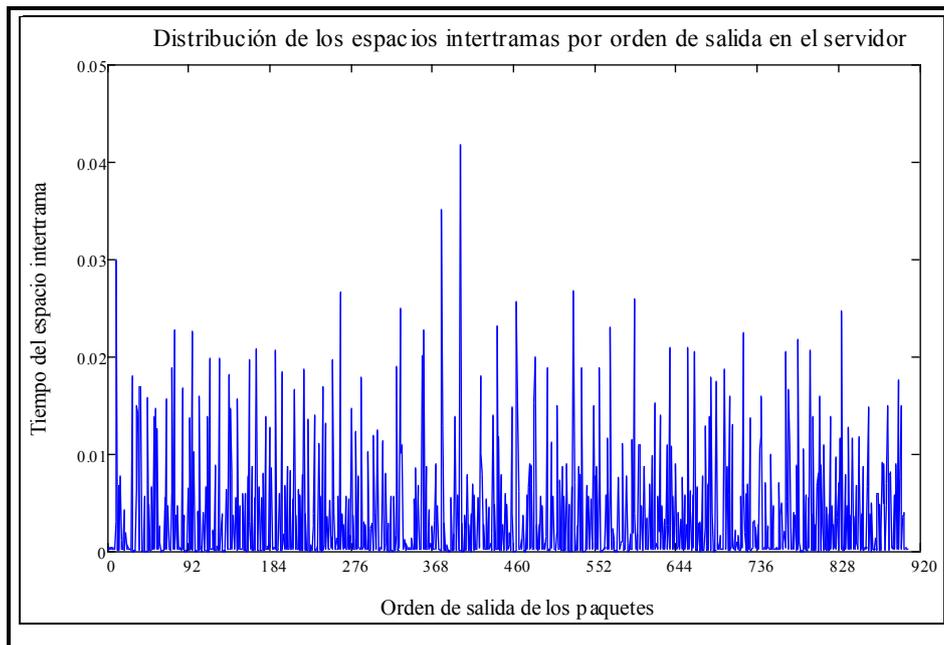


Figura IV.69 Distribución del espacio intertrama de paquetes de salida del servidor.

Y en la Figura IV.70 se observa que para la mayor cantidad de paquetes, el espacio intertrama es inferior a 1 ms (65%), y luego, hay una distribución entre 1 y 24 ms (32%).

Mientras que en la Figura IV.71 se muestra la distribución de los espacios intertramas para el tráfico entrante a las PCs clientes por orden de llegada. Los mismos varían entre 0,0043 y 90 milisegundos. También en este caso se aprecia una distribución variable

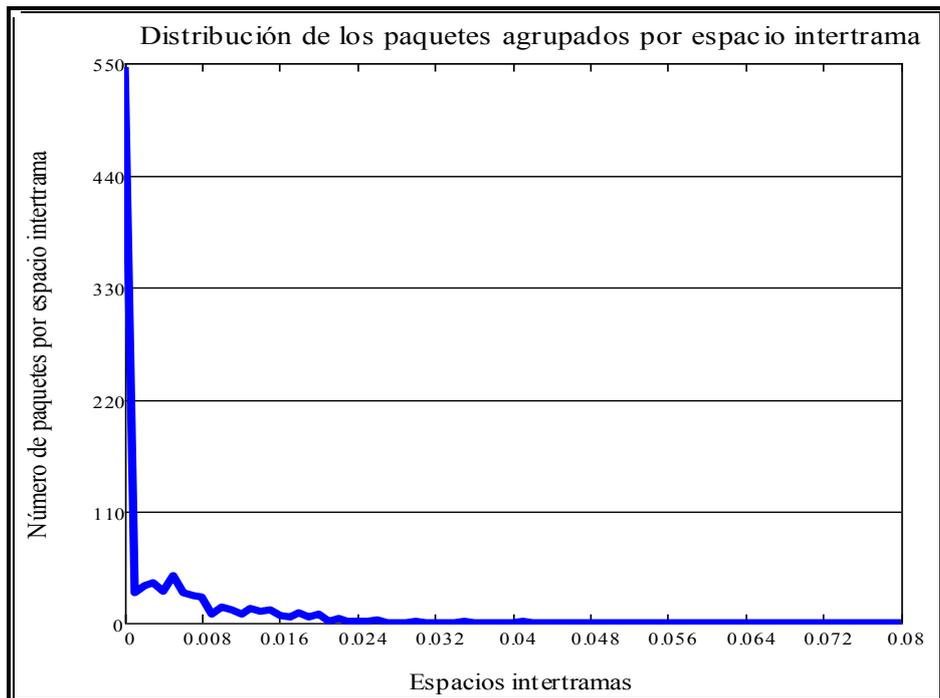


Figura IV.70 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en el servidor.

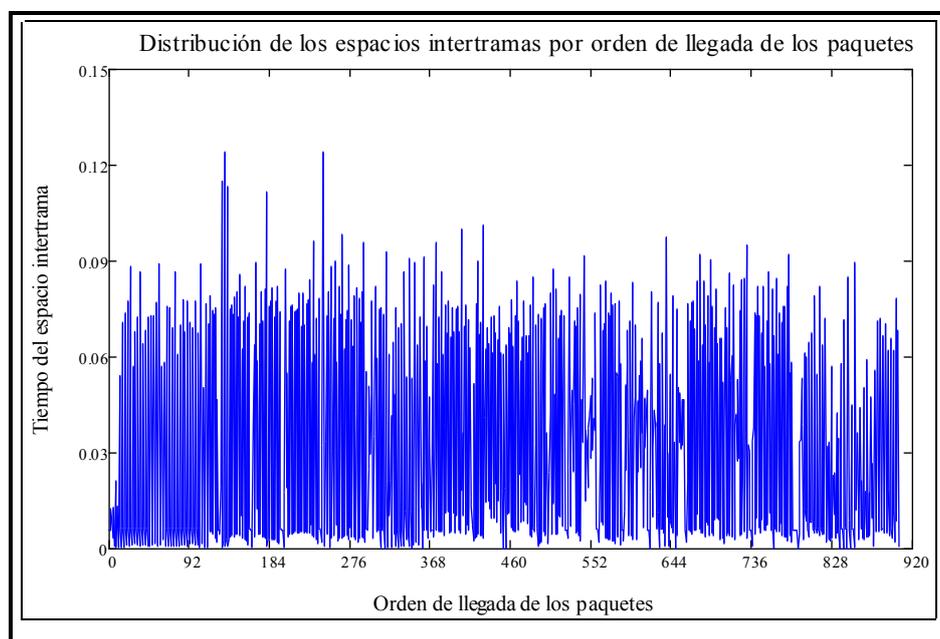


Figura IV.71 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada en clientes.

Y en la Figura IV.72 se observa que a la mayor cantidad de paquetes, el espacio intertrama es inferior a 5 ms (50%) y luego hay una distribución variable hasta los 90 ms, en semejanza a lo ocurrido en tráfico multicast.

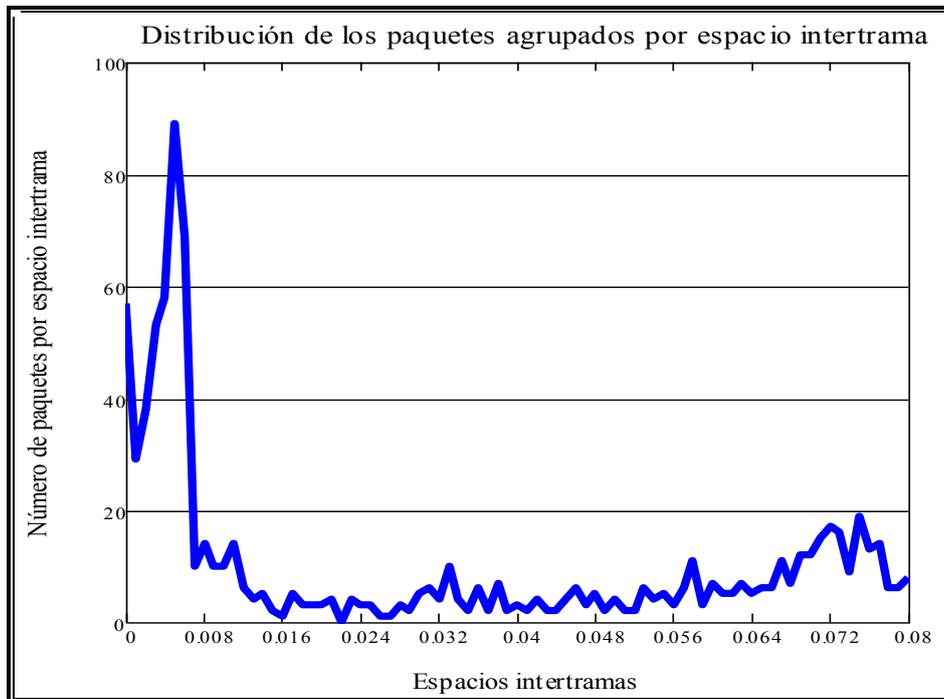


Figura IV.72 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes.

IV.3.4.2 Distribución estadística del codec MPEG-4 VISUAL

Se analiza solamente la distribución de los 913 paquetes agrupados por espacios entre tramas, que es la métrica que varía significativamente con respecto al tráfico multicast.

En la Figura IV.73 se muestra la distribución de los espacios intertramas para el tráfico saliente del servidor por orden de salida (desde el paquete 1 al último paquete del video correspondiente), donde los mismos varían entre 0,0005 y 13 milisegundos. Se aprecia la distribución variable.

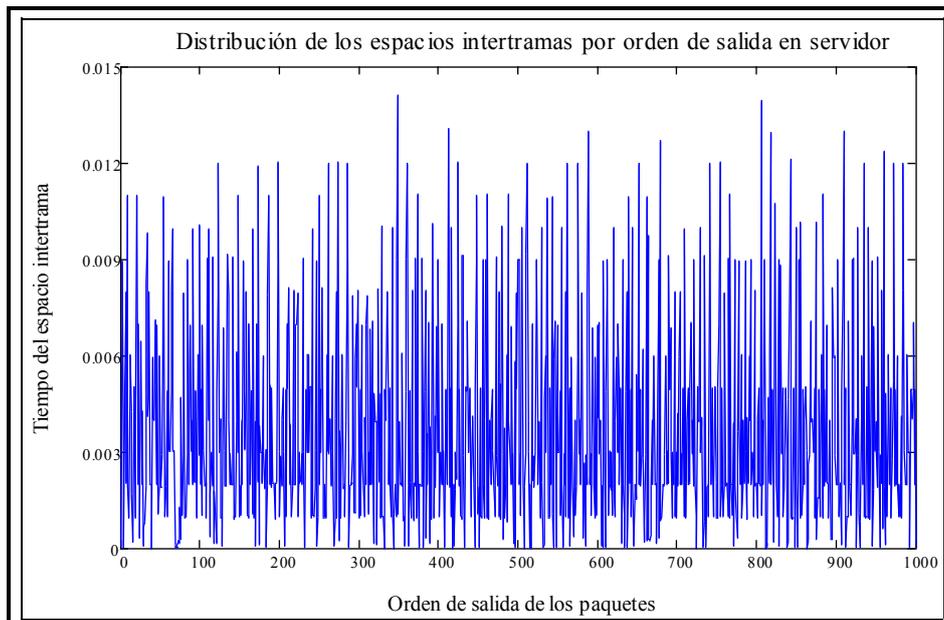


Figura IV.73 Distribución del espacio intertrama por orden de salida del servidor.

Y en la Figura IV.74 se observa que en la mayor cantidad de paquetes, el espacio intertrama es inferior a 1 ms (25%), luego hay pico entre 1 y 6 ms (50%, y el resto entre 6 y 12 ms (25%).

Mientras que en la Figura IV.75 se presenta la distribución de los espacios intertramas para el tráfico entrante a las PCs clientes por orden de llegada. Los mismos varían entre 0,001 y 50 milisegundos. También en este caso se observa una distribución variable

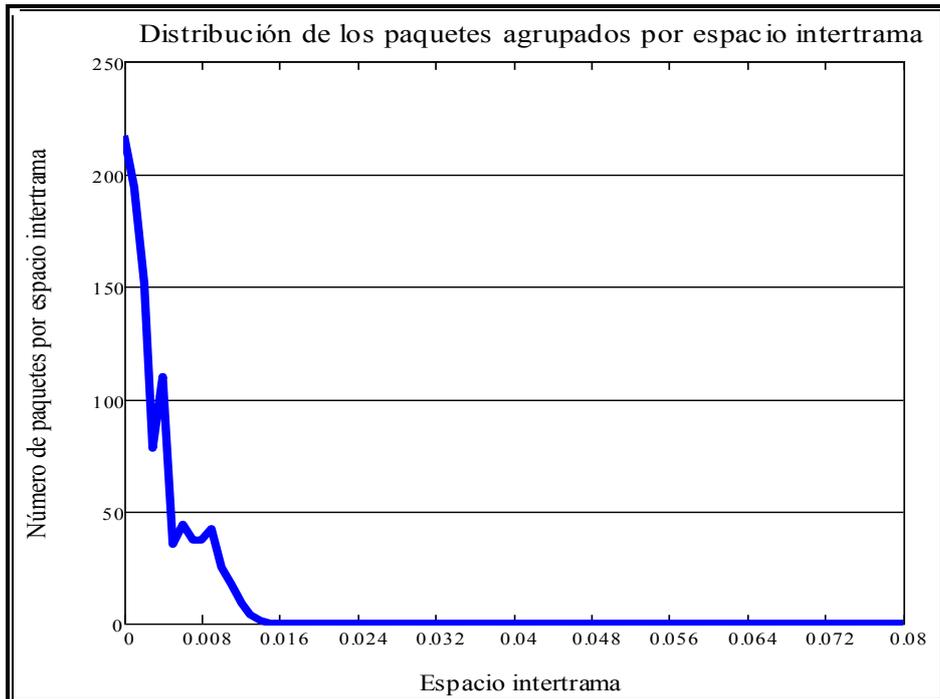


Figura IV.74 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en el servidor.

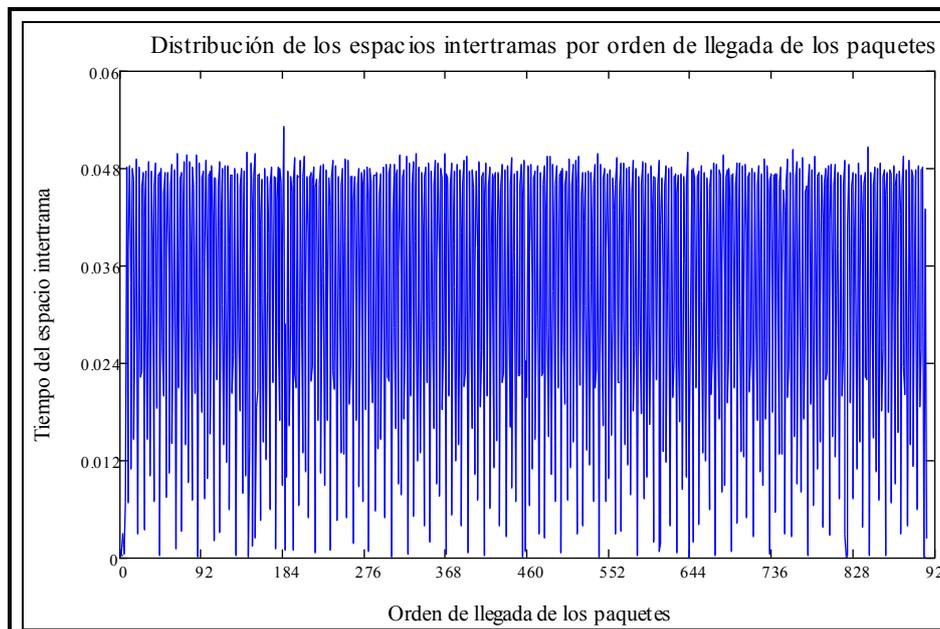


Figura IV.75 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada en clientes.

Y finalmente, en la Figura IV.76 se observa que hay una distribución variable hasta los 40 ms, mientras que se produce un pico importante entre los 40 y 50ms (40%), en semejanza a lo ocurrido en tráfico multicast.

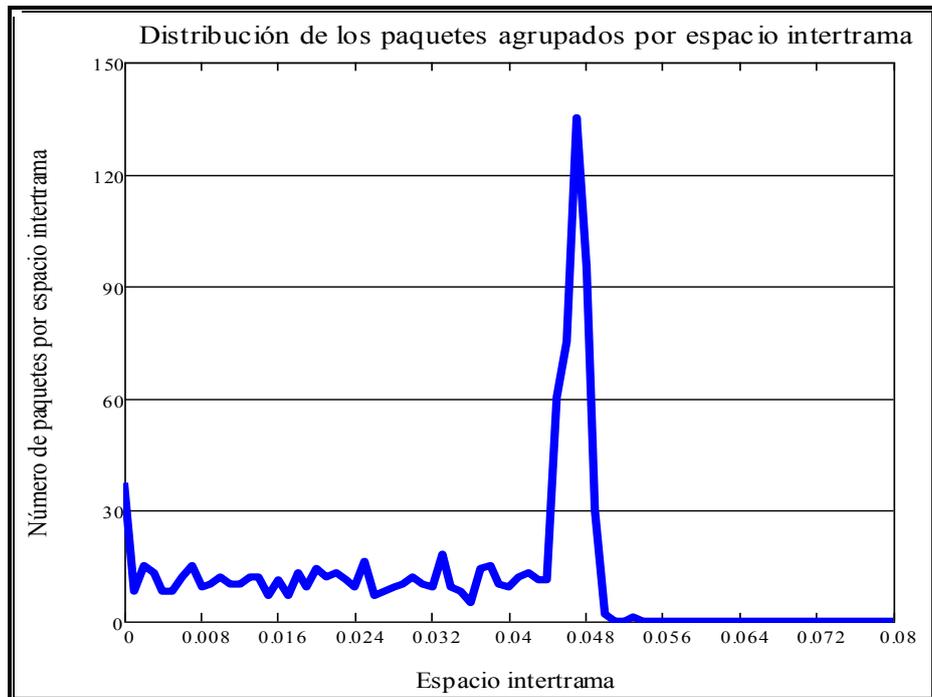


Figura IV.76 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes.

IV.3.4.3 Distribución estadística del codec MPEG-2

Como en los casos anteriores, se analiza solamente la distribución de los 608 paquetes agrupados por espacios entre tramas, dado que esta es la métrica que varía significativamente con respecto al tráfico multicast.

En la Figura IV.77, se muestra la distribución de los espacios intertramas para el tráfico saliente del servidor por orden de salida (desde el paquete 1 al último paquete del video correspondiente), donde los mismos varían entre 0,0002 y 30 milisegundos.

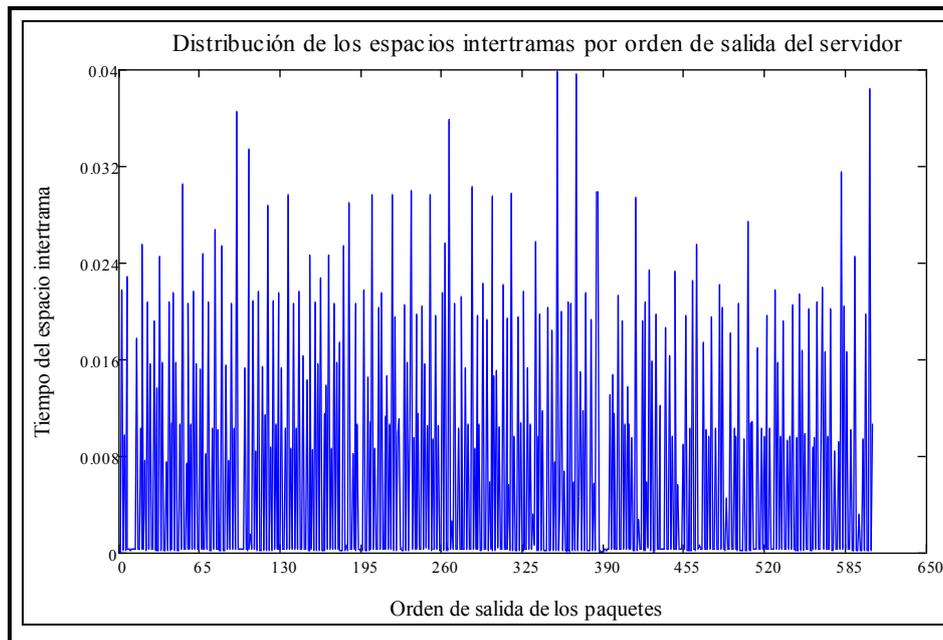


Figura IV.77 Distribución del espacio intertrama por orden de salida del servidor.

Y en la Figura IV.78, se observa que para la mayor cantidad de paquetes, el espacio intertrama es inferior a 1 ms (65%), y luego, hay una distribución entre 1 y 30 ms (32%).

En la Figura IV.79 se muestra la distribución de los espacios intertramas para el tráfico entrante a las PCs clientes por orden de llegada. Los mismos varían entre 0,003 y 120 milisegundos.

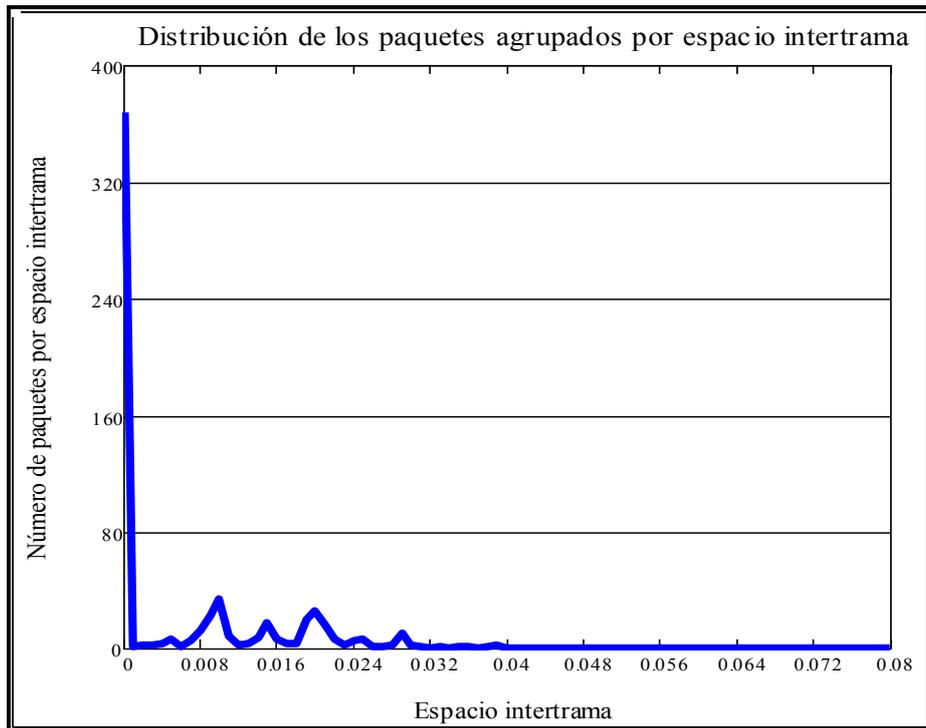


Figura IV.78 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en el servidor.

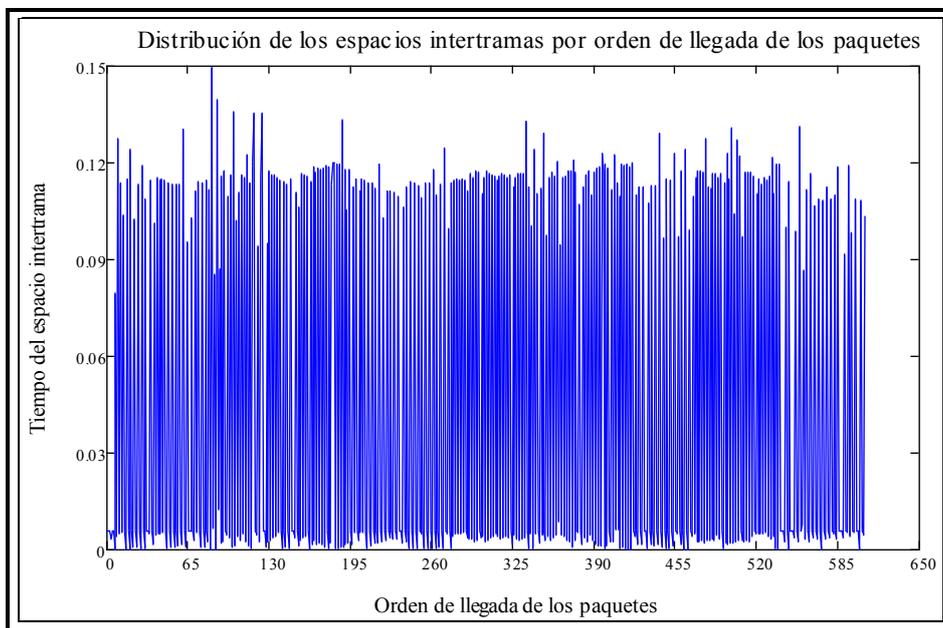


Figura IV.79 Distribución del espacio intertrama por orden de llegada en clientes.

Y en la Figura IV.80 se observa que hay una distribución del espacio intertrama hasta los 8 ms (40%), y luego, hay una pico entre los 90 y 125 ms, en semejanza a lo ocurrido en tráfico multicast.

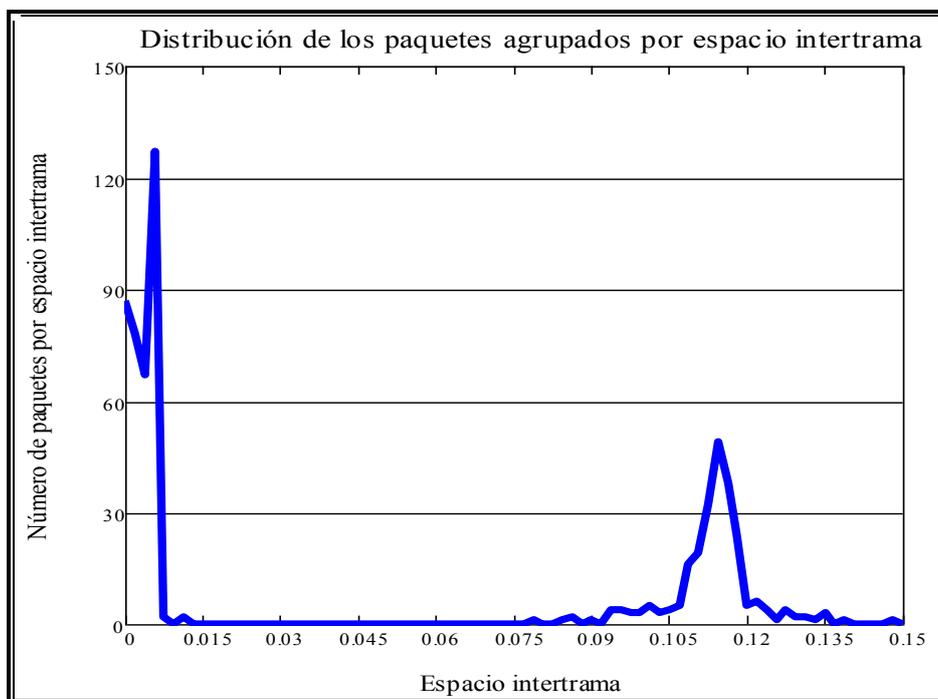


Figura IV.80 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes.

IV.3.4.4 Comparación de la distribución estadística entre los codecs

Por último, como en el caso multicast, también se analizaron las distribuciones estadísticas de espacios entre tramas para cada codec, superponiendo las respuestas de los codecs en una sola Figura (en verde la respuesta de MPEG-4/AVC, en rojo de MPEG-4/V y azul de MPEG-2).

En la Figura IV.81, se muestran las diferencias observadas en la distribución de espacio entre tramas para el tráfico emitido desde el servidor. MPEG-4 AVC y MPEG-2 presentan una mayor concentración de tramas por debajo de 2 ms.

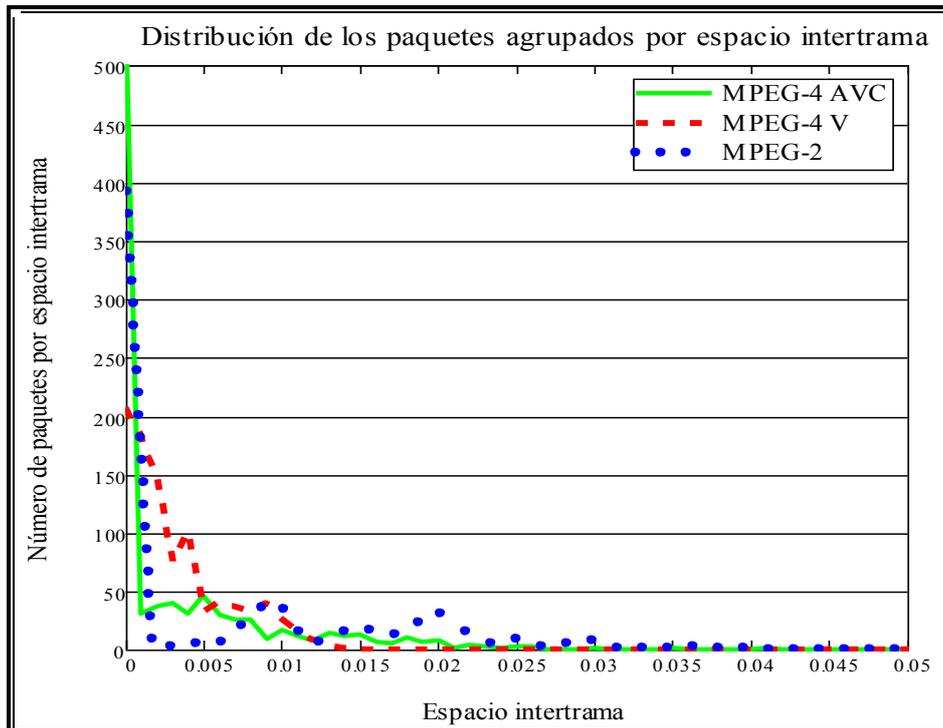


Figura IV.81 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en servidor.

En la Figura IV.82 se muestran las diferencias observadas en la distribución de espacio entre tramas para el tráfico recibido en los clientes. MPEG-4 AVC y MPEG-2 presentan una mayor concentración de tramas por debajo de 10 ms.

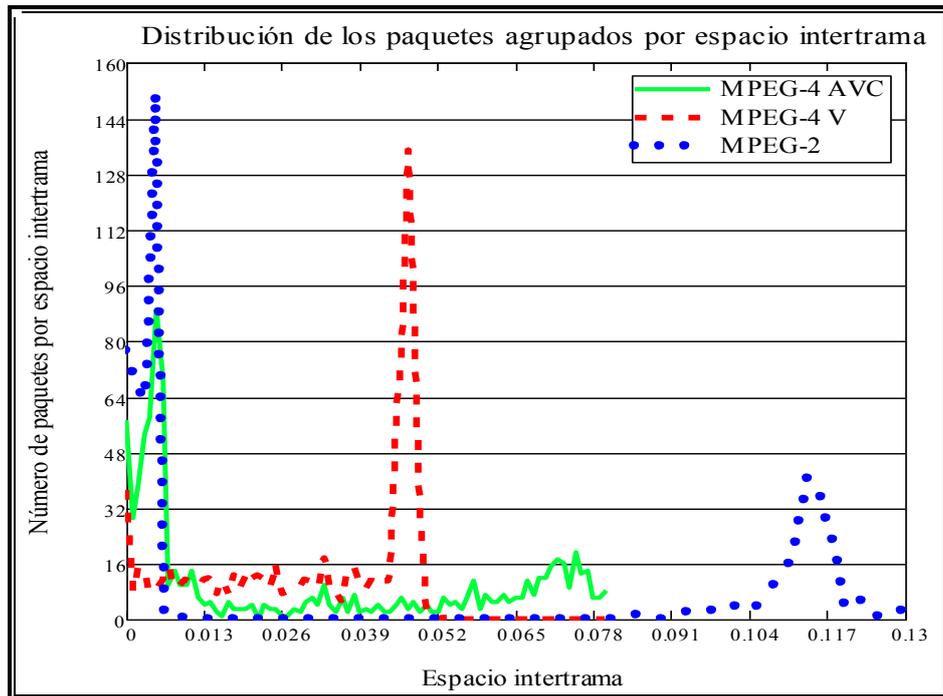


Figura IV. 82 Distribución de los paquetes agrupados por espacio intertrama en clientes.

IV.4) Comparación de resultados entre tráfico multicast y unicast

Para finalizar, se muestran gráficos comparando las métricas cuando se utiliza tráfico unicast o multicast, en el servidor y/o en los clientes.

IV.4.1 Comparación del número de bytes y tamaño de paquetes

En la Figuras IV.83 y IV.84 se observan las comparaciones de las métricas promedio obtenidas para el número de bytes y el tamaño de paquetes para cada codec, respectivamente.

Si se compara el número total de bytes, se observa que para el caso del tráfico unicast de salida del servidor, el incremento notable en la cantidad de bytes, debido a la multiplicación de flujos por clientes existentes.

Para el caso de tamaño de paquetes, se observa un comportamiento similar para cada tipo de codec, independientemente si se trata de tráfico unicast o multicast.

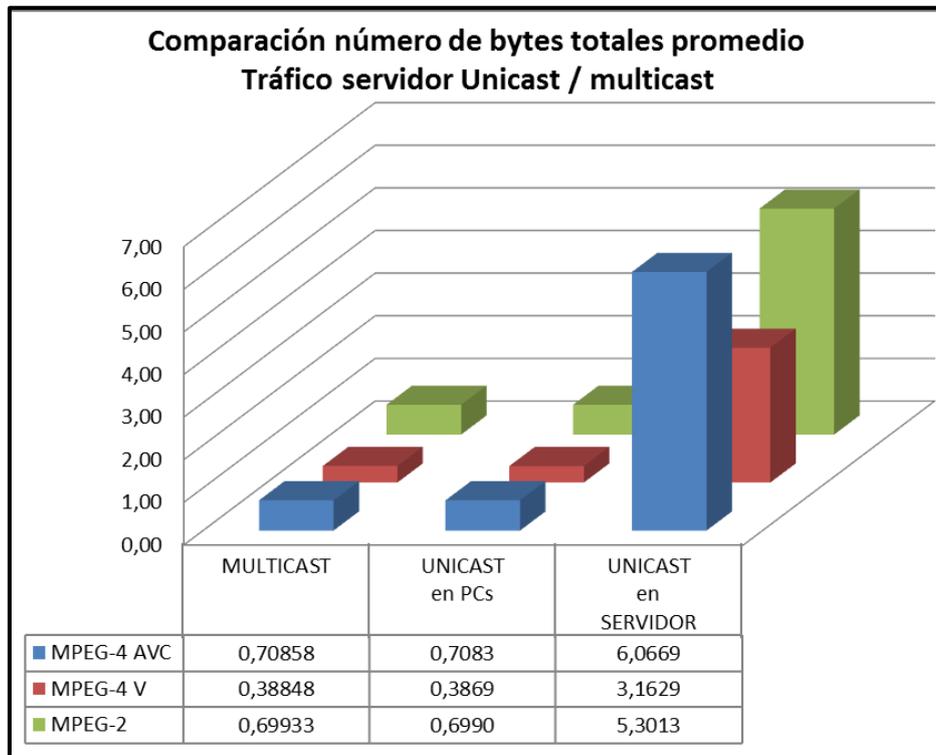


Figura IV.83 Número de bytes promedio – Multicast vs Unicast.

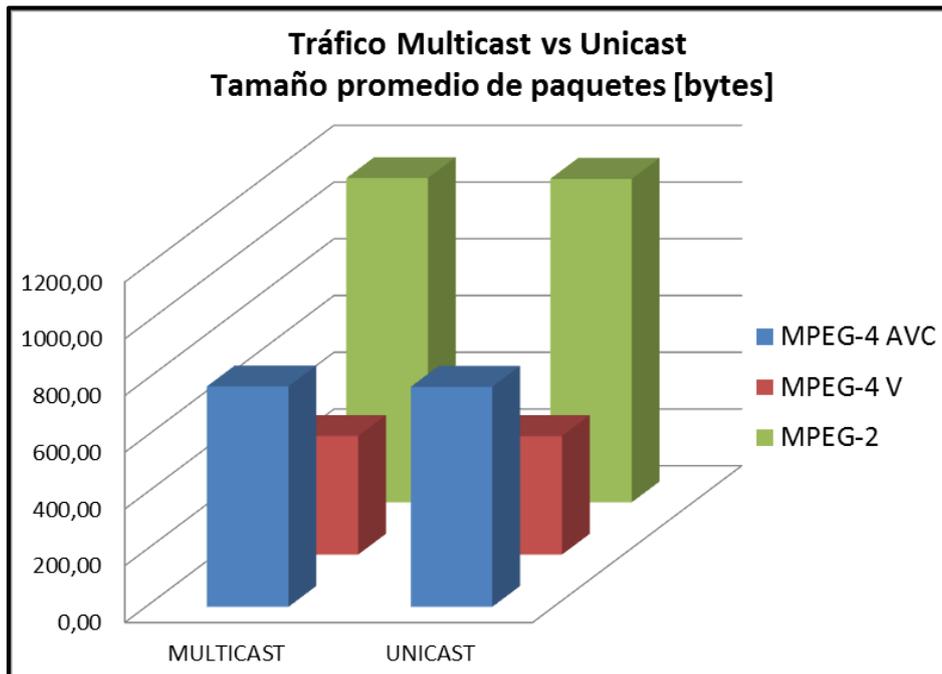


Figura IV.84 Tamaño promedio de paquetes – Multicast vs Unicast.

IV.4.2 Comparación de los tiempos intertramas

En la Figura IV.85 se observa la comparación de las métricas promedio obtenidas para el espacio intertrama para cada codec. Se observa que estos tiempos tomados en los clientes son prácticamente iguales para el caso de tráfico multicast y unicast. Sin embargo, hay una importante reducción para el espacio intertrama en el tráfico que se emite en el servidor para unicast, como se explicó en el punto IV.3.3.4. Entonces, para esta métrica sobre el servidor, sí influye el tipo de tráfico y el codec empleado.

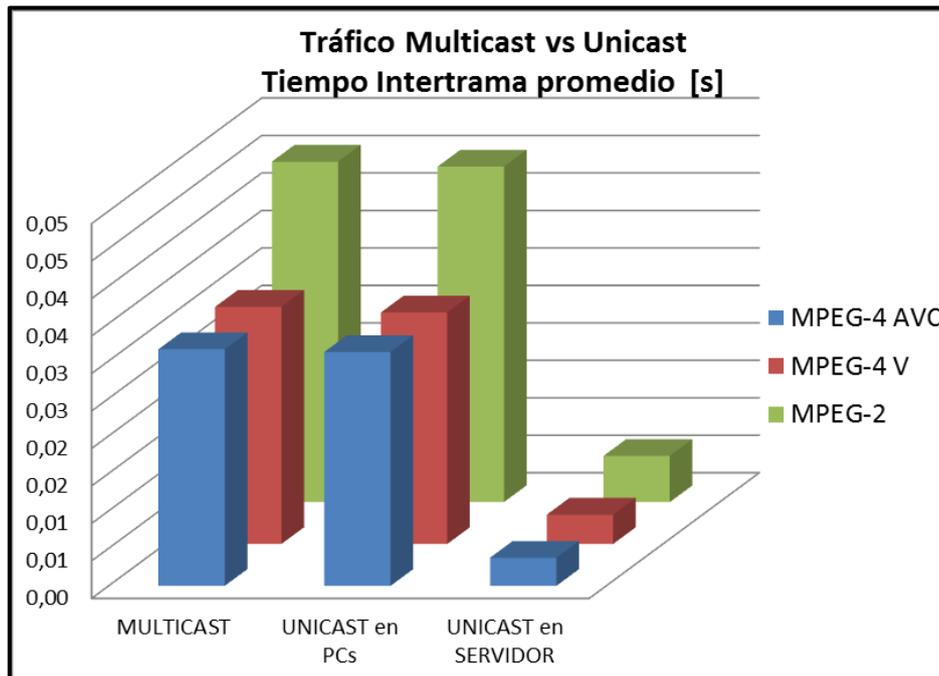


Figura IV.85 Espacio intertrama promedio – Multicast vs Unicast.

IV.4.3 Comparación entre retardo y diferencia de retardo (jitter)

Finalmente, se analizó el retardo de transmisión entre el servidor y cada una de las PCs y sus diferencias, a los efectos de evaluar el impacto en la QoS del tráfico de video. Estos valores no están expresados en las tablas de valores vistas previamente, ya que los mismos varían entre las distintas mediciones realizadas.

El retardo total extremo a extremo entre el servidor y los clientes es una suma de varios retardos involucrados en cada instante, como retardo en cada enlace, retardo en los dispositivos activos como switchs y routers, retardo de transmisión en el servidor y retardo de recepción en cada cliente. No depende específicamente de un codec de video en particular, aunque hay diferencias en las mediciones realizadas.

Como para obtener algunos valores representativos se hizo un promedio de varias mediciones, los que se grafican en la Figura IV.86:

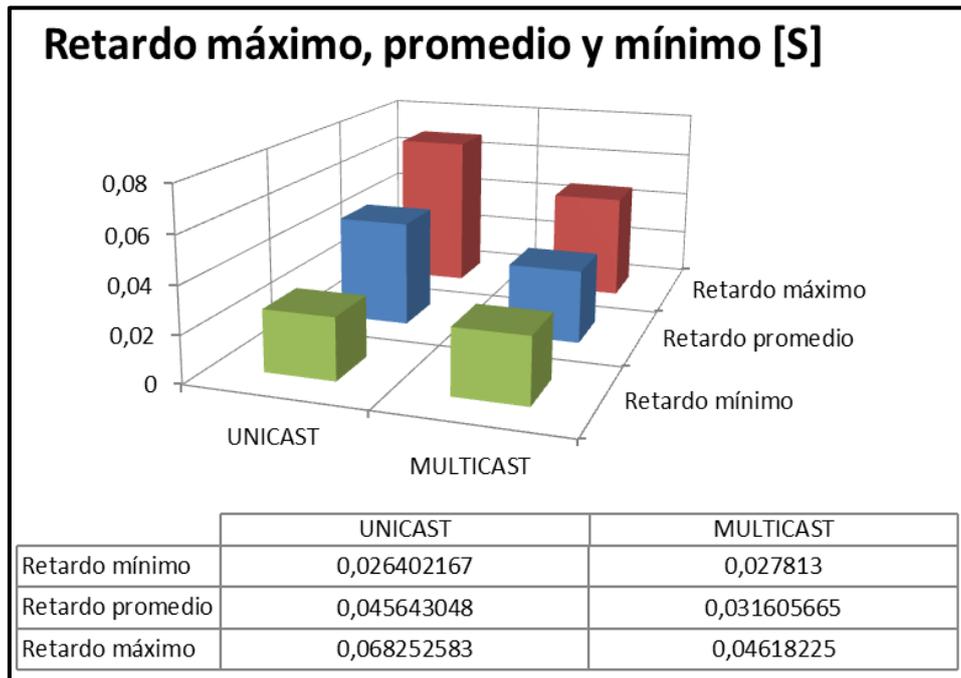


Figura IV.86 Retardo promedio, máximo y mínimo.

Se aprecia que el tráfico unicast presenta valores máximo y promedio superiores en un orden del 45%. Este comportamiento se debe principalmente al incremento del número de flujos de paquetes en la red.

Mientras que desde la diferencia entre los retardos mínimos y máximos se puede obtener el jitter máximo.

En la Figura IV.87 se aprecia que el jitter es un 47% menor en el tráfico multicast que en el tráfico unicast.

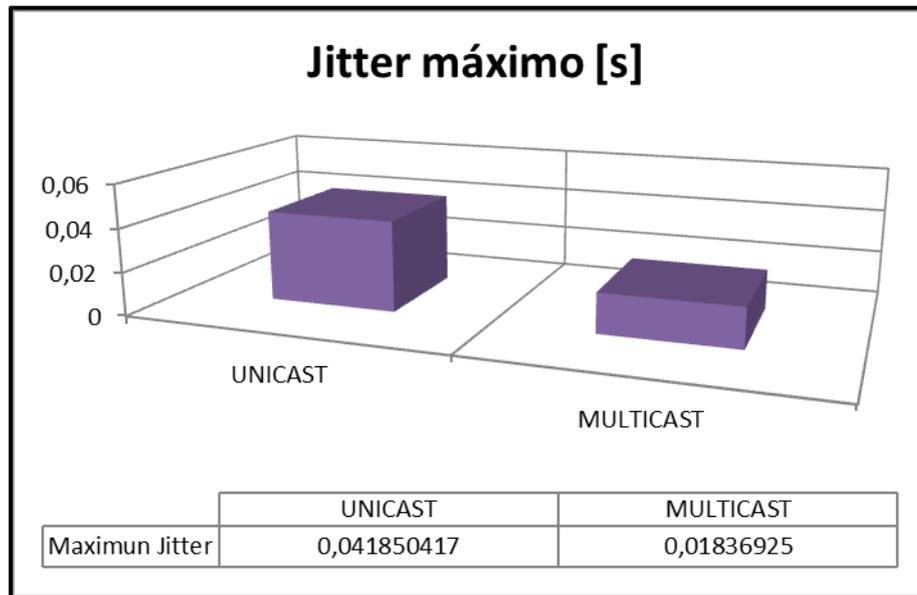


Figura IV.87 Jitter máximo.

IV.4.4 Sobrecarga sobre los enlaces WAN (tasa de bits totales)

La configuración de ruteo y de ancho de banda establecida sobre la topología general, usada para los Escenarios 1, 2, 3 4, definió los caminos para cada uno de los tráficos, (indicados en la Figura IV.88), entre el servidor de video y las estaciones más remotas. Esto implica una sobrecarga sobre los enlaces WAN para el tráfico unicast, que pueden quedar comprometidos dependiendo de la cantidad de flujos que los atraviesen y el tráfico adicional al de video, típico de una organización empresarial.

En el capítulo III se explicaron las configuraciones correspondientes. En la Figura sólo se indican los flujos resultantes.

Para ver la influencia de este tráfico adicional, se muestra esta característica para los distintos Escenarios. Se analiza la tasa de bits, medida en cada enlace en forma individual para cada escenario, y se efectúa una comparación entre las mismas.

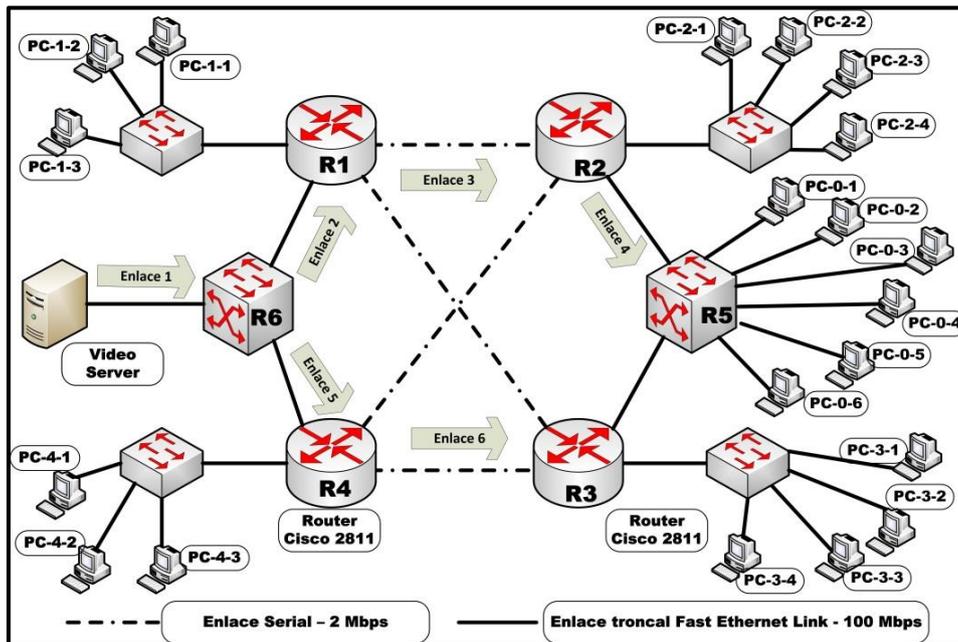


Figura IV.88 Caminos de tráficos de la topología Escenarios 1, 2 3 y 4.

En la Figura IV.89 se muestra la tasa de bits para el Escenario 1.

En el Enlace 1 (salida del servidor) hay 3 flujos simultáneos, en el Enlace 2 hay 2 flujos simultáneos, mientras que en el resto de los enlaces hay un solo flujo de datos. En este escenario no hay prácticamente sobrecarga en los enlaces.

En la Figura IV.90 se presenta la tasa de bits para el Escenario 2.

En el Enlace 1 (salida del servidor) hay 6 flujos simultáneos, en el Enlace 2 hay 4 flujos simultáneos, en el Enlace 3 hay 3 flujos simultáneos, en los Enlaces 4 y 5 hay 2 flujos simultáneos, y en el Enlace 6 hay un solo flujo. En este escenario ya se aprecia la sobrecarga, especialmente para los codecs MPEG-4 AVC y MPEG-2.

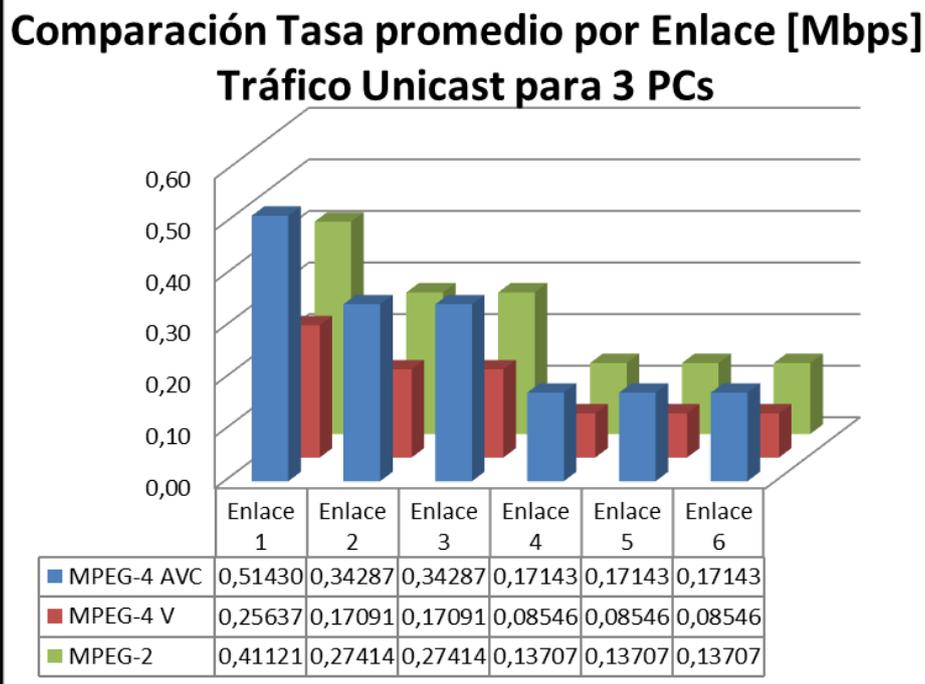


Figura IV.89 Tasa promedio por enlace para 3 PCs.

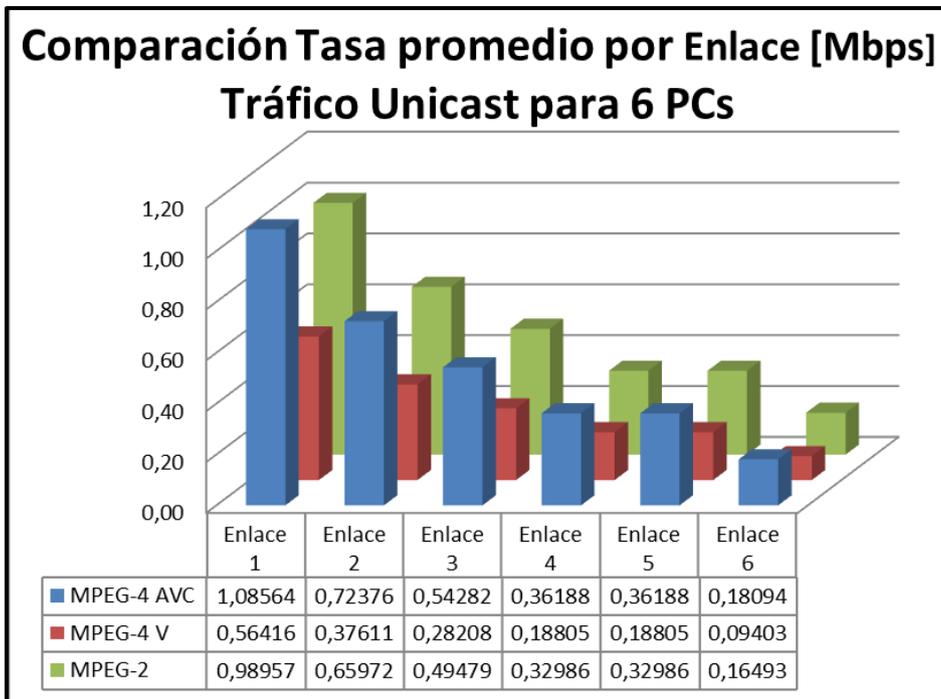


Figura IV.90 Tasa promedio por enlace para 6 PCs.

En la Figura IV.91 muestra la tasa de bits para el Escenario 3.

En el Enlace 1 (salida del servidor) hay 9 flujos simultáneos, en el Enlace 2 hay 6 flujos simultáneos, en el Enlace 3 hay 5 flujos simultáneos, en los Enlaces 4 y 5 hay 3 flujos simultáneos, y en el Enlace 6 hay 2 flujos simultáneos. En este escenario se aprecia la sobrecarga, especialmente para los codecs MPEG-4 AVC y MPEG-2, donde hay una ocupación del orden del 50% de la capacidad de los enlaces seriales (Enlace 3).

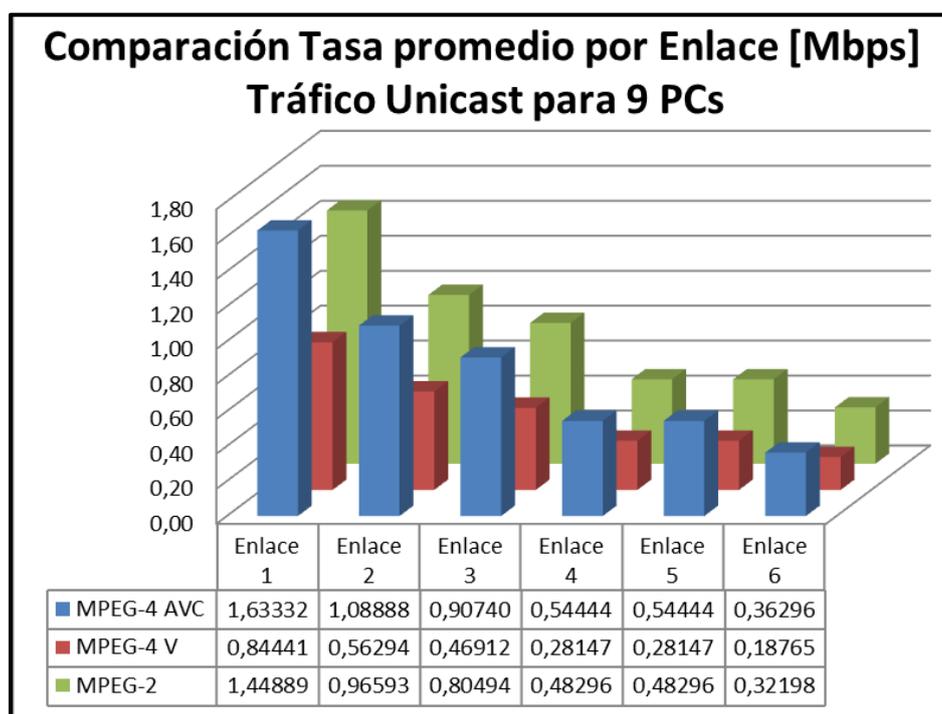


Figura IV.91 Tasa promedio por enlace para 9 PCs.

Al analizar los escenarios anteriores, se observa que en ningún caso se ve comprometido el ancho de banda de cada uno de los enlaces analizados. Se recuerda que los enlaces 1, 2, 4 y 5 tienen un ancho de banda de 100Mbps; mientras que los enlaces 3 y 6 tienen un ancho de banda de 2 Mbps.

Finalmente, en la Figura IV.92 se muestra la tasa de bits para el Escenario 4.

Este escenario implica una sobrecarga aún mayor sobre los enlaces WAN para el tráfico unicast, que pueden quedar comprometidos dependiendo del tráfico adicional al de video, típico de una organización empresarial.

En el Enlace 1 (salida del servidor) hay 20 flujos simultáneos, en el Enlace 2 hay 13 flujos simultáneos, en el Enlace 3 hay 10 flujos simultáneos, en el Enlace 4 hay 6 flujos simultáneos, en el Enlace 5 hay 7 flujos simultáneos y en el Enlace 6 hay 4 flujos simultáneos.

En este escenario se aprecia que la sobrecarga, especialmente para los codecs MPEG-4 AVC y MPEG-2, se acerca al límite superior de capacidad del enlace 3. Hasta este escenario, la topología sigue libre de errores.

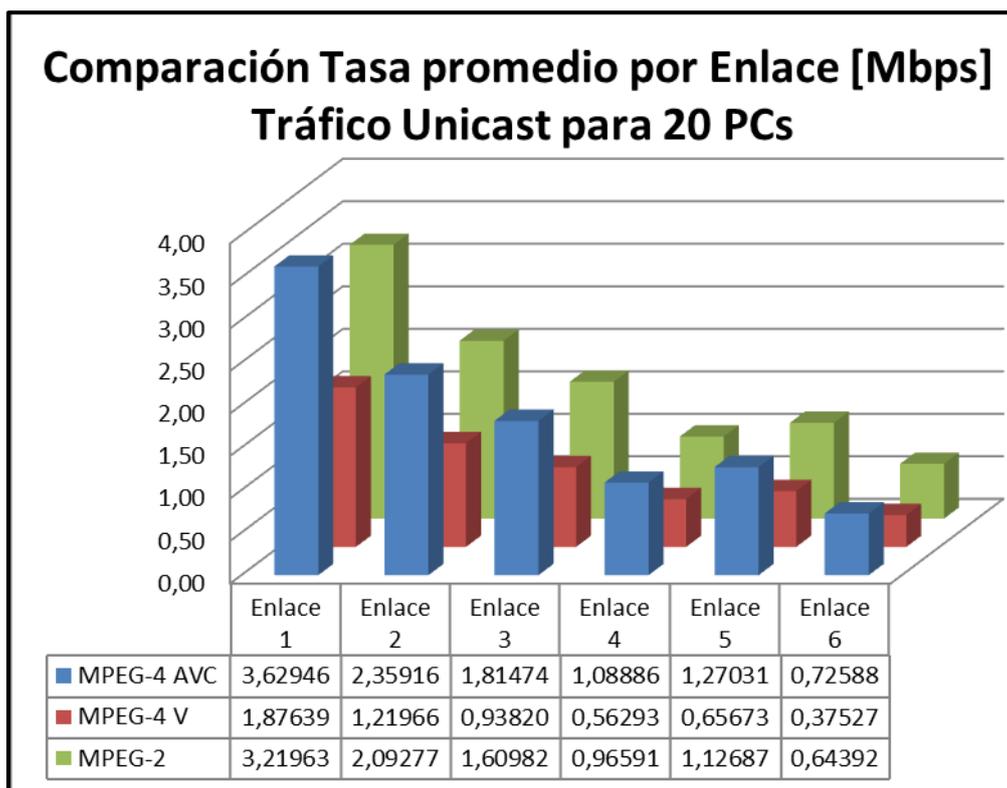


Figura IV.92 Tasa promedio por enlace para 20 PCs.

IV.4.5 Impacto sobre la QoS

La transmisión de video y multimedia sobre redes de datos enfrenta problemáticas específicas en lo que respecta a la calidad percibida por los usuarios. Varios tipos de degradaciones suelen presentarse en las señales de video transmitidas sobre redes de paquetes, como se analizó en el capítulo II.

De acuerdo a lo planteado en II.3.3, los factores específicos de las redes IP que afectan a la calidad de video, y sobre los que se pueden obtener conclusiones desde los ensayos realizados, son:

- a. **Pérdida de paquetes.** Se sugiere una pérdida menor al 1%. En los ensayos realizados en los 4 escenarios, no se detectan pérdida de paquetes, ya que se utiliza una topología y configuración con suficiente ancho de banda, como se analizó en el apartado anterior.
- b. **Retardo.** Se recomienda que el retardo no supere los 150 milisegundos. De acuerdo a lo analizado en la Figura IV.86, los retardos obtenidos en todos los casos no superan los 70 ms.
- c. **Jitter.** Se recomienda una diferencia de retardo no mayor a 30 milisegundos. De acuerdo a la Figura IV.87, para el caso de multicast se cumple dicha condición, mientras que para el caso de unicast, el jitter máximo está por encima de los 40 milisegundos, lo que puede traer algunos problemas en la reproducción de video.
- d. **Tasa de transferencia.** En cada codec de video se identifica la tasa de transferencia necesaria, de acuerdo a la resolución del video. El ancho de banda de cada enlace utilizado en la transferencia debe ser suficiente para la transferencia de todos los flujos de video intervinientes, como del tráfico de otros datos presentes. Si esto no se cumple, pueden aparecer los problemas anteriores de pérdida de paquetes y retardos mayores a los permitidos. En el punto IV.4.4 se pudo apreciar la influencia del incremento de ocupación del ancho de banda de los enlaces de acuerdo a la cantidad de flujos intervinientes

para tráfico unicast. Para el tráfico multicast, el incremento de clientes no afecta al ancho de banda.

En las Figuras IV.93, IV.94 y IV.95 se resume esta conducta, donde se muestra la tasa de transferencia total promedio para cada codec, en cada uno de los Escenarios.

En las mismas se aprecia claramente que el tráfico se mantiene constante para multicast, independientemente de la cantidad de clientes; mientras que, para el tráfico unicast, a la salida del servidor, la tasa de transferencia aumenta proporcionalmente a la cantidad de clientes conectados, lo que puede dar una idea de la cantidad máxima de clientes dependiendo del ancho de banda disponible.

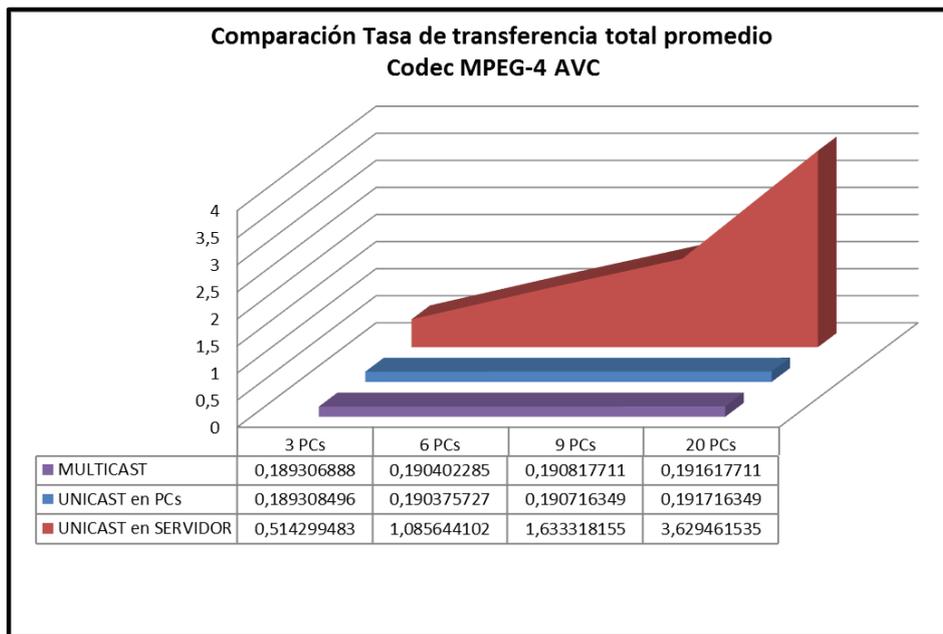


Figura IV.93 Tasa de transferencia total promedio – MPEG-4 AVC.

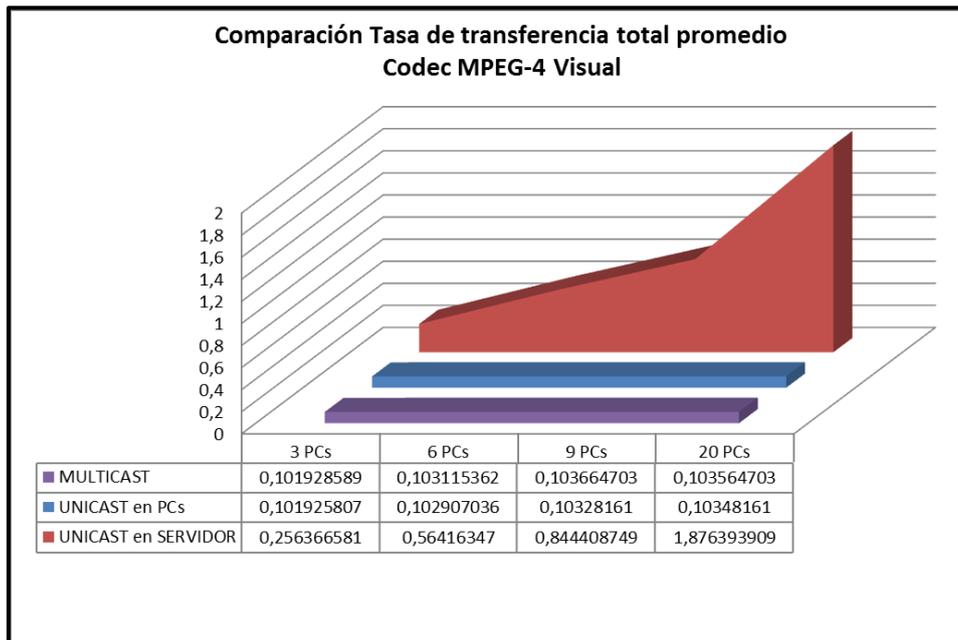


Figura IV.94 Tasa de transferencia total promedio – MPEG-4 V.

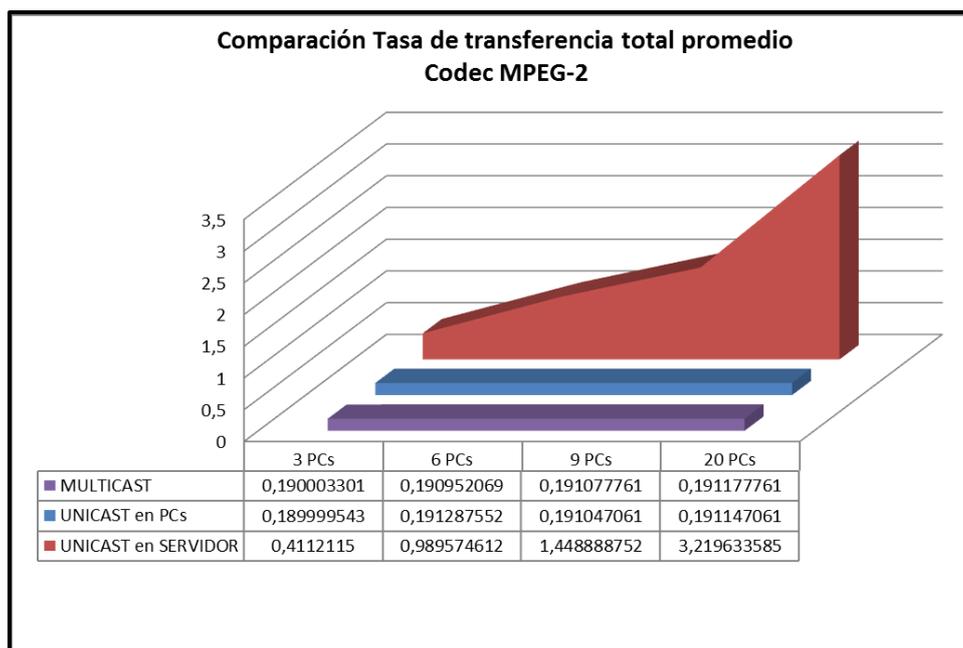


Figura IV.95 Tasa de transferencia total promedio – MPEG-2.

IV.5) Conclusiones

En este estudio se utilizó un nuevo test bed WAN como Escenario de evaluación de métricas que utiliza codecs de vídeo típicos.

Se analizaron exhaustivamente las métricas del tráfico de video multicast y unicast en la red, en línea con las expectativas de un verdadera WAN. Sobre estos equipos reales, se establecieron métricas directas y sus promedios, y se cuantificaron las distribuciones estadísticas.

Las métricas obtenidas muestran que el tráfico de multicast proporciona la QoS y el rendimiento que se espera sobre cada estación utilizando diferentes tipos de codecs. Las diferencias en el comportamiento del tráfico de multicast son dadas por diferencias entre codecs, y no por el tráfico de multicast en sí mismo.

Para el caso de unicast, la mayoría de las métricas medidas dan resultados similares a multicast en el tráfico recibido en las PCs clientes. Pero debe tenerse especialmente en cuenta la sobrecarga del tráfico unicast:

- Emitido desde el servidor,
- el que atraviesa los enlaces WAN, y
- el que llega a las subredes destino.

El impacto en el tráfico global (que incluya otros tráficos de red) de un enlace WAN dependerá de la topología y codecs utilizados, del número de clientes a servir y la configuración aplicada por los protocolos de multidifusión de la red (OSFP y PIM). Y específicamente, dependerá del tráfico unicast que se mostró más sensible que el multicast para el número de usuarios finales, especialmente en el segmento donde está el servidor unicast de aplicaciones y en los segmentos compartidos por los grupos de clientes unicast.

Finalmente, el análisis estadístico para este Escenario de experimentación muestra que diferentes codecs tienen un comportamiento diferente en la distribución de tamaños de paquetes y de espacios entre tramas. Por lo tanto, ante un compromiso del ancho de banda y de la capacidad de los segmentos de red, deberá prestarse especial atención a la codificación utilizada.

IV.6) Sumario

En este Capítulo se han presentado una serie precisa de métricas de red, obtenidas de mediciones de tráfico en tiempo real en una topología tipo de red WAN.

Se han realizado pruebas en distintos escenarios con tráfico de video emitido en formato multicast y unicast para distintos codecs.

Se ha cuantificado con precisión y demostrado que:

- La mayoría de los parámetros medidos son similares en todas las configuraciones, y dependen exclusivamente del codec de video utilizado.
- La importancia que tiene el codec seleccionado.
- Las diferencias obtenidas en el tráfico unicast se deben a la carga extra de envío de tráfico a la que está sometido el servidor, en los enlaces WAN, y en los segmentos de los grupos destino.

Estos resultados complementan, enriquecen y pueden ser utilizados para la comparación con otros estudios analíticos y de simulación sobre el tráfico de vídeo unicast y multicast.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este capítulo resume los principales resultados y conclusiones de investigación obtenidos a través de esta tesis, destacando como los diversos aspectos analizados satisfacen los objetivos originales. Se plantean posibles trabajos futuros como una continuación de la presente tesis.

V.1) Introducción

Este trabajo de tesis ha tenido como objetivo efectuar una contribución para el conocimiento, actualización y avance del estado del arte de las prestaciones en las comunicaciones multicast y unicast para streamings de video en una red de laboratorio real como testbed de una red WAN.

Inicialmente, se presentó una revisión general de las técnicas, tecnologías y el estado del arte de la multidifusión del tráfico de video. El objeto fue plantear los conceptos principales que serían utilizados en los capítulos posteriores, y establecer las líneas de investigación precedentes y actuales sobre este tipo de redes. Se revisaron los conceptos de multicast y su uso actual; los conceptos de codecs, sus usos y los codecs más utilizados actualmente; finalizando con el estado del arte de los temas planteados y la propuesta experimental de la presente tesis.

Posteriormente, se efectuó una descripción de los escenarios a utilizar, la topología de red de trabajo y los recursos de hardware que componen la misma. Luego se describieron los programas utilizados. Se trata de los softwares Unreal Media Server y Wireshark. Para generar el tráfico de video se utilizó Unreal Media Server que es un software de streaming de video en su versión free. Para capturar paquetes del tráfico generado se usó Wireshark, que es un software open source que provee capacidades de análisis y disección del protocolo en profundidad y está disponible para las plataformas Windows y Linux. Wireshark implementa una amplia gama de filtros que facilita la

definición de criterios de búsqueda y se puede visualizar los campos de cada una de las cabeceras y capas que componen los paquetes monitorizados. Además se presentaron los videos utilizados con sus distintas codificaciones.

Luego, se detallaron los resultados experimentales obtenidos de acuerdo a la topología, realizando un streaming de video con 3 codificaciones distintas en 4 escenarios y con tipos de tráfico multicast y unicast. Se analizaron distintos parámetros obtenidos y se graficaron para obtener las conclusiones respectivas.

El cuerpo principal de la tesis se completó con Apéndices en los que se establecieron conceptos generales sobre multicast, los softwares y protocolos utilizados.

V.2) Conclusiones

Entre las conclusiones obtenidas de esta experimentación podemos decir que:

- Las métricas obtenidas sobre el laboratorio piloto WAN muestran que el tráfico multicast proporciona la QoS y el rendimiento que se espera sobre cada estación, el segmento del servidor, los segmentos y los enlaces compartidos, utilizando diferentes tipos de codecs, orientándonos sobre el comportamiento que se puede esperar en una red WAN real.
- Las variaciones en las características y parámetros observados en el tráfico multicast de video, dependen del codec utilizado.
- Las variaciones en las características y parámetros observados en el tráfico unicast de video dependen principalmente del codec utilizado, y solamente dependen del tipo de tráfico utilizado: el ancho de la banda en los distintos enlaces y el tiempo intertrama (que varían directamente de acuerdo a la cantidad de clientes conectados en forma simultánea).
- El impacto en la mezcla de un tráfico global (que incluya otros tráficos de red) sobre un enlace WAN dependerá de la topología, de los codecs utilizados, del número de clientes a servir y la configuración aplicada a la topología por los

protocolos de multidifusión de la red (OSFP y PIM). Y específicamente, dependerá si el tráfico de video es unicast o multicast.

- El tráfico unicast se mostró más sensible que el multicast para el número de usuarios finales, especialmente en el segmento donde está el servidor unicast de aplicaciones y en los segmentos compartidos por los grupos de clientes unicast.
- Finalmente, el análisis estadístico para este Escenario de experimentación muestra que:
 - Diferentes codecs tienen un comportamiento diferente en la distribución de tamaños de paquetes y de espacios entre tramas. Por lo tanto, ante un compromiso del ancho de banda y de la capacidad de los segmentos de red, deberá prestarse especial atención a la codificación utilizada.
 - La distribución intertrama es del tipo autosimilar (distribución Pareto) para los codecs utilizados.

V.3) Aportes principales

Las contribuciones principales de esta tesis han sido:

1. La demostración, con resultados cuantitativos detallados, que para tráfico de video multicast, todas las métricas de prestaciones y de QoS obtenidas y analizadas dependen con exclusividad del codec de video utilizado, y no de la topología de la red ni de la cantidad de clientes receptores del streaming de video.
2. La demostración, con resultados cuantitativos detallados, que para tráfico de video unicast, todas las métricas de prestaciones de QoS dependen en su mayoría del codec de video utilizado, y solamente la cantidad de bytes transmitidos y la velocidad final en cada enlace sí dependen de la topología de la red y de la cantidad de clientes receptores del streaming de video.
3. La especificación de un laboratorio piloto WAN y cuatro escenarios experimentales y la metodología para establecer mecanismos comparativos entre los distintos ensayos según:

- a. Tipo de tráfico multicast con la transferencia de un archivo de video codificado en 3 formatos diferentes.
 - b. Tipo de tráfico unicast con la transferencia de un archivo de video codificado en 3 formatos diferentes.
4. La demostración de las características propias de cada codec experimental en cuanto a su distribución estadística, en el tamaño de tramas y en los tiempos intertramas.

V.4) Trabajos futuros

Los trabajos futuros que pueden plantearse desde esta tesis pueden relacionarse con la profundización de los estudios de comportamiento de este tipo de tráfico

En la actualidad se sigue una línea de investigación con las mismas características que la presente adicionando clientes inalámbricos a la topología.

Otro aspecto de interés de trabajos futuros es la introducción de protocolos avanzados como IPv6 y sus nuevas características para tráfico multicast.

Finalmente, otro curso de investigación complementario se está planteando con la realización de pruebas similares sobre redes bajo softwares de simulación como NS2/NS3 para obtener resultados frente a una gran cantidad de clientes.

Referencias y Bibliografía

- [1] Lisa A. Phifer, <http://searchdatacenter.techtarget.com/es/consejo/Herramientas-para-mejorar-el-rendimiento-de-video-inalambrico-II>
- [2] Cisco Networkers 2006, http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/ip-multicast/prod_presentation0900aecd80310883.pdf
- [3] Seiji Ueno, Toshihiko Kato, Kenji Suzuki, “Analysis of Internet Multicast Traffic Performance Considering Multicast Routing Protocol” - <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=896295&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F7201%2F19403%2F00896295.pdf%3Far number%3D896295>
- [4] Mojtaba Hosseini, Dewan Tanvir Ahmed, Shervin Shirmohammadi, and Nicolas D. Georganas, “A Survey of Application Layer Multicast Protocols” <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.70.9653&rep=rep1&type=pdf>
- [5] Fujikawa Kenji, Ohta Masataka, Ikeda Katsuo, “Integration of Multicast Routing and QoS Routing” https://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/1c/1c_1.htm
- [6] Ian Brown, Jon Crowcroft, Mark Handley, Brad Cain “Internet Multicast Tomorrow” - Articles of interest Vol 1 N°6 - <http://www.isoc.org/pubs/int/cisco-1-6.html>
- [7] Yoav Nativ, <https://www.linkedin.com/pulse/brief-history-video-codecs-yoav-nativ>
- [8] “Advanced Video Compression” – Part 1 y 2 – <http://www.animemusicvideos.org/guides/avtechbeta/video4.htm>
- [9] Ghanbari M, Crawford D, Fleury M, Khan E, Woods J, Lu H, Razavi R, “Future performance of video codecs” <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/video.pdf>
- [10] Video Codecs explained -

- http://www.divxland.org/en/article/5/video_codecs_explained#.Vx1aZPnhDcc
- [11] MPEG formats –
http://www.divxland.org/en/article/14/mpeg_formats#.Vx1aZfnhDcc
- [12] ISO/IEC JTC 1/SC 29 Coding of audio, picture, multimedia and hypermedia information - http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=45316
- [13] Cisco System, “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update,” 2014-19,
http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white_paper_c11481360.html?referring_site=RE&pos=2&page=http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html
- [14] A. Abdalla, A. Mazhar, M. Salah and Sahar Khalaf, "Comparative Study of Compression Techniques for Synthetic Videos," *The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA)*, vol. 6, no.2, April 2014.
- [15] D. Grois, D. Marpea, T. Nguyena and O. Hadarb, "Comparative Assessment of H.265/MPEG-HEVC, VP9, and H.264/MPEG-AVC Encoders for Low-Delay Video Applications," *SPIE Proceedings*, vol. 9217, Applications of Digital Image Processing XXXVII, California, USA, September, 2014.
- [16] Brendan Klare, Mark Burge – “Assessment of H.264 video compression on automated face recognition performance in surveillance and mobile video scenarios” -
<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=763030>
- [17] S.Acharya, B. Smith, "An Experiment to Characterize Videos Stored On The Web," *Proceedings of Multimedia Computing and Networking*, pp. 166-178, California, USA, 1998.
- [18] Y. Sun, I. Sheriff, E. Belding-Royer and K. Almeroth, "An Experimental Study of Multimedia Traffic Performance in Mesh Networks," *Workshop on Wireless*

- Traffic Measurements and Modeling, pp.25-30, Seattle, Washington, USA, June, 2005.
- [19] R. Addu and V. Potuwardanam, "Effect of Codec Performance on Video QoE for videos encoded with Xvid, H.264 and WebM/VP8, "Master Thesis, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, August 2014.
- [20] Y. Shin, M. Choi, J. Koo, Y. Kim, J. Ihm and S. Choi, "Empirical Analysis of Video Multicast over WiFi," Third International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp. 381-386, China, 2011.
- [21] S. Tanwir, H. Perros and B. Anjum, "A QoS evaluation of video traffic models for H.264 AVC video," Fifth International Conference on Next Generation Networks and Services (NGNS), pp. 313-320, Casablanca, Morocco, May, 2014.
- [22] John G. Apostolopoulos, Wai-tian Tan, Susie J. Wee - Mobile and Media Systems Laboratory HP Laboratories Palo Alto - Video Streaming: Concepts, Algorithms, and Systems - <http://www.hpl.hp.com/techreports/2002/HPL-2002-260.pdf>
- [23] Felipe Ivan Lalanne Rojas, "Incorporación de corrección de errores y métricas de calidad al codec de transmisión de video tolerante a fallas" - http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/lalanne_fr/html/index-frames.html
- [24] A. Lazaris and P. Koutsakis, "Modeling multiplexed traffic from H.264/AVC videoconference streams," Computer Communications, vol. 33, no. 10, pp. 1235-1242, 2010.
- [25] S. Tanwir and H. Perros, "A survey of VBR video traffic models," IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 15, no. 4, pp. 1778-1802, 2013.
- [26] M. Dai, Y. Zhang, and D. Loguinov, "A unified traffic model for MPEG-4 and H.264 video traces," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 11, no. 5, pp. 1010 - 1023, August 2009.
- [27] G. V. der Auwera, P. T. David, and M. Reisslein, "Traffic and quality characterization of single-layer video streams encoded with H.264/MPEG-4

- advanced video coding standard and scalable video coding extension," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 54, no. 3, pp. 698-718, September 2008.
- [28] P. Seeling, M. Reisslein, and B. Kulapala, "Network performance evaluation with frame size and quality traces of single-layer and two-layer video: A tutorial," IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 6, no. 3, pp. 58-78, 2004.
- [29] Stefan Egger, Torsten Braun - Performance Evaluation of Multicast for Small Conferences - <http://home.inf.unibe.ch/~rvs/publications/ngc03.pdf>
- [30] V. Chandrasekar, K. Baskaran - Performance of Video Conferencing using Protocol Independent Multicast Routing with Core failure - International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 41– No.10, March 2012
- [31] Cachinero Pozuelo Juan - Análisis y modelado de multicast interdominio para el servicio de soportes de video – Proyecto fin de carrera Universidad Politécnica de Madrid - https://www.researchgate.net/publication/27623816_Analisis_y_modelado_de_multicast_interdominio_para_el_soporte_de_servicios_de_video
- [32] Sorin Cocorada - Multicast vs. Unicast Transmissions for wireless IP Camera Surveillance Suystems – Acta Technica Napocensis – Vol 48 N°3 2007
- [33] S. Pérez, H. Facchini, A. Dantiacq, G. Cangemi and J. Campos, "An Evaluation of QoS for intensive video traffic over 802.11e WLANs-Quantitative analysis," International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP), pp. 8-15, Cholula, Mexico, february, 2015.
- [34] Nakayama H, Watanabe Y, Higashi A, H264/AVC HDTV Video codec LSI – Fujitsu Sci. Tech. J., 44,3,(July 2008)
- [35] Torres J, Ramirez, R, Lopez, D - Estado del arte de IPTV y consideraciones técnicas para su migración a IPv6 en Colombia – <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/7179>
- [36] Acosta Escobar M, Treminio Henríquez J, Estudio de IPTV multicasting para la Universidad de Don Bosco – Trabajo final Ingeniería en Ciencias de Ika

- Computación Universidad Don Bosco - San Salvador Available:
<http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/handle/11715/405>
- [37] Unreal Streaming Technologies, Unreal Media Server, Los Ángeles, USA,
Available: <http://umediasever.net/umediasever/architecture.html>
- [38] Available: https://www.youtube.com/watch?v=iLbnDWS3f_g
- [39] Available: <https://www.wireshark.org/>.
- [40] Balakrishnan Chandrasekaran, Survey of Network Traffic Models, Available:
http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-06/traffic_models3.htm
- [41] Hengky Susanto, Byung-Guk Kim, Computer Science Department University of
Massachusetts at Lowell, Examining Self-Similarity Network Traffic intervals,
<http://www.eecs.tufts.edu/~hsusan0a/predictInterval.pdf>
- [42] Cuneyt M. Taskiran and Edward J. Delp, Video and Image Processing
Laboratory (VIPER), School of Electrical and Computer Engineering Purdue
University West Lafayette, A Study on the Distribution of Shot Lengths for
Video Analysis,
<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=878017>
- [43] Santiago C. Pérez, Higinio A. Facchini, Luis Bisaro, Jesús Rubén Azor, CACIC
2010, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19340>

ANEXO A

PUBLICACIONES INTERNACIONALES y NACIONALES

1. EN CONGRESOS

a. CONIELECOMP 2015

Trabajo presentado en “The 25th International Conference on Electronics, Communications and Computers” que se realizó en la Universidad de las Américas, de Cholula Puebla, México, del 25 al 27 de febrero de 2015; y fue organizada por la IEEE y la Universidad de las Américas

An Evaluation of QoS for intensive video traffic over 802.11e WLANs

Quantitative analysis

Santiago Perez, Higinio Facchini,
Alejandro Dantiaco, Gastón Cangemi
Center of Research and Development GRID TICs
National Technological University
Mendoza, Argentine
santiagocp@frm.utm.edu.ar, higiniofac@frm.utm.edu.ar,
alejandrod@frm.utm.edu.ar, gcangemi@frm.utm.edu.ar

Javier Campos
Department of Informatics and Systems Engineering
Zaragoza University
Zaragoza, Spain
jcampos@unizar.es

Abstract— With the continuing development of the wireless technologies (Wi-Fi, 3G, 4G, WiMax and Bluetooth), the study of wireless multimedia transmissions has gained lately more attention. For example, the expectations of the company leaders on the growth of Wi-Fi video traffic has updated the lines of research on the standard IEEE 802.11e introduced to provide QoS (Quality of Service) to WLAN (Wireless LAN) networks. A quantitative analysis has been performed by simulation. We use a node model EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 802.11e with the tool MÓBIUS of the University of Illinois, which supports an extension of SPN (Stochastic Petri Networks), known as HSAN (Hierarchical Stochastic Activity Networks). This formalism favors the comparison of the results with those obtained from other tools, based mainly on simulation languages, for Wi-Fi stations with the capacity to transmit voice, video or best effort traffic in presence of error. This article introduces novel scenario that varies the load by increasing the number of active stations from 5 to 45 but maintaining their relative traffic proportion. The proportion of traffic injected by stations is 65% video, 2% voice, and 33% best effort. Measured performance metrics were absolute or direct performance, relative performance, average delay of queue, and average queue size.

Keywords—tuning; EDCA parameters; modeling; simulation; WLAN 802.11e; throughput

I. INTRODUCTION

The services of wireless mobile data are on their way to meet the needs of many users on the network. The voice services with mobile devices are already considered as a necessity by most people. And the mobile devices for data services, video, and TV are rapidly becoming an essential part of the everyday life of consumers. The proliferation of handsets, laptops and tablets on mobile networks is a major traffic generator, because these devices offer the consumer content and applications not supported by previous generations of mobile devices. The projections for the next 5 years show a steady growth in the mobile video, despite macroeconomic conditions in many parts of the world. Because of that fact, the contents of mobile video have much higher bit rates than other types of mobile content, mobile video will generate much of the

growth of future mobile traffic. It is expected for the 2018 that 65% of the total wireless traffic will be associated with video applications [1].

Up until a few years ago, the Wi-Fi traffic was more general, and included light flows of voice traffic. The greatest burden of the video traffic will be a test for the standard EDCA IEEE 802.11e and the algorithms of admission control, to sustain the QoS requested by the user.

The principal contributions of this article are i) to specify and experiment on a new scenario offering metrics evaluation while maintaining a video intensive proportion for network traffic in line with the expectations of the Wi-Fi traffic future, ii) to demonstrate that the standard EDCA IEEE 802.11e mechanism using default static parameters provides traffic differentiation enough in this context, and iii) the contributions and conclusions made using an EDCA model with either SPNs that complement, enrich, and facilitate comparison with precedents within Wi-Fi network knowledge obtained from pure trace collection or other types of analytical studies and modelling using mathematical tools for different real and hypothetical contexts.

Researchers and the industry could use these data for their proposals in the EDCA IEEE 802.11e devices.

The rest of this document is structured as follows. Section II introduces the fundamentals and principles of the work. Section III provides a general view of the EDCA 802.11e standard. Section IV presents the commercial deployment of the standard IEEE 802.11e EDCA. Section V describes the Wi-Fi station model built with HSANs and the simulation scenario defined for experimental evaluation. Section VI gives the absolute and relative performance, the queue size and the queue delay in the scenario. And section VII summarizes the most significant conclusions.

II. BACKGROUND AND RELATED WORKS

Providing Quality of Service (QoS) in Wi-Fi networks is a considerable challenge for data networks, due to the high levels of burst-like packet loss, latency, and jitter. Several ways to characterise QoS through strict

b. CHILECON 2015

Trabajo presentado en el Congreso Chileno de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Tecnologías de la Información y Comunicaciones, que se realizó en la Universidad Central de Chile, en Santiago de Chile, del 28 al 30 de octubre de 2015; y fue organizada por la Sección Chile del IEEE, los Capítulos IEEE Chilenos, la Asociación Chilena de Control Automático ACCA y la Universidad Central de Chile

Behavior of Codecs for Multicast Video Traffic using WAN Test Bed

Experimental Study

Santiago Perez, Higinio Facchini,
Fabían Hidalgo, Sebastián Mendez, Adrián Cárdenas
Center of Research and Development GRID TICs
National Technological University
Mendoza, Argentine
santiagocp@frm.utn.edu.ar, higiniofac@frm.utn.edu.ar

Javier Campos
Department of Informatics and Systems Engineering
University of Zaragoza
Zaragoza, Spain
jcampos@unizar.es

Abstract—In recent years there has been an exponential increase in the growth in multimedia applications, and in particular in video applications. There are Internet sites that offer movies on-line; and it is common for users to upload and download videos with sites like YouTube. The video call via the Internet is common with applications, such as Skype. Video traffic grows so that should be taken into account when designing the network. The growing number of media users involves an increase in bandwidth requirements. Understanding the behavior of the video traffic and the requirements for the network helps network administrators to improve the traffic. In this work, a quantitative analysis is performed by experimentation, in order to evaluate the behavior and impact of video traffic on WAN networks. We propose a WAN test bed composed by a video traffic server and several client stations. This article introduces a scenario that allows to inject multicast video traffic, compressed with several codecs. From capturing video traffic, we identified several interesting performance metrics, such as multicast throughput, interframe space and frame size distributions, and the number of frames. We include detailed contributions on the impact produced by several factors, such as the configuration of the resolution of the video, the video class, the codec used for the compression, and the use of multicast traffic when there are restrictions on the bandwidth, as in a corporate real WAN link of some few Mbps. This study facilitates the comparison of the results with those obtained from analytical studies and modelling for different contexts.

Keywords—video codec; WAN test bed; multicast traffic;

I. INTRODUCTION

Today, it is possible to receive digital TV with high definition services and a greater number of channels. Recording and sharing videos with mobile phones has also been widespread. Large companies and organizations are using video conferencing applications such as Cisco TelePresence and WebEx, for the face-to-face collaboration in different geographical regions, and even within the same company. Consumers are increasingly demanding in terms of the quality and performance of the video-based products, and therefore, there is a strong incentive for continuous improvement in multimedia technologies.

According to a classification proposed in [1], the video traffic can be (among others):

- IPTV Broadcast: 1 to 4Mbps SD (Standard Definition) or 6 up to 10 Mbps HD (High Definition) for a few users per channel.
- Live transmission of video event (webcast): A single channel of high bandwidth (1-4 Mbps) seen by all users.
- IP video surveillance: Many channels of video feed of variable quality (500 Kbps to 2 Mbps) to a small set of viewers.
- Interactive videoconference: Requires low symmetrical bandwidth (1 Mbps) between pairs.
- Video on demand (training, pre-recorded): Many channels of high-bandwidth (1 to 4 Mbps SD or 6 up to 10Mbps HD) consumed by a few concurrent users per channel.

These types of traffic illustrate the variables that need to be quantified for any deployment of video and multimedia: directionality, throughput, latency and jitter tolerance, as well as the number of channels and users. Another key metric is the tolerance for error. A low packet error rate (PER) is usually required, so the use of a protocol of multicast datagrams is not a problem for the use.

The principal contributions of this article are: i) to specify and experiment on a new WAN test bed as scenario offering metrics evaluation while using typical video codecs for network traffic in line with the expectations of a real WAN, ii) to quantify metrics over the standard multicast mechanism that provides substantial improvements in relation to the unicast traffic in this context, and iii) the contributions and conclusions made using a WAN test bed with real equipment that complement, enrich, and facilitate comparison with precedents within WAN network knowledge obtained from analytical studies and modelling using mathematical tools for different real and hypothetical contexts.

The rest of this document is structured as follows. Section II introduces some background and related work. Section III provides a general view of video codecs. Section IV describes hardware and software resources of the WAN test bed. Section V presents the results obtained for the performance metrics and

c. IEEE ARGENCOM 2016

Trabajo presentado en el Congreso Bienal de IEEE Argentina, que se realizó en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires, del 15 al 17 de

junio de 2016; y organizada por la Sección Argentina del IEEE, y la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Buenos Aires.

Experimental Study of Unicast and Multicast Video Traffic using WAN Test Bed

Santiago Pérez^{#1}, Javier Campos^{#2}, Higinio Facchini^{#3}, Alejandro Dantiacq^{#4}

[#]GRID TICs, National Technological University
Rodríguez 273, Mendoza, 5500, Argentina

¹ santiagocp@frm.utn.edu.ar

³ higiniofac@frm.utn.edu.ar

⁴ alejandrod@frm.utn.edu.ar

^{*}Department of Informatics and Systems Engineering, University of Zaragoza
María de Luna 1, Zaragoza, 50018, Spain

² jcampos@unizar.es

Abstract— The deployment of IP multicast protocols in each router in the path is needed to access the benefits of the multicast. IP multicast exists today mainly in LAN networks and in small areas of highly controlled interconnected networks. In fact, some companies started to offer tailored solutions to try to overcome these limitations. On the other hand, over the last decade, the multimedia applications have expanded rapidly, and in particular in video applications. There are Internet sites that offer movies on-line; and it is common for users to upload and download videos with sites like YouTube (© Google Inc.). The video call via the Internet is common with applications, such as Skype (© Microsoft). The growth of video traffic should be taken into account when designing a network. Understanding the behavior of the video traffic and the requirements for the network helps network administrators to improve the traffic planning. In this work, a quantitative analysis is performed by experimentation, in order to evaluate the behavior and impact of video traffic on WAN networks. We propose a WAN test bed composed by a video traffic server and several client stations that allows injecting unicast and multicast video traffic, compressed with several codecs. From capturing video traffic, we identified several interesting unicast and multicast performance metrics, such as: throughput, number of frames, delays, jitter, and interframe spaces and frame sizes distributions. Several factors have been taken into account: the video resolution configuration, the type of video, and restrictions on the bandwidth, as in a corporate real WAN link of some few Mbps. This study facilitates the comparison of the results with those obtained from analytical and modelling studies for different contexts.

Resumen— Para acceder a las ventajas de la multidifusión es necesario implementar protocolos de multidifusión IP en cada enrutador en la ruta. La multidifusión IP existe hoy principalmente en redes LAN y en pequeñas áreas de redes interconectadas altamente controladas. De hecho, algunas compañías han comenzado a ofrecer soluciones a la medida para tratar de resolver estas limitaciones. Por otro lado, en la última década, las aplicaciones multimedia se han expandido rápidamente, y en particular las aplicaciones de video. Hay sitios de Internet que ofrecen películas en línea; y es común que los usuarios puedan descargar videos en sitios como YouTube (© Google Inc.). Las llamadas de video via Internet son comunes en las aplicaciones, tales como Skype (© Microsoft). El crecimiento del tráfico de video debería tenerse en cuenta cuando se diseña una red. Entender la conducta del tráfico de video y los requerimientos para la red ayudan a los administradores de red a mejorar la planificación del tráfico.

En este trabajo se ha realizado un análisis cuantitativo por experimentación con el objeto de evaluar la conducta y el impacto del tráfico de video en las redes WAN. Se propone un laboratorio de prueba WAN compuesto por un servidor de tráfico de video y algunas estaciones clientes, que permite inyectar tráfico de video unidifusión y multidifusión comprimido con diferentes codecs. Con la captura del tráfico de video se identificaron diferentes métricas de prestaciones unidifusión y multidifusión, tales como: rendimiento, cuenta de tramas, retardos, jitter y distribuciones estadísticas de los espacios intertrama y de los tamaños de trama. Se han tenido en cuenta los siguientes factores: la configuración de la resolución del video, la clase de video, y las restricciones del ancho de banda, como en un enlace WAN corporativo de algunos pocos Mbps. Este estudio facilita la comparación de los resultados con aquellos obtenidos desde estudios analíticos y de modelación para diferentes contextos.

I. INTRODUCTION

The traditional IP communication allows a host to send packets to another host (transmission through unicast) or to all hosts (transmission by diffusion). IP multicast provides a third possibility: it allow a host sending packets to a subset of all hosts as a group of transmission. IP multicast is a technology to conserve bandwidth, specifically designed to reduce traffic, transmitting a single stream of information potentially to thousands of recipients. In this way, it replaces multiple copies for all beneficiaries with the delivery of a single flow of information. Therefore, IP multicast is able to minimize the burden, both in source and destination hosts, and simultaneously the total traffic in the network.

Within a multicast network, routers are responsible to replicate and distribute the contents of multicast to all hosts that are listening to a specific multicast group. Routers use multicast protocols that build distribution trees to transmit content multicast, which ensure the greatest efficiency for sending data to multiple receivers. Any IP multicast alternative requires the source sending more than one copy of the data. The traditional unicast at application level, for example, requires that the source transmits a copy to each receiver of the group.

Nowadays more and more network applications require the forwarding of packets from one or more sources to a group of receptors. These applications comprise the majority of the data transfer (for example, the delivery of

2. EN REVISTAS TECNICAS INTERNACIONALES

- a. 2015 – Publicación en el Journal of Computer Science and Technology (JCS&T), del artículo "ANALYSIS OF IMPACT IN THE WI-FI QOS OF THE EDCA PARAMETERS", soportada por el ISTECS (Iberoamerican Science & Technology Education Consortium), indexada en Latindex, Vol. 15 - No. 1 – ISSN 1666-6038, Abril 2015.
<http://www.istec.org/index2.htm>
<http://journal.info.unlp.edu.ar/journal/>
<http://journal.info.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/JCST-Apr15-2.pdf>
<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=12516>
- b. 2013 – Publicación en la Revista IEEE Latin Americana Transactions, del artículo "TUNING MECHANISM FOR IEEE 802.11E EDCA OPTIMIZATION", incluida en el IEEEXplore, Vol. 11, issue 4, ISSN: 1548-0992 pag. 1134-1142, Junio 2013.
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6601760&sortType%3Dasc_p_Sequence%26filter%3DAND%28p_IS_Number%3A6601739%29
<http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol11/vol11issue4June2013/Vol11issue4June2013TLA.htm>
- c. 2013 – Publicación en la IEEE Computer Society - IEEE Computer Society Digital Library (CSDL), del artículo "EDCA 802.11e PERFORMANCE UNDER DIFFERENT SCENARIOS – QUANTITATIVE ANALYSIS", abril 2013.
<http://www.computer.org/portal/web/guest/home>
<http://www.computer.org/csdl/proceedings/aina/2013/4953/00/4953a802-abs.html>
- d. 2013 – Publicación en el Journal of Computer Science and Technology (JCS&T), del artículo "Throughput Quantitative Analysis of EDCA 802.11e in Different Scenarios", soportada por el ISTECS (Iberoamerican Science & Technology Education Consortium), indexada en Latindex, Vol. 13 - No. 1 – ISSN 1666-6038, abril 2013.
<http://www.istec.org/index2.htm>
<http://journal.info.unlp.edu.ar/journal/>
<http://journal.info.unlp.edu.ar/journal/journal35/papers/JCST-Apr13-3.pdf>
<http://www.latindex.org/buscador/resBus.html?palabra=Journal+of+Computer+Science+and+Technology&opcion=1&Submit=Buscar>

ANEXO B

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN LA FRM UTN

- a. 2015/17 –Director del proyecto PID Consolidado “ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRESTACIONES DE TRÁFICO DE VIDEO MULTICAST EN REDES HETEROGÉNEAS”, en el ámbito del Grupo UTN GRID TICs (GRUPO UTN DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN TICs), del Departamento Ingeniería en Electrónica, de Facultad Regional Mendoza, de la Universidad Tecnológica Nacional, aprobado por Disposición SCTyP N°69/15, y bajo el número EIUTNME0003615 de la UTN, desde mayo/2015 hasta abril/2017.

 Universidad Tecnológica Nacional Rectorado Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado	SISTEMA DE INFORMACION DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (SICyT)
FORMULARIO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	

Código del Proyecto: EIUTNME0003615

1. Unidad Científico-Tecnológica
FR Mendoza - Grid TICs

2. Denominación del PID

ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRESTACIONES DE TRÁFICO DE VIDEO MULTICAST EN REDES HETEROGÉNEAS

3. Resumen Técnico del PID

Durante los últimos años, se ha visto un aumento exponencial en el crecimiento en aplicaciones multimediales, y en particular en aplicaciones de video. Hoy en día, se puede recibir televisión digital con servicios de alta definición, existen sitios de Internet que ofrecen películas on-line; y los usuarios realizan carga y descarga de videos con sitios como YouTube. Los consumidores son cada vez más exigente en cuanto a la calidad y rendimiento de los productos basados en video. Siguiendo una línea de investigación de tráfico multicast anterior, se pretende comprender la estructura de los datagramas de video y los requisitos que imponen a la red, y obtener conclusiones sobre las mejores opciones de tráfico de video multicast en redes de laboratorio que ayudarán a mejorar el tráfico en la misma. El objetivo es obtener conclusiones sobre la conveniencia y rendimiento de tráfico multicast para el transporte de video a múltiples usuarios dependiendo de tipos de tráfico de video, de los distintos codecs y de los distintos tipos de tráfico de video según los codecs utilizados, en una red de laboratorio con equipos reales como switches, routers, servidores de video y dispositivos finales.

4. Programa

Electrónica, Informática y Comunicaciones

5. Proyecto

Tipo de Proyecto: UTN (PID UTN) SIN INCORPORACION EN PROGRAMA INCENTIVOS
Tipo de Actividad: Desarrollo Experimental

6. Fechas de realización

Inicio	Fin	Duración	Fecha de Homologación
01/05/2015	30/04/2017	24 meses	-

7. Aprobación/ Acreditación / Homologación / Reconocimiento (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

7.1 Aprobación / Acreditación / Reconocimiento (para ser completado por la FR cuando se posea N° Resolución)					
N° de Resolución de aprobación de la FR:					
7.2 Homologación (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)					
Código SCTyP : EIUTNME0003615		Disposición SCTyP: 69/15		Código Ministerio:	
8. Estado (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)					
HOMOLOGADO					
9. Avales (presentación obligatoria de avales)					
1) Aval del Decano y Secretario Secyt UTN-FRM 2) Curriculum Vitae: Higinio Facchini, Luis Bisaro, Alejandro Dantiacq, Fabian Hidalgo, Raúl Mendez, Adrian Cardenas 3) Aval Consejo Directivo - UTN-FRM: Resolución N° 771/2014					
10. Personal Científico Tecnológico que participa en el PID					
Apellido y Nombre	Cargo	Hs/Sem	Fecha Alta	Fecha Baja	Otros Cargos
FACCHINI, HIGINIO	DIRECTOR	10	01/05/2015	30/04/2017	
BISARO, LUIS	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	10	01/05/2015	30/04/2017	
DANTIAcq, ALEJANDRO	CO-DIRECTOR	10	01/05/2015	30/04/2017	
HIDALGO, FABIAN ARIEL	BECARIO BINID	10	01/05/2015	30/04/2017	
MENDEZ, RAUL SEBASTIAN	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	10	01/05/2015	30/04/2017	
CARDENAS, ADRIAN MIGUEL	BECARIO ALUMNO UTN-SAE	6	01/05/2015	30/04/2017	-

- b. 2015/16 – Co-Director del proyecto PID Consolidado “MEDIDA, MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE VIDEO EN REDES WI-FI 802.11E - ALGORITMO MTD A”, en el ámbito del Grupo UTN GRID TICs (GRUPO UTN DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN TICs), del Departamento Ingeniería en Electrónica, de Facultad Regional Mendoza, de la Universidad Tecnológica Nacional, aprobado por el Consejo Directivo con resolución n° 442/2014, y bajo el número EIUTIME0003502TC de la UTN, número UTI3502TC del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología para el programa de incentivos, y aprobado por resolución 570/2014 de la Secretaría de Ciencia y Técnica de Rectorado de la UTN, desde enero/2015 hasta la fecha

 Universidad Tecnológica Nacional Rectorado Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado	SISTEMA DE INFORMACION DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (SICyT)
FORMULARIO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	

Código del Proyecto: EIUTIME0003502TC

1. Unidad Científico-Tecnológica FR Mendoza - Grid TICs

2. Denominación del PID MEDIDA, MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE VIDEO EN REDES WI-FI 802.11E - ALGORITMO MTDA
--

3. Resumen Técnico del PID Las WLAN (Wireless LAN) basadas en IEEE 802.11 se han vuelto las redes más populares en el acceso a los servicios de red y de banda ancha móvil/wireless a Internet. Y se espera que en los próximos años los servicios y aplicaciones de streaming o interactivos de video, alcancen hasta un 70% del tráfico total sobre dichas redes. En orden a satisfacer los requerimientos de QoS (Quality of Service – Calidad de Servicio) se introdujo la tecnología Wi-Fi EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 802.11e. Diferentes líneas de investigación estudian el comportamiento de la norma 802.11e, para mejorar sus mecanismos de diferenciación de tráfico a nivel MAC, en orden a gestionar y priorizar aún más eficientemente los diferentes perfiles de tráfico. Se pretende efectuar capturas y mediciones de tráfico de video en redes Wi-Fi, obtener su modelación y simulación usando Redes de Petri con el simulador Mobius (Universidad de Illinois). El objetivo es determinar por simulación, en escenarios previstos al efecto, el impacto cuantitativo y cualitativo que tendrá en la QoS de las redes Wi-Fi 802.11e, la mezcla de tráficos diversos con alta presencia de tráfico de streaming de video o tráfico de videoconferencias.
--

4. Programa Electrónica, Informática y Comunicaciones

5. Proyecto Tipo de Proyecto: UTN (PID UTN) CON INCORPORACION EN PROGRAMA INCENTIVOS Tipo de Actividad: Investigación Aplicada

10. Personal Científico Tecnológico que participa en el PID					
Apellido y Nombre	Cargo	Hs/Sem	Fecha Alta	Fecha Baja	Otros Cargos
FACCHINI, HIGINIO	CO-DIRECTOR	10	01/01/2015	31/12/2017	-
PÉREZ, SANTIAGO CRISTOBAL	DIRECTOR	10	01/01/2015	31/12/2017	-
BISARO, LUIS	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	10	01/01/2015	31/12/2017	-
DANTIACO, ALEJANDRO	INVESTIGADOR DE APOYO	10	01/01/2015	31/12/2017	-
CANGEMI, GASTON	BECARIO BINID	10	01/01/2015	31/12/2017	-
HIDALGO, FABIAN ARIEL	BECARIO BINID	10	01/01/2015	31/12/2017	-
MENDEZ, RAUL SEBASTIAN	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	10	01/01/2015	31/12/2017	-
RIPAMONTI, MELISA	BECARIO ALUMNO FAC.REG.	10	01/01/2015	31/12/2017	-

- c. 2013/14 – Co-Director del proyecto PID Consolidado “ALGORITMO DE SINTONIZACIÓN PARA LA OPTIMIZACION DE RENDIMIENTO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11E EDCA EN REDES WI-FI- ALGORITMO MTDA”, en el ámbito del Grupo UTN GRID TICs (GRUPO UTN DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN TICs), del Departamento Ingeniería en Electrónica, de Facultad Regional Mendoza, de la Universidad Tecnológica Nacional, aprobado por el Consejo Directivo, y bajo el número EIUTIME1755 de la UTN, desde enero/2013 hasta diciembre/2014.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

Consulte la [Guía para la confección del formulario PID – Versión 8.0](#) para determinar el significado de los superíndices

1. IDENTIFICACION DEL PROYECTO

Código (reservado para la SeCyT)

1.1 Datos generales del proyecto.

- Denominación (límite de 150 caracteres)¹

Algoritmo de Sintonización para la Optimización de Rendimiento del Estándar IEEE 802.11e EDCA en redes WI-FI- Algoritmo MTDA

- Denominación abreviada. ²

ALGO_SINTO-Algoritmo de Sintonización de Parámetros EDCA

- Facultad Regional, Regional Académica u otra Institución del Director.

Facultad Regional Mendoza

- Facultades Regionales o Regionales Académicas u otras Instituciones de los restantes integrantes.

Facultad de Ingeniería

- Lugar/es de Trabajo. ³

GRID TICs - Grupo UTN de Investigación y Desarrollo en TICs

- Tipo de Proyecto. ⁴

UTN (PID UTN) C/INC. PROG. INCEN.

1.2 Datos de la Dirección.

• Director.

Apellido y Nombres	Categoría		Máximo Título Académico obtenido
	P.Inc.	UTN	
Perez, Santiago Cristobal	III	C	Magister en Redes de Datos

• Codirector/es.

Apellido y Nombres	Categoría		Facultad/es Regional/es o Regional/es Académica/as y/o Institución/es ¹¹	Máximo Título Académico obtenido
	P.Inc.	UTN		
Facchini, Higinio Alberto		D	Regional mendoza	Especialista en Redes de Datos

1.3 Duración del Proyecto (mínima y máxima posible).

Duración prevista en meses ¹²	24
Fecha de inicio ¹³	01/ 01 /2013
Fecha de finalización ¹⁴	31/ 12 /2014

- d. 2012/14 – Co-Director del proyecto PID Consolidado “ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL IMPACTO DE LAS CONFIGURACIONES DE SEGURIDAD Y DE TIPOS DE TRÁFICO EN LAS REDES WLAN 802.11”, en el ámbito del Grupo UTN GRID TICs (GRUPO UTN DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN TICs), del Departamento Ingeniería en Electrónica, de Facultad Regional Mendoza, de la Universidad Tecnológica Nacional, aprobado por el Consejo Directivo con resolución nº 636/2011, y bajo el número UTN1532 de la UTN, número 25/J081 del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología para el programa de incentivos, y aprobado por resolución 158/2012 de la Secretaría de Ciencia y Técnica de Rectorado de la UTN, desde mayo/2012 hasta abril/2014.



Consulte la Guía para la confección del formulario PID – Versión 8.0
para determinar el significado de los superíndices

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Código (reservado para la SeCyT)

1.1 Datos generales del proyecto.

- Denominación (límite de 150 caracteres)¹

Análisis Cuantitativo del Impacto de las Configuraciones de Seguridad y de Tipos de Tráfico en las redes WLAN 802.11

- Denominación abreviada.²

ANSEGTRA802.11-Análisis de la Seguridad y de Tráfico en redes WLAN 802.11

- Facultad Regional, Regional Académica u otra Institución del Director.

Facultad Regional Mendoza

- Facultades Regionales o Regionales Académicas u otras Instituciones de los restantes integrantes.

Facultad de Ingeniería

- Lugar/es de Trabajo.³

GRID TICs - Grupo UTN de Investigación y Desarrollo en TICs

- Tipo de Proyecto.⁴

UTN (PID UTN) C/INC. PROG. INCEN.

1.2 Datos de la Dirección.

- Director.

Apellido y Nombres	Categoría		Máximo Título Académico obtenido
	P.Inc.	UTN	
Perez, Santiago Cristobal	III	C	Magister en Redes de Datos

- Codirector/es.

Apellido y Nombres	Categoría		Facultad/es Regional/es o Regional/es Académica/as y/o Institución/es ¹¹	Máximo Título Académico obtenido
	P.Inc.	UTN		
Facchini, Higinio Alberto		D	Regional Mendoza	Especialista en Redes de Datos

1.3 Duración del Proyecto (mínima y máxima posible).

Duración prevista en meses ¹²	24
Fecha de inicio ¹³	01/ 05 /2012
Fecha de finalización ¹⁴	30/ 04 /2014

ANEXO C

VISIÓN GENERAL DE LA MULTIDIFUSIÓN

1. Introducción

La transmisión IP tradicional le permite a un host enviar paquetes a otro host (transmisión por unidifusión) o a todos los hosts (transmisión por difusión). La multidifusión (o multicast) IP proporciona una tercera posibilidad: la de permitir que un host pueda enviar paquetes a un subconjunto de todos los hosts como un grupo de transmisión.

2. Fundamentos de Multidifusión IP

Multidifusión IP es una tecnología para conservar el ancho de banda, específicamente diseñada para reducir el tráfico, transmitiendo un único flujo de información potencialmente a miles de destinatarios. De esta forma, se sustituyen las múltiples copias para todos los beneficiarios con la entrega de un único flujo de información. Por lo tanto, la multidifusión IP es capaz de reducir al mínimo la carga, tanto en los hosts origen y destino, y simultáneamente el tráfico total de la red.

Dentro de una red multidifusión, los routers son los responsables de replicar y distribuir el contenido de multidifusión a todos los hosts que están escuchando a un determinado grupo multidifusión. Los routers emplean protocolos multidifusión que construyen árboles de distribución para transmitir el contenido multidifusión, que aseguran la mayor eficiencia para el envío de datos a múltiples receptores.

Cualquier alternativa multidifusión IP requiere que la fuente envíe más que una copia de los datos. La unidifusión tradicional a nivel de aplicación, por ejemplo, requiere que el origen transmita una copia para cada receptor del grupo.

Hoy en día más y más aplicaciones de red requieren el reenvío de los paquetes de una o más fuentes a un grupo de receptores. Estas aplicaciones comprenden la mayoría de la transferencia de datos (por ejemplo, la entrega de actualizaciones de software de los

desarrolladores para los usuarios finales), la transmisión de medios (audio, vídeo, texto), el intercambio de datos (por ejemplo, una videoconferencia entre compartida distribuida participantes), la entrada de datos (por ejemplo, acciones, participaciones), la caché de Web y actualización de los videojuegos interactivos (por ejemplo, distribuidos entornos virtuales o juegos multijugador como Quake). Una abstracción muy útil en representación de cada una de estas aplicaciones es el concepto de multidifusión.

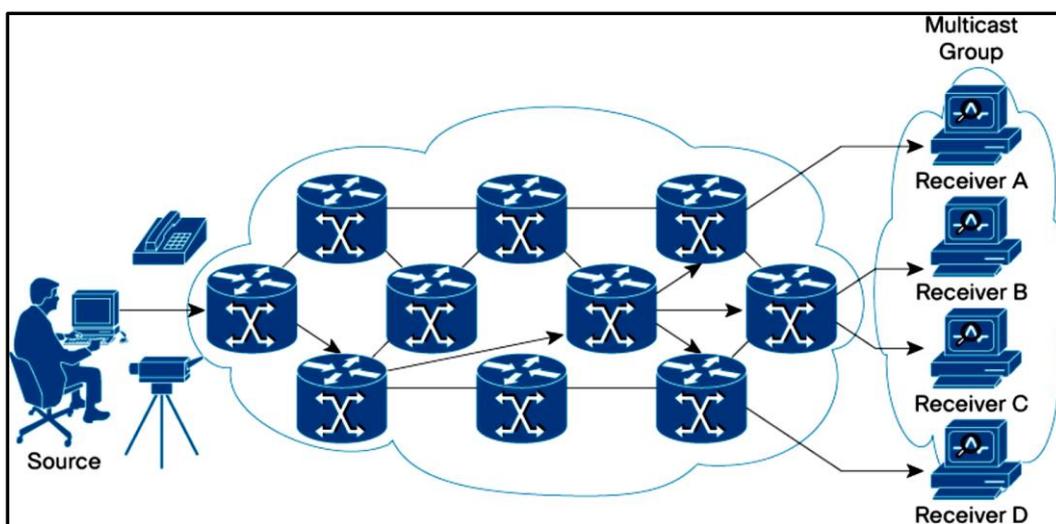
Casi todas las comunicaciones en Internet (o en una red empresarial) hoy en día son de unidifusión. En el nivel IP, cada paquete enviado se reenvía al host de destino identificado por la dirección IP de destino en la cabecera del paquete IP. Los enrutadores IP se especifican en las tablas de enrutamiento para reenviar paquetes basados en la dirección de destino. Además de unidifusión, también hay multidifusión. Para multidifusión, la dirección IP de destino se refiere a un grupo de hosts IP: la idea es que un paquete enviado a la dirección de grupo de multidifusión, debe llegar a todos los hosts del grupo.

El Protocolo de Internet versión 6 (IPv6) es la nueva generación del protocolo básico de Internet. La versión actual de IP (IP versión 4) tiene algunos inconvenientes que complican y, en algunos casos presentan una barrera para el desarrollo futuro. IPv6 debería eliminar estas barreras y proporcionar un ambiente rico en funciones para el futuro de la interconexión mundial. Con el avance masivo del tráfico de voz, video y de aplicaciones de tiempo real, se espera que las aplicaciones utilicen el tipo de tráfico multidifusión como un ahorro de ancho de banda en los enlaces troncales de la red, como así en todo punto de posible congestión de tráfico.

Además en las redes inalámbricas como 802.11, el rendimiento todavía es muy bajo, y decae fuertemente en la medida que se incrementa el número de usuarios, por lo que el ahorro de ancho de banda es fundamental

3. Ambientes multidifusión

Las soluciones multidifusión ofrecen ventajas relativas a la conservación del ancho de banda de la red. En el caso de una aplicación de gran ancho de banda, como vídeo MPEG, el multidifusión IP puede beneficiar aún en las situaciones que tengan sólo unos pocos receptores, dado que un único flujo de vídeo podría consumir una gran parte del ancho de banda disponible en la red. Incluso en aplicaciones de bajo requerimiento de ancho de banda, multidifusión IP conserva los recursos cuando las transmisiones involucran miles de receptores.



Además, multidifusión IP es la única alternativa no difusión para situaciones que requieren la transmisión de información simultánea a más de un receptor.

Para aplicaciones demandantes de bajo ancho de banda, una alternativa a multidifusión IP podría ser replicar los datos el origen. Esta solución, sin embargo, puede deteriorar las prestaciones de la aplicación, introducir latencias y retardos variables que afectarán a los usuarios y las aplicaciones, y requieren servidores costosos para administrar las réplicas y la distribución de los datos. Tales soluciones también involucran transmisiones múltiples del mismo contenido, y el consumo de una enorme cantidad de ancho de banda de la red. En las aplicaciones demandantes de mayores anchos de banda, multidifusión IP es la única opción viable.

4. Grupos y direcciones multidifusión

Un grupo de multidifusión es un grupo arbitrario de receptores que expresa su interés en recibir un flujo de datos concreto. Las redes que utilizan multidifusión IP entregan contenidos desde un origen a múltiples usuarios (hosts o receptores) que están interesados en el flujo de datos. Un canal multidifusión se refiere a la combinación de un contenido y la dirección IP de origen, con la dirección del grupo multidifusión IP donde el contenido se está difundiendo.

A diferencia de las direcciones unidifusión y multidifusión, los grupos multidifusión no tienen ningún límite físico o geográfico, y los interesados en unirse a receptores pueden estar situados en cualquier punto de una red o de Internet, en la medida en que el camino multidifusión esté establecido.

Para recibir una determinada secuencia de datos multidifusión, los hosts deben unirse a un grupo multidifusión enviando un mensaje del protocolo de administración de grupo de Internet (IGMP) a su router multidifusión local. Casi todas las redes y las aplicaciones utilizan, ya sea, la versión 2 o 3. IGMPv2/3 permite a las personas adherirse a los receptores o salir de un grupo.

Por lo tanto, una dirección de multidifusión IP del grupo especifica un "conjunto" de los hosts IP que se han unido al grupo y están interesados en recibir tráfico de multidifusión designado para ese grupo en particular. La dirección de origen para datagramas multidifusión es siempre la dirección de origen de unidifusión.

La dirección del grupo multidifusión se ubica en la clase D del espacio de direcciones IP. El proveedor de contenidos, el propietario y los proveedores de los servicios seleccionan la dirección multidifusión en base a la política local de direcciones multidifusión (dependiendo si las aplicaciones multidifusión son locales o de alcance global).

La figura C.1 ofrece un resumen de los intervalos de direcciones multidifusión discutidos en este documento.

Description	Range
Reserved Link Local Addresses	224.0.0.0/24
Globally Scoped Addresses	224.0.1.0 to 238.255.255.255
Source Specific Multicast	232.0.0.0/8
GLOP Addresses	233.0.0.0/8
Limited Scope Addresses	239.0.0.0/8

Figura C.1 Ejemplos de intervalos de direcciones multidifusión.

Direcciones reservadas de alcance local

La IANA ha reservado las direcciones del rango 224.0.0.0/24 para ser utilizadas por los protocolos de red en un segmento de red local. Los paquetes con estas direcciones nunca deben ser reenviados por un router. Los paquetes con direcciones de destino de vínculo local suelen enviarse con un tiempo de vida (TTL) de 1 y no son enviadas por un router.

Los protocolos de red utilizan estas direcciones para descubrimiento automático de router y para comunicar información de enrutamiento importante. Por ejemplo, el protocolo de ruteo OSPF (Open Shortest Path First) utiliza las direcciones IP 224.0.0.5 y 224.0.0.6 para intercambiar información de estado de enlace. La figura C.2 enumera algunas direcciones IP bien conocidas de alcance local.

IP Address	Usage
224.0.0.1	All systems on this subnet
224.0.0.2	All routers on this subnet
224.0.0.5	OSPF routers
224.0.0.6	OSPF designated routers
224.0.0.12	Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) server/relay agent

Figura C.2 Ejemplos de direcciones de alcance local.

Direcciones de alcance global

Las direcciones en el rango de 224.0.1.0 hasta 238.255.255.255 se denominan direcciones de alcance global. Estas direcciones se utilizan para la multidifusión de datos entre organizaciones y a través de Internet. Algunas de estas direcciones se han reservado para su uso por las aplicaciones de multidifusión a través de IANA. Por ejemplo, la dirección IP 224.0.1.1 se ha reservado para el Protocolo de Tiempo de Red (Network Time Protocol, NTP). Las direcciones IP reservadas para multidifusión IP están definidas en el RFC 1112, Extensiones de host para multidifusión IP.

Direcciones multidifusión de origen específico

Las direcciones en el rango 232.0.0.0/8 están reservadas para Multidifusión de Origen Específico (Source Specific Multicast, SSM). SSM es una extensión del protocolo PIM (Protocol Independent Multicast) que permite un mecanismo eficiente de comunicaciones de entrega de datos de uno a muchos.

Direcciones GLOP

El RFC 2770, Direccionamiento GLOP en 233/8, propone que la dirección 233.0.0.0/8 debe reservarse para el rango de direcciones estáticamente definidas por las organizaciones que ya tienen un número de sistema autónomo (AS) reservado. Esta práctica se llama direccionamiento GLOP. El número de dominio está incrustado en el segundo y tercer octeto del intervalo de direcciones 233.0.0.0/8.

Direcciones de alcance limitado

Las direcciones en el rango 239.0.0.0/8 se llaman de alcance limitado o direcciones de alcance administrativo. Estas direcciones se describen en el RFC 2365, Multidifusión IP de alcance administrativo, por estar limitadas o restringidas grupo local u organización. Las empresas, universidades u otras organizaciones pueden utilizar las direcciones de alcance limitado para tener aplicaciones de multidifusión local que no se enviarán fuera de su dominio.

Los routers normalmente están configurados con filtros para evitar el tráfico de multidifusión en este rango de direcciones. Dentro de un sistema autónomo o dominio, el intervalo de direcciones de alcance limitado puede subdividirse, y permite la reutilización de direcciones entre estos dominios más pequeños.

5. Direcciones multidifusión de capa 2

Históricamente, las tarjetas de interfaz de red (NIC) en un segmento de LAN podrían recibir únicamente los paquetes destinados a su dirección MAC o la dirección MAC de difusión. En multidifusión IP, varios hosts necesitan ser capaces de recibir un único flujo de datos común con una dirección MAC de destino. Se diseñaron algunos medios para que varios hosts pudiesen recibir el mismo paquete, y todavía ser capaces de diferenciar entre varios grupos de multidifusión.

Un método para lograr esto es asignar las direcciones de Clase D de multidifusión IP directamente a una dirección MAC. Hoy, utilizando este método, las placas de red pueden recibir paquetes destinados a diferentes direcciones MAC: a sus propias direcciones de unidifusión, a la dirección de difusión y a un rango de direcciones de multidifusión.

Las especificaciones IEEE LAN IEEE tomaron provisiones para la transmisión de los paquetes de difusión y multidifusión. En el estándar 802.3, el bit 0 del primer octeto se utiliza para indicar si una trama es de difusión o multidifusión. La Figura C.3 muestra la ubicación de los bits de difusión o multidifusión en una trama Ethernet.

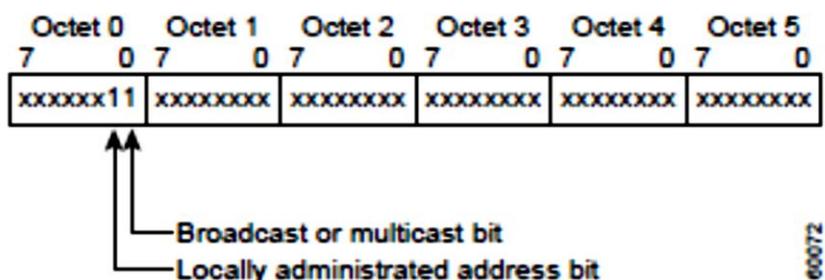


Figura C.3 Formato de dirección MAC IEEE 802.3.

Este bit indica que la trama está destinada a un grupo de hosts o de todos los hosts en la red (en el caso de la dirección de difusión, 0xFFFF.FFFF.FFFF). La multidifusión IP hace uso de esta capacidad para enviar paquetes IP a un grupo de hosts en un segmento de LAN.

Asignación de direcciones MAC Ethernet

La IANA posee un bloque de direcciones MAC de Ethernet que comienzan con 01:00:5E en formato hexadecimal. La mitad de este bloque está asignado para direcciones de multidifusión. El rango desde 0100.5e00.0000 hasta 0100.5e7f.ffff es el rango disponible de direcciones MAC Ethernet para la multidifusión IP.

Esto permite la asignación de 23 bits en la dirección Ethernet que corresponden a la dirección del grupo de multidifusión IP. La asignación coloca los 23 bits inferiores de la dirección del grupo de multidifusión IP en estos 23 bits disponibles en la dirección Ethernet (véase la Figura C.4).

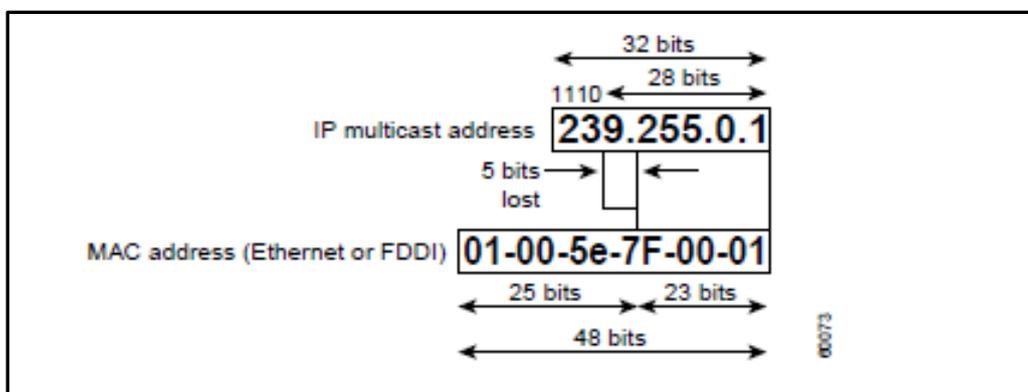


Figura C.4 Asignación de direcciones MAC a direcciones IP multidifusión.

Debido a que la parte superior de los cinco bits de la dirección IP multidifusión se descartan en esta asignación, la dirección resultante no es única. De hecho, hay 32 diferentes identificadores de grupo de multidifusión para la misma dirección Ethernet. Los administradores de red deben considerar este hecho al asignar direcciones IP de multidifusión. Por ejemplo, las direcciones 225.1.1.1 y 224.1.1.1 corresponden con la

misma dirección MAC de multidifusión en un switch de Capa 2. Si un usuario está suscrito a un grupo (designado por 224.1.1.1) y el resto de los usuarios están suscritos a un grupo B (designado por 225.1.1.1), todos pueden recibir los flujos tanto de A como de B (ver figura C.5). Esta situación limita la eficacia de esta implementación de multidifusión.

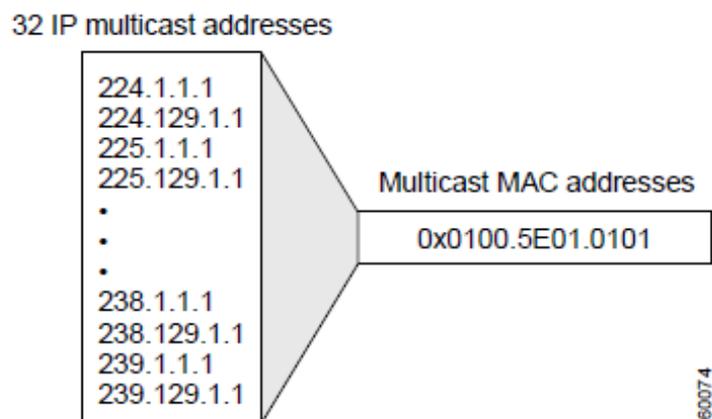


Figura C.5 Asignación de direcciones MAC a direcciones IP multidifusión.

6. Protocolos multidifusión intradominios

En esta sección, se analizan los protocolos de multidifusión intradominios. Por protocolos de multidifusión intradominio se entiende a los protocolos que se utilizan dentro de un dominio de multidifusión que admiten la multidifusión.

Protocolo de administración de grupo IGMP

IGMP se utiliza para registrar dinámicamente los hosts individuales a un grupo de multidifusión en una determinada LAN. Los host identifican su pertenencia al grupo enviando sus mensajes IGMP al router multidifusión local. En IGMP, los routers escuchan mensajes IGMP y envían consultas periódicamente para descubrir qué grupos están activos o inactivos en una subred particular.

IGMP versión 1

La RFC 1112, Extensiones de host para multidifusión IP, describe la especificación para IGMP versión 1 (IGMPv1). Un diagrama del formato de paquete para un mensaje IGMPv1 se muestra en la Figura C.6:

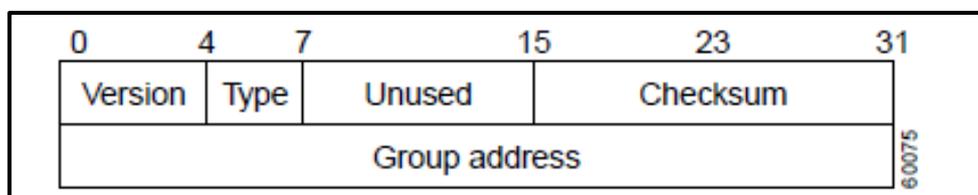


Figura C.6 Formato mensaje IGMPv1.

En la versión 1, sólo existen los siguientes dos tipos de mensajes IGMP existen:

- Requerimiento de membresía, y
- Reporte de membresía

Los hosts envían reportes de membresía IGMP correspondientes a un grupo de multidifusión particular para indicar que están interesados en unirse a ese grupo. La pila TCP/IP que se ejecuta en un host envía automáticamente el reporte de membresía IGMP cuando una aplicación abre un socket multidifusión. El router envía periódicamente un requerimiento de membresía IGMP para comprobar que por lo menos un host en la subred todavía está interesado en recibir el tráfico dirigido a ese grupo. Cuando no hay respuesta a tres requerimientos de membresía IGMP consecutivos, el router deja de enviar el tráfico dirigido hacia ese grupo.

IGMP versión 2

IGMPv1 ha sido sustituido por IGMP versión 2 (IGMPv2), que ahora es el estándar actual. IGMPv2 es compatible con las versiones anteriores de IGMPv1. La RFC 2236, Protocolo de administración de grupo de Internet versión 2, describe la especificación de IGMPv2. Un diagrama del formato de paquete para un mensaje IGMP se muestra en la Figura C.7:

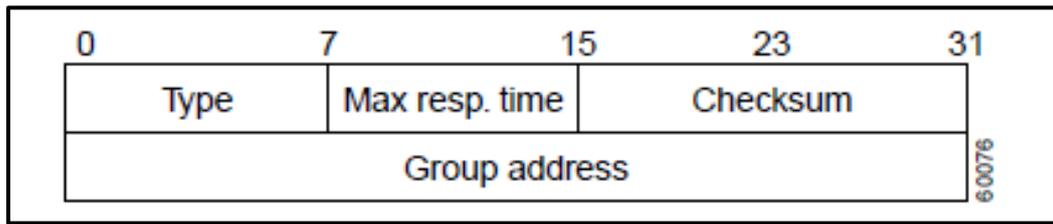


Figura C.7 Formato mensaje IGMPv2.

En la versión 2, existen los siguientes cuatro tipos de mensajes IGMP:

- Requerimiento de membresía,
- Reporte de membresía versión 1,
- Reporte de membresía versión 2, y
- Abandonar grupo.

IGMP versión 2 funciona básicamente de la misma manera que la versión 1. La principal diferencia es que hay un mensaje de abandonar el grupo. Con este mensaje, los hosts pueden comunicarse activamente con el router multidifusión local que tienen la intención de abandonar el grupo. Entonces, el router envía una consulta específica de grupo y determina si otros hosts restantes están interesados en recibir el tráfico. Si no hay respuestas, el router deja de reenviar el tráfico. La adición del mensaje de abandono de grupo en IGMP versión 2 reduce enormemente la latencia en comparación con IGMP versión 1. El tráfico innecesario y no deseado puede ser detenido mucho antes.

IGMP versión 3

IGMP versión 3 (IGMPv3) es el siguiente paso en la evolución de IGMP. IGMPv3 agrega soporte para "filtrado de origen", que permite a un host receptor de multidifusión señalarle a un router los grupos desde los cuales quiere recibir tráfico de multidifusión, y desde qué fuentes se espera ese tráfico.

Un diagrama del formato del paquete de requerimiento para un mensaje IGMPv3 se muestra en la Figura C.8:

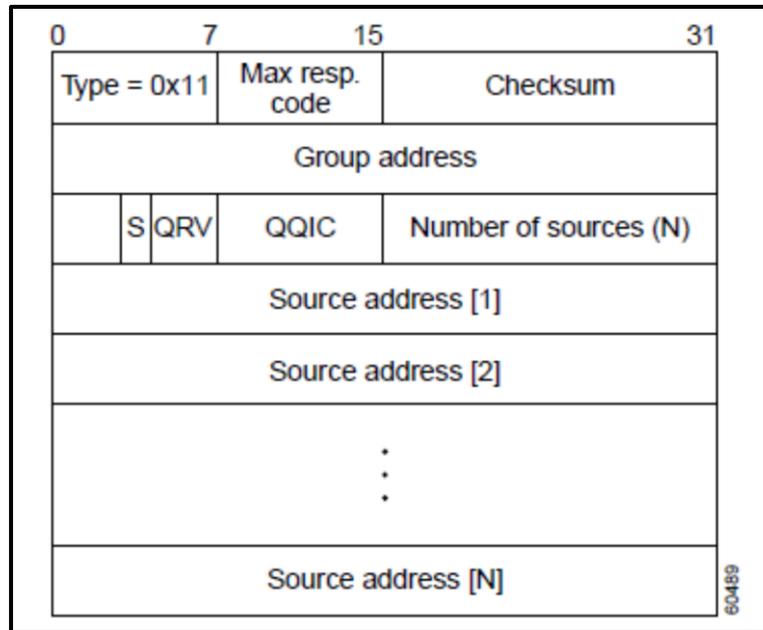


Figura C.8 Formato mensaje IGMPv3.

7. Árboles de distribución multidifusión

Los routers de multidifusión crean árboles de distribución que controlan la ruta que toma el tráfico de multidifusión IP a través de la red con el fin de entregar tráfico a todos los receptores. Los dos tipos básicos de árboles de distribución multidifusión son árboles de origen y árboles compartidos.

Árboles de origen

La forma más sencilla de un árbol de distribución multidifusión es un árbol de origen con su raíz en el origen y ramas formando un árbol de expansión a través de la red a los receptores. Debido a que en este árbol se utiliza la ruta más corta a través de la red, también se conoce como árbol de la ruta más corta (Shortest Path Tree, SPT).

La Figura C.9 muestra un ejemplo de un SPT para el grupo 224.1.1.1 con origen en el origen (Host A) y conectando a dos receptores (Host B y C).

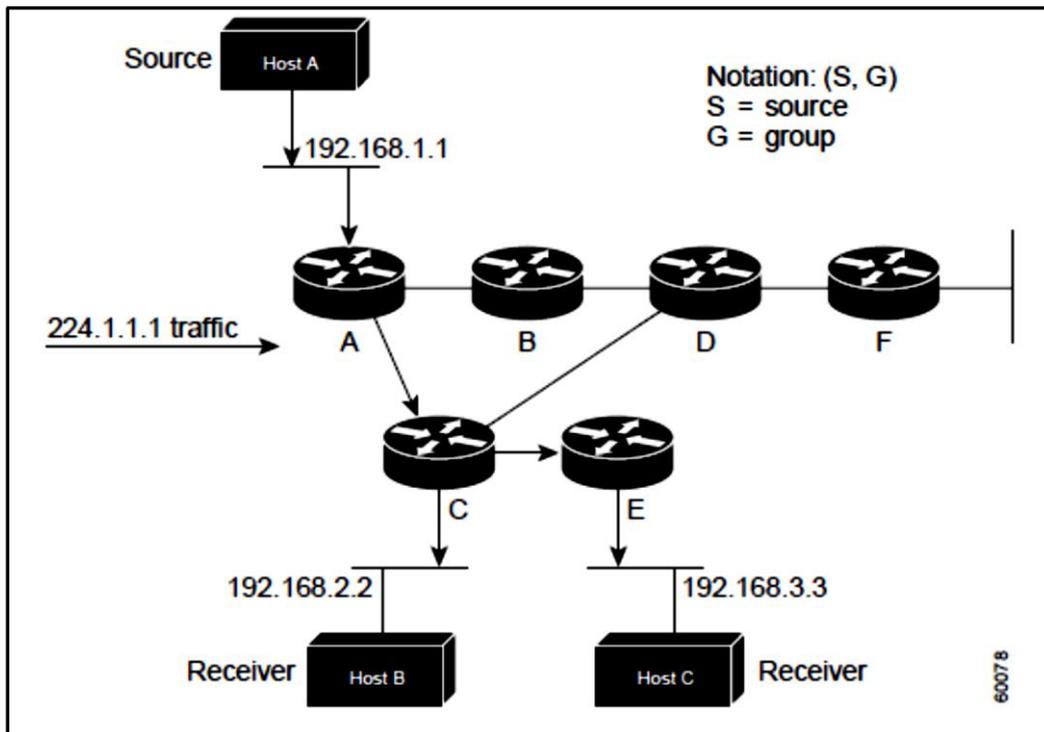


Figura C.9 Árbol origen en el Host A.

La notación especial de (S, G) (se pronuncia "S coma G"), enumera un SPT donde S es la dirección IP del origen y G es la dirección del grupo de multidifusión. Utilizando esta notación, la SPT para el ejemplo mostrado en la Figura 2.9 sería (192.168.1.1, 224.1.1.1).

La notación (S, G) implica que existe un SPT distinto e independiente para cada uno de los orígenes que envía tráfico a cada grupo, y que es correcta. Por ejemplo, si el host B es también envía tráfico al grupo 224.1.1.1 y los Hosts A y C son receptores, existiría una SPT separado (S, G) con la notación (192.168.2.2, 224.1.1.1).

Árboles compartidos

A diferencia de árboles de origen que tienen su raíz en el origen, los árboles compartidos utilizan una única raíz común colocada en algún punto elegido en la red. Esta raíz compartida se denomina punto de encuentro (Rendezvous Point, RP).

La Figura 10 muestra un árbol compartido para el grupo 224.2.2.2 con la raíz situada en el Router D. Este árbol compartido es unidireccional. El tráfico de origen es enviado hacia la RP sobre su árbol de origen. El tráfico es entonces transmitido hacia abajo del árbol compartido desde el RP para alcanzar a todos los receptores (a menos que el receptor está situado entre el origen y RP, en cuyo caso será atendido directamente).

En este ejemplo, el tráfico de multidifusión de los orígenes, los Hosts A y D, viaja a la raíz (el Router D), y luego, hacia abajo en el árbol compartido a los dos receptores, los Hosts B y C. Debido a que todas los orígenes en el grupo de multidifusión utilizan un árbol común compartido, se utiliza una notación con comodines (*, G) (pronunciado "asterisco coma G") que representa el árbol. En este caso, * significa todas las fuentes, y G representa el grupo de multidifusión. Por lo tanto, para el árbol compartido que se muestra en la Figura C.10 se escribiría (*, 224.2.2.2).

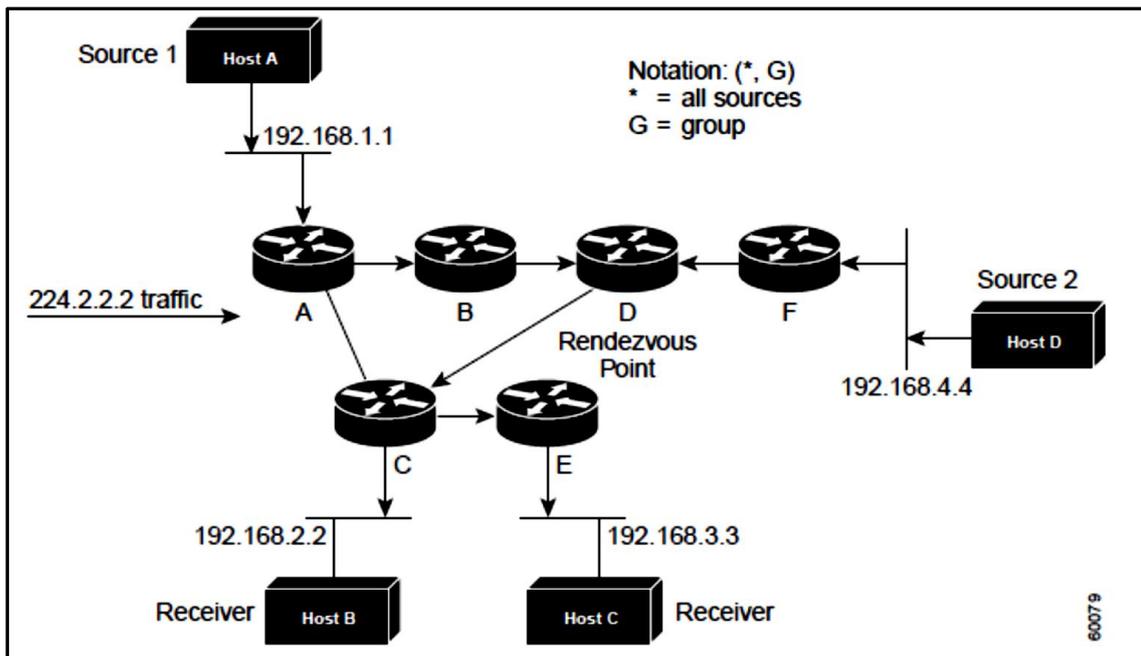


Figura C.10 Árbol de distribución compartido.

Árboles de origen y Árboles compartidos

Tanto los árboles de origen y los árboles compartidos están libres de bucles. Los mensajes sólo se replican en las ramas de los árboles.

Los miembros de los grupos de multidifusión pueden unirse o abandonar el grupo en cualquier momento; por lo tanto, la distribución de los árboles debe actualizarse de forma dinámica. Cuando todos los receptores activos en una rama particular dejan de pedir el tráfico para un determinado grupo de multidifusión, los routers podan esa rama del árbol de distribución y dejan de reenviar el tráfico en esa rama. Si un receptor en esa rama se activa y solicita tráfico de multidifusión, el router permitirá modificar dinámicamente el árbol de distribución y empezará a enviar el tráfico de nuevo

Los árboles de origen tienen la ventaja de crear la ruta óptima entre el origen y los receptores. Esta ventaja garantiza la cantidad mínima de latencia de red para el reenvío de tráfico de multidifusión. Sin embargo, esta optimización tiene un costo: Los routers deben mantener la información de la ruta para cada fuente.

En una red que tiene miles de orígenes y miles de grupos, esta sobrecarga puede convertirse rápidamente en un problema de recursos en los routers. El consumo de la memoria debido al tamaño de la tabla de enrutamiento multidifusión es un factor que los diseñadores de red deben tomar en consideración.

Los árboles compartidos tienen la ventaja de exigir la cantidad mínima de estado en cada router. Esta ventaja reduce los requisitos de memoria global para una red que sólo permite árboles compartidos. La desventaja de los árboles compartidos es que, bajo ciertas circunstancias, los caminos entre el origen y los receptores podrían no ser las rutas óptimas. Esto podría introducir cierta latencia en la entrega de paquetes. Por ejemplo, en la figura II.8, la ruta más corta entre el Host A (origen 1) y el Host B (receptor) sería el Router A y el Router C. Debido a que se usa el Router D como la raíz de un árbol compartido, el tráfico debe atravesar los routers A, B, D y luego C. Los diseñadores de red deben considerar cuidadosamente la ubicación del punto de encuentro (RP) al implementar un entorno sólo de árbol compartido.

8. Retransmisión multidifusión

En el enrutamiento unidifusión, el tráfico se enruta a través de la red a lo largo de una sola ruta desde el origen hasta el host destino. Un router unidifusión no considera la dirección de origen; sólo considera la dirección de destino y cómo reenviar el tráfico hacia ese destino. El router busca a través de su tabla de enrutamiento la dirección de destino y, a continuación, reenvía una copia única de los paquetes unidifusión la interfaz correcta en la dirección de destino.

En el reenvío de multidifusión, el origen está enviando tráfico a un grupo de hosts arbitrarios que están representados por una dirección de grupo de multidifusión. El router multidifusión debe determinar cuál es la dirección ascendente (hacia el origen) y cuál es la dirección (o las direcciones) descendente (s). Si hay múltiples rutas descendentes, el router replica el paquete y lo reenvía hacia abajo siguiendo las trayectorias descendentes apropiadas (con mejor métrica de ruta de unidifusión). Estas no son necesariamente todas las rutas. El reenvío de tráfico de multidifusión hacia el origen, más que al receptor, se denomina reenvío de ruta inversa (Reverse Path Forwarding, FPR).

Reenvío de Ruta Inversa FPR

PIM utiliza la información de enrutamiento de unidifusión para crear un árbol de distribución a lo largo de la ruta inversa de los receptores hacia el origen. Luego, los routers de multidifusión reenvían los paquetes a lo largo del árbol de distribución desde el origen a los receptores. El FPR es un concepto clave en el reenvío de multidifusión. Permite que los routers envíen tráfico de multidifusión correctamente hacia abajo del árbol de distribución. El FPR hace uso de la tabla de enrutamiento unidifusión existente para determinar los vecinos aguas arriba y aguas abajo.

Verificación FPR

Cuando un paquete multidifusión llega a un router, este realiza una verificación del FPR sobre el paquete. Si la verificación FPR es exitosa, el paquete se reenvía. De lo contrario, se descarta.

Para que el tráfico fluya hacia abajo en un árbol de origen, el procedimiento de verificación FPR funciona de la siguiente manera:

- El router examina la dirección origen en la tabla de enrutamiento unidifusión para determinar si el paquete ha llegado desde la interfaz que está sobre la ruta inversa hacia el origen.
- Si el paquete ha llegado sobre la interfaz que lleva de vuelta al origen, el FPR ha sido exitoso y el paquete se reenvía.
- Si la comprobación del FPR en el paso 2 falla, el paquete se descarta.

La Figura C.11 muestra un ejemplo de una verificación RPF no exitosa.

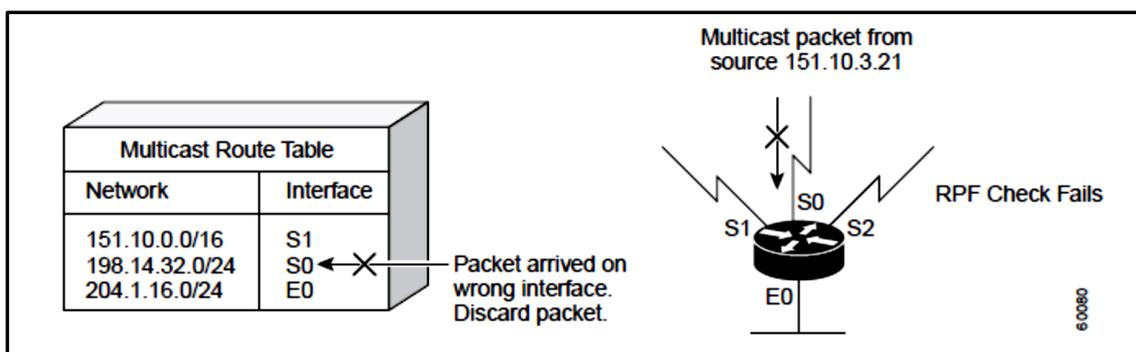


Figura C.11 verificación RPF no exitosa.

Como ilustra la Figura anterior, se recibe un paquete de multidifusión desde el origen 151.10.3.21 sobre la interfaz serial 0 (S0). Una verificación de la tabla de rutas de unidifusión muestra que S1 es la interfaz que este router podría usar para reenviar los paquetes de datos unidifusión a 151.10.3.21. Debido a que el paquete ha llegado sobre la interfaz S0, el paquete se descarta.

La Figura C.12 muestra un ejemplo de una verificación RPF exitosa.

En este ejemplo, los paquetes de multidifusión han arribado sobre la interfaz S1. El router se refiere a la tabla de enrutamiento unidifusión y encuentra que S1 es la interfaz correcta. El FPR pasa la comprobación, y el paquete se reenvía.

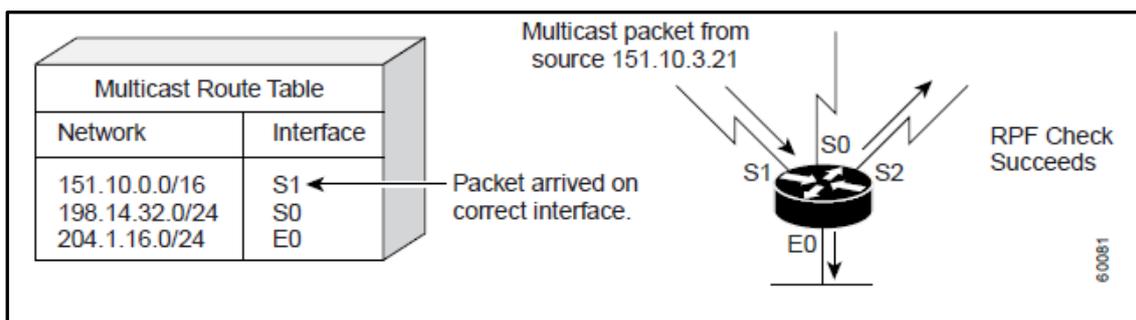


Figura C.12 verificación RPF no exitosa.

9. Protocolo de multidifusión independiente PIM

PIM es un protocolo independiente del enrutamiento IP y puede aprovechar el uso de los protocolos de enrutamiento de unidifusión para rellenar la tabla de enrutamiento unidifusión, incluido el protocolo EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), el protocolo OSPF (Open Shortest Path First), el protocolo BBGP (Border Gateway Protocol) y las rutas estáticas. PIM utiliza esta información de enrutamiento de unidifusión para realizar la función de reenvío de multidifusión. Aunque PIM es llamado un protocolo de enrutamiento de multidifusión, realmente utiliza la tabla de enrutamiento unidifusión para realizar la función de verificación del FPR en lugar de crear una tabla de enrutamiento multidifusión completamente independiente. A diferencia de otros protocolos de enrutamiento, PIM no envía y recibe actualizaciones de enrutamiento entre routers.

PIM de modo denso PIM-DM

PIM-DM utiliza un modelo de inserción para inundar el tráfico de multidifusión a todos los rincones de la red. Este modelo de inserción es un método de fuerza bruta para entregar datos a los receptores. Este método sería eficaz en ciertas implementaciones en las que existen receptores activos en cada una de las subredes de la red.

PIM-DM, inicialmente, inunda el tráfico de multidifusión en la red. Los routers que no tienen vecinos hacia abajo filtran el tráfico no deseado. Este proceso se repite cada 3 minutos.

Los routers acumulan información de estado mediante la recepción de los flujos de datos, y a través de la inundación y el mecanismo de filtrado. Estos flujos de datos contienen la información del origen y del grupo, de modo que los routers pueden construir su tabla de reenvío de multidifusión. PIM-DM sólo admite árboles de origen, es decir, (S, G). Las entradas no pueden ser utilizadas para construir un árbol de distribución compartida.

PIM de modo esparcido PIM-SM

PIM-SM usa un modelo de extracción para entregar tráfico de multidifusión. Sólo los segmentos de red con receptores activos que han pedido explícitamente los datos recibirá el tráfico.

PIM-SM distribuye la información acerca de los orígenes activos mediante el reenvío de paquetes de datos sobre el árbol compartido. Debido a que PIM-SM utiliza árboles compartidos (al menos inicialmente), requiere el uso de un punto de encuentro (RP). El RP debe ser configurado administrativamente en la red.

Los orígenes se registran con el RP, y luego, los datos se reenvían hacia abajo del árbol compartido a los receptores. Los routers de borde aprenden acerca de un origen en particular cuando reciben los paquetes de datos en el árbol compartido, desde ese origen a través del RP. El router de borde envía entonces mensajes de unión PIM (S, G) hacia esa fuente. Cada router a lo largo de la ruta inversa compara la métrica de enrutamiento de unidifusión de la dirección RP con la métrica de la dirección de origen. Si la métrica

para la dirección de origen es mejor, reenviará un mensaje de unión PIM (S, G) hacia el origen. Si la métrica del RP es el mismo o mejor, entonces el mensaje de unión PIM (S, G) será enviado en la misma dirección que el RP. En este caso, el árbol compartido y el árbol de origen serían considerados congruentes.

La Figura C.13 muestra un árbol compartido PIM-SM estándar unidireccional. El router más cercano al origen se registra con el RP (parte A de la Figura) y, a continuación, crea un árbol de orígenes (S, G) entre el origen y el RP (parte B de la figura). Los datos se envían descendentemente en el árbol compartido (*, G) hacia el receptor desde el RP.

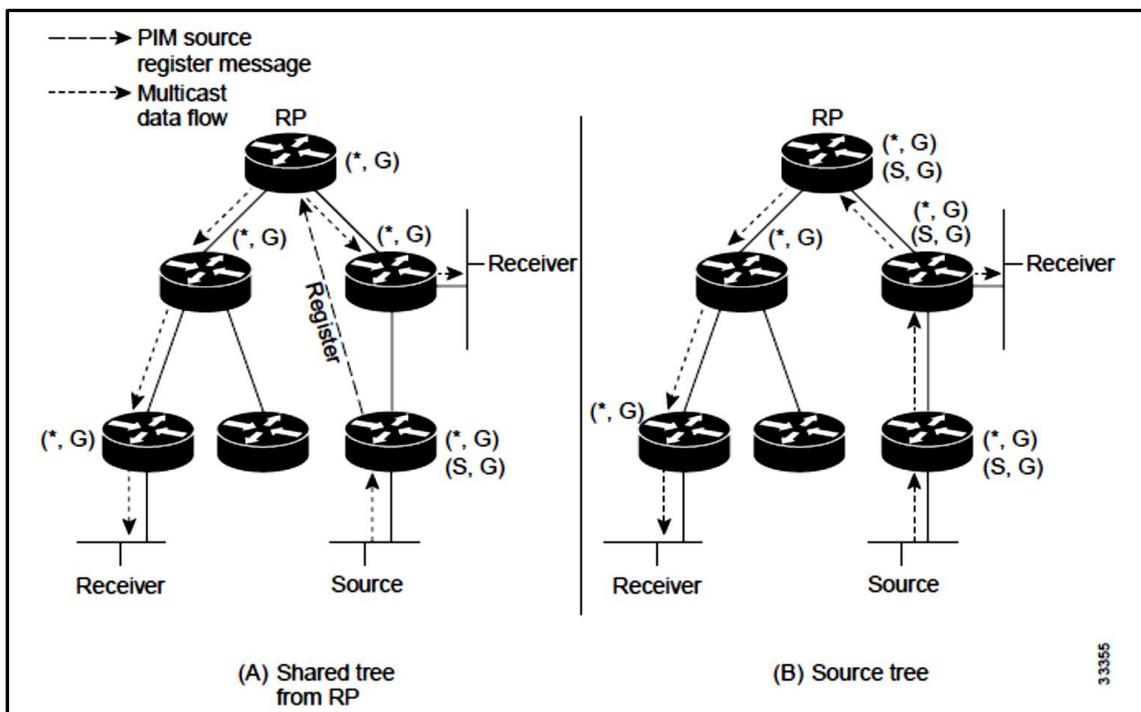


Figura C.13 Árbol compartido PIM-SM.

Si el árbol compartido no es una ruta óptima entre el origen y el receptor, los routers crean dinámicamente un árbol de origen y detienen el tráfico que fluye hacia abajo del árbol compartido.

PIM-SM fue originalmente descrito en el RFC 2362, Protocolo de Modo Multidifusión-Esparcido Independiente (PIM-SM): Especificación del protocolo.

PIM-SM se ajusta bien a una red de cualquier tamaño, incluyendo aquellos con vínculos WAN. El mecanismo de unión explícita previene las inundaciones del tráfico no deseado en los enlaces WAN.

PIM bidireccional (Bidir-PIM)

El PIM bidireccional (PIM-PIM) es una mejora del protocolo PIM que fue diseñado para una comunicación eficiente muchos-a-muchos dentro de un dominio PIM individual. Los grupos de multidifusión en el modo bidireccional pueden escalar a un número arbitrario de orígenes con sólo una mínima cantidad de sobrecarga adicional.

Los árboles compartidos que son creados en el modo PIM Esparcido son unidireccionales. Esto significa que un árbol de origen debe ser creado para traer el flujo de datos al RP (la raíz del árbol compartido) y, luego, puede ser transmitido hacia abajo usando las ramas a los receptores. Los datos de origen no pueden fluir ascendentemente en el árbol compartido hacia el RP. Esto sería considerado un árbol compartido bidireccional.

En el modo bidireccional, el tráfico se envía sólo a lo largo de un árbol compartido bidireccional. Para el grupo su raíz es RP. En el PIM bidireccional, la dirección IP del RP actúa como la clave para tener a todos los routers como una topología de árbol de expansión libre de lazos, con raíz en esa dirección IP. Esta dirección IP no necesita ser una dirección de router, pero puede ser cualquier dirección IP no asignada en una red, que es accesible dentro de todo el dominio de PIM.

En la Figura C.14 se muestra un árbol compartido bidireccional. Los datos del origen pueden fluir en el árbol compartido (*, G) hacia el RP y, luego, hacia abajo en el árbol compartido al receptor. No hay proceso de registración. Así se crea el árbol de origen (S, G)

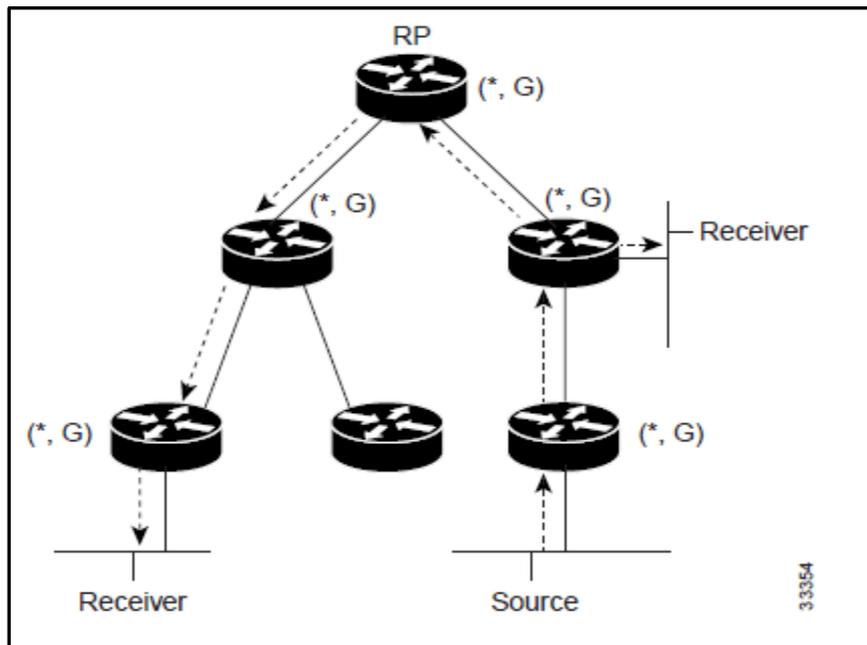


Figura C.14 Árbol compartido bidireccional.

El PIM direccional se deriva de los mecanismos PIM de modo esparcido (PIM-SM), y comparte varias de las operaciones de árbol compartido. El PIM bidireccional tiene, también, el reenvío incondicional de tráfico de origen hacia la RP, ascendiendo en el árbol compartido, pero sin ningún proceso de registración para los orígenes como en el PIM-SM. Estas modificaciones son necesarias y suficientes para permitir el reenvío de tráfico en todos los routers basados únicamente en las entradas de ruteo multidifusión (*, G). Esta característica elimina cualquier estado de origen específico y permite escalar la capacidad a cualquier número de orígenes.

10. Multidifusión general pragmática (Pragmatic General Multicast, PGM)

PGM es un protocolo de transporte de multidifusión confiable para aplicaciones que requieren entrega de datos multidifusión ordenada, libre de duplicados, procedentes de múltiples fuentes a múltiples receptores. PGM garantiza que un receptor en un grupo de multidifusión reciba todos los paquetes de datos de transmisiones y retransmisiones, o puede detectar las pérdidas de paquetes de datos irrecuperables.

El protocolo de transporte confiable PGM se aplica sobre los orígenes y sobre los receptores. El origen mantiene una ventana de transmisión de los paquetes de datos salientes, y reenviará los paquetes individuales cuando reciba un acuse de recibo negativo (NAK). Los elementos de red (tales como los routers) ayudan en la supresión de una implosión de NAKs (cuando un paquete de datos se descarta) y una transmisión eficiente de los datos reenviados sólo a las redes de datos que lo necesiten.

PGM está pensado como una solución para las aplicaciones de multidifusión con requerimientos de confiabilidad básicos. PGM es mejor que la entrega de mejor esfuerzo, pero no es fiable al 100%. La especificación de PGM es independiente de la capa de red.

11. Protocolos multidifusión interdominios

Los apartados siguientes tratan los protocolos de multidifusión interdominios que se utilizan entre dominios de multidifusión. Estos protocolos son utilizados también por los ISP para enviar tráfico de multidifusión en Internet.

Protocolo de Puerta de Enlace de Borde Multiprotocolo (Multiprotocol Border Gateway Protocol, MBGP)

MBGP proporciona un método para que los proveedores distingan qué prefijos de ruta usar en las comprobaciones del FPR de multidifusión. La verificación FPR es el mecanismo fundamental que usan los routers para determinar las rutas que los árboles de reenvío de multidifusión seguirán, y entregar satisfactoriamente el contenido multidifusión desde los orígenes a los receptores.

MBGP está descrito en RFC 2283, Extensiones multiprotocolo para BGP-4. Debido a que MBGP es una extensión de BGP, contiene la maquinaria administrativa que los proveedores y los clientes requieren en sus entornos de enrutamiento interdominios, incluyendo todas las herramientas inter-AS para filtrar y controlar el enrutamiento (por ejemplo, mapas de rutas). Por lo tanto, cualquier red utilizando BGP interior (IBGP) o exterior (EBGP) puede usar MBGP para múltiples políticas de control familiares en

BGP, y especificar la política de enrutamiento (y, por lo tanto, la política de reenvío) para multidifusión.

Dos atributos del paso NLRI MP_reach_MP_y_UNREACH_NLRI fueron introducidas en el protocolo BGP4. Estos nuevos atributos crean una forma sencilla de llevar dos conjuntos de información de enrutamiento, en uno para enrutamiento unidifusión y en otro para enrutamiento multidifusión. Las rutas asociadas con enrutamiento multidifusión se utilizan para controlar el FPR en los bordes interdominios.

La principal ventaja de MBGP es que una interconexión puede admitir topologías unidifusión y multidifusión no congruentes. Cuando las topologías de unidifusión y multidifusión son congruentes, MBGP puede soportar diferentes políticas diferentes para cada caso. Las tablas de enrutamiento BGP independientes son mantenidas por el U-RIB (Unicast Routing Information Base) y el M-RIB (Multicast Routing Information Base). El M-RIB se deriva de la tabla de enrutamiento unidifusión con las políticas de multidifusión aplicadas. Los eventos de verificación de FPR y reenvío PIM se realizan en base a la información en el M-RIB. MBGP proporciona una solución escalable basada en directivas del protocolo de enrutamiento interdominios.

Protocolo de descubrimiento de orígenes multidifusión (Multicast Source Discovery Protocol, MSDP)

En el modelo de modo PIM esparcido, el router más cercano a los orígenes o a los receptores se registra con el RP. El RP sabe acerca de todos orígenes y receptores para cualquier grupo en particular. Los administradores de red pueden configurar varios RPs y crear varios dominios PIM-SM. En cada dominio, los RPs no tienen forma de saber acerca de los orígenes situados en otros dominios. MSDP es una manera elegante de resolver este problema.

MSDP fue desarrollado para comunicaciones entre iguales entre los proveedores de servicios de Internet (ISP). Los ISP no quieren confiar en un RP mantenido por un competidor ISP para ofrecer el servicio a sus clientes. MSDP le permite a cada ISP tener su propio RP local, y retransmitir y recibir tráfico de multidifusión a Internet.

MSDP habilita los RPs permite para compartir información sobre los orígenes activos. Los RPs saben acerca de los receptores en su dominio local. Cuando los RPs en los dominios remotos escuchan saben sobre los orígenes activos, pueden transmitir esta información a sus receptores locales y, luego, transmitir los datos de multidifusión entre los dominios. Una característica útil de MSDP es que permite que cada dominio mantenga la independencia de RP (que no depende de otros dominios).

MSDP da a los administradores de red la opción de reenviar selectivamente tráfico de multidifusión entre dominios, o bloquear determinados grupos u orígenes. Para la retransmisión de tráfico de multidifusión entre dominios se usa PIM-SM.

El RP en cada dominio establece una sesión MSDP entre pares, mediante una conexión TCP, con los RPs en otros dominios o con los routers de borde que conducen a los otros dominios. Cuando el RP aprende sobre un nuevo origen de multidifusión dentro de su propio dominio (mediante el mecanismo de registro de PIM normal), el RP encapsula el primer paquete de datos en un mensaje SA (Source-Active) y envía SA a todos los pares MSDP.

MSDP usa una verificación FPR modificada para determinar a qué pares deberían reenviarse los mensajes SA. Esta verificación FPR modificada se realiza a nivel de sistema autónomo en lugar de usar una métrica por salto. El SA es reenviado por cada par receptor, usando la misma verificación FPR modificada, hasta que el SA alcanza cada router en la interconexión (teóricamente la Internet multidifusión toda). Si par MSDP receptor es un RP, y el RP tiene una entrada (*, G) para el grupo en el SA (es decir, hay un interesado en el receptor), el RP crea el estado (S, G) estado para el origen y se une al árbol de ruta más corta para origen. Los datos encapsulados se desencapsulan y se transmiten hacia abajo en el árbol compartido de ese RP. Cuando el paquete se recibe por el router de último salto del receptor, el router de último salto también puede unirse al árbol de paso más corto al origen.

El par MSDP activo envía periódicamente SAs que incluyen todos los orígenes dentro de su propio dominio de RP. La Figura C.15 muestra cómo deberían fluir los datos entre un origen en el dominio A al receptor en el dominio E.

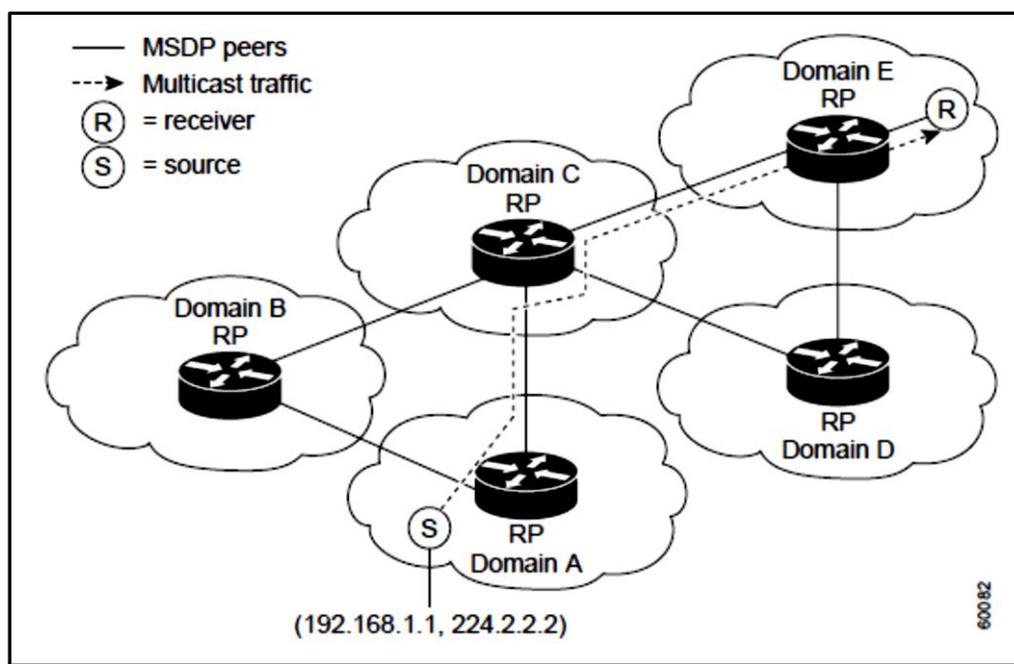


Figura C.15 Vecinos MSDP.

AnyCast RP

AnyCast RP es una aplicación útil aplicación de MSDP que configura una red de modo multidifusión esparcido para proporcionar tolerancia a fallas y carga compartida dentro de un único dominio de multidifusión.

Se configuran dos o más RPs con la misma dirección IP (por ejemplo, 10.0.0.1) sobre las interfaces de loopback (véase la Figura siguiente). La dirección de loopback debería configurarse como una dirección de host (con una máscara de 32 bits). Todos los routers de flujo descendente se configuran para que conozcan que la 10.0.0.1 es la dirección IP de su RP local. El ruteo IP selecciona automáticamente el RP topológicamente más cercano para cada origen y receptor. Debido a que algunos orígenes utilizan sólo uno de RP y algunos receptores diferentes RPs, MSDP habilita a los RPs para intercambiar

información acerca de los orígenes activos. Todos los RPs se configuran para ser pares MSDP de cada otro. Cada RP conocerá los orígenes activos en el área del otro RP. Si cualquiera de los RPs falla, el ruteo IP converge y uno de los RPs se convertiría en el RP activo en ambas áreas.

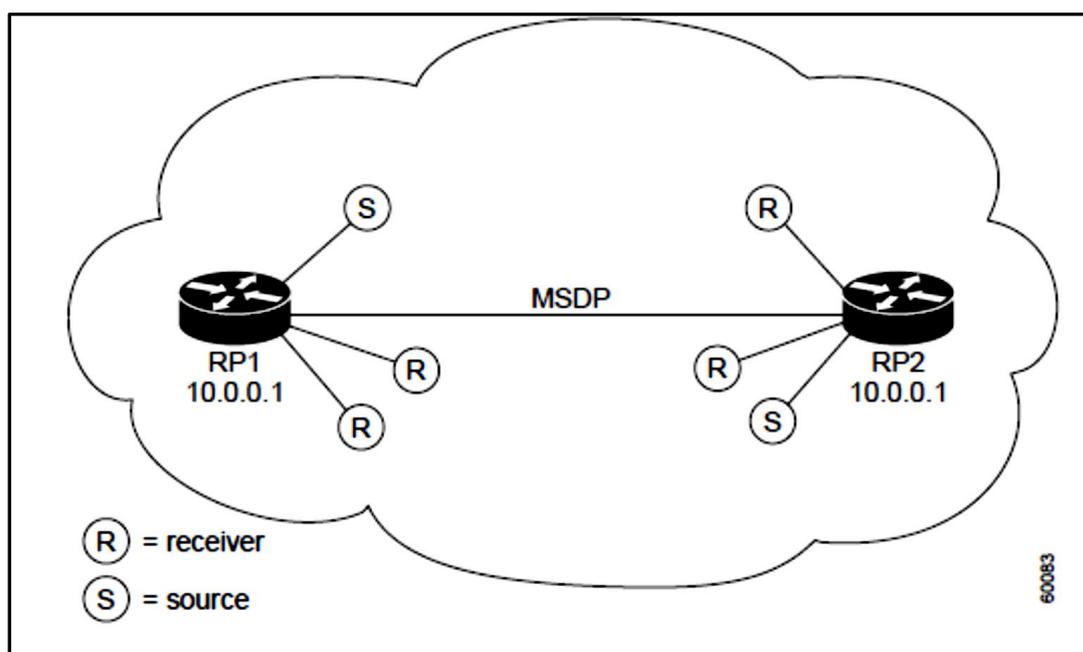


Figura C.16 Anycast MSDP.

Multidifusión de origen específico (Source Specific Multicast, SSM)

SSM es una extensión del protocolo PIM que permite un eficiente mecanismo de entrega de datos en comunicaciones uno-a-muchos. SSM le permite a un cliente receptor, una vez que ha aprendido acerca de un determinado origen de multidifusión a través de un servicio de directorio, a recibir contenido directamente desde el origen, en lugar de recibirlo mediante un RP compartido.

SSM elimina el requisito MSDP de descubrir los orígenes activos en otros dominios de PIM. Un servicio fuera de banda a nivel de aplicación, como un servidor web, puede realizar el descubrimiento del origen. Esto también elimina la necesidad de un RP.

En las implementaciones multidifusión tradicionales, las aplicaciones deben "unirse" a una dirección IP de grupo de multidifusión, porque el tráfico se distribuye a todo un grupo de multidifusión IP. Si dos aplicaciones con diferentes orígenes y receptores utilizan la misma dirección IP de grupo de multidifusión, los receptores de ambas aplicaciones recibirán tráfico desde los emisores de ambas aplicaciones. Aunque los receptores, si están programados adecuadamente, pueden filtrar el tráfico no deseado, esta situación seguiría generando muy probablemente niveles notables de tráfico de red no deseado.

En una red de multidifusión SSM mejorada, el router más cercano al receptor "verá" una solicitud de la aplicación receptora para unirse a un origen multidifusión particular.

El router multidifusión puede ahora enviar la solicitud directamente al origen en lugar de enviarla a un RP común como en el modo PIM esparcido. En este punto, el origen puede enviar los datos directamente al receptor usando la ruta más corta. En SSM, el enrutamiento del tráfico de multidifusión se realiza enteramente con árboles de origen. No hay árboles compartidos y, por tanto, no se requiere un RP.

La capacidad de SSM para que pueda incluir y excluir explícitamente orígenes particulares permite una cantidad limitada de la seguridad. Por ejemplo, el tráfico desde un origen a un grupo que no figure explícitamente en el directorio no será reenviado a los receptores no interesados.

SSM también resuelve problemas de colisiones de direcciones IP multidifusión asociados con aplicaciones del tipo uno a muchos. Los routers que ejecutan el modo SSM rutearán los flujos de datos en base a la dirección (S, G). Suponiendo que un origen tiene una dirección IP única para enviar a Internet, cualquier (S, G) desde ese origen sería único.

ANEXO D

PROTOCOLO RTP / RTCP

A. RTP

1. Introducción

RTP – significa “Real Time Transport Protocol” (Protocolo de transporte en tiempo real), y define un formato de paquete estándar para el envío de audio y video sobre Internet. Es definido en el RFC1889. Fue desarrollado por el grupo de trabajo de transporte de audio y video y fue publicado por primera vez en 1996. RTP se utiliza ampliamente en los sistemas de comunicación y entretenimiento que involucran medios de transmisión, tales como la telefonía, aplicaciones de videoconferencias, servicios de televisión y web basado en funcionalidades push-to-talk.

2. Fundamentos de RTP

El protocolo RTP se establece en el espacio de usuario y se ejecuta, por lo general, sobre UDP, ya que posee menor retardo que TCP. Por tanto con UDP se gana velocidad a cambio de sacrificar la confiabilidad que TCP ofrece. Debido a ésto, RTP no garantiza la entrega de todos los paquetes, ni la llegada de éstos en el instante adecuado.

La función básica de RTP es multiplexar varios flujos de datos en tiempo real en un solo flujo de paquetes UDP, pudiéndose enviar tanto a un solo destino (unicast) o múltiples destinos (multicast). Los paquetes son numerados de la siguiente manera: se le asigna a cada paquete un número mayor que su antecesor. Esto será útil para que la aplicación conozca si ha fallado algún paquete o no en la transmisión. Si ha fallado, al no tener un control de flujo, de errores, de confirmaciones de recepción ni de solicitud de transmisión, la mejor opción es la interpolación de los datos.

Otra característica muy importante para las aplicaciones de contenido multimedia en tiempo real es el time-stamping (marcación del tiempo). La idea es permitir que el

origen asocie una marca de tiempo con la primera muestra de cada paquete. Las marcas de tiempo son relativas al inicio del flujo, por tanto, solo importa las diferencias entre dichas marcas de tiempo. Con este planteamiento, el destino es capaz de almacenar un pequeño buffer e ir reproduciendo cada muestra el número exacto de milisegundos después del inicio del flujo reduciendo los efectos de la fluctuación y sincronizando múltiples flujos entre sí.

El encabezado de los paquetes RTP consiste en 3 palabras de 32 bits y algunas extensiones:

PRIMERA PALABRA:

- Ver. : campo versión (2 bits)
- P: indica si el paquete se ha rellenado a un múltiplo de 4 bytes. El último byte de relleno indica cuántos bytes se agregaron. (1 bit)
- X: indica si hay un encabezado de extensión. (1 bit)
- CC: indica cuántos orígenes de contribución están presentes, de 0 a 15 (4 bits)
- M: es un marcador específico de la aplicación, normalmente un marcador de inicio (1 bit)
- Tipo de carga útil: indica cuál es el algoritmo de codificación que se ha utilizado (7 bits)
- Numero de secuencia: contador que se incrementa en cada paquete RTP enviado (16 bits)

SEGUNDA PALABRA:

- Marca de tiempo: indica cuándo se creó la primera muestra en el paquete. (32 bits)

TERCERA PALABRA:

- Identificador de origen de sincronización: indica a cuál flujo pertenece el paquete. Es el método para de multiplexar/demultiplexar varios flujos de datos en un solo flujo de paquetes UDP. (32 bits)
- Por último, los Identificadores de origen de contribución, en caso de que haya, se utilizan cuando los mezcladores están presentes en el estudio. En ese caso, el mezclador es el origen de sincronización, y los flujos que se mezclan se listan en esta palabra.

B. **RTCP** (*Real Time Control Protocol*)

1. **Introducción**

RTP se utiliza junto con el protocolo de control de RTP (RTCP). Mientras que RTP transporta los flujos de medios (por ejemplo, audio y vídeo), RTCP se usa para supervisar las estadísticas de transmisión y calidad de servicio (QoS) y ayuda a la sincronización de múltiples flujos.

RTP es originado y recibido en número de puerto par y la comunicación asociada a RTCP utiliza el próximo número de puerto impar superior.

Es el protocolo de control que acompaña a una sesión de streaming RTP. Proporciona control definiendo intercambio de informes entre los participantes de una sesión de streaming RTP, el objetivo es **informar a la aplicación sobre la calidad de servicio RTP, lo que permite a las mismas actuar adaptativamente** por ejemplo empleando otros esquemas de compresión. Según la RFC podemos llamar a RTCP como **monitor de calidad de servicio de una sesión RTP**. Típicamente RTCP usa UDP como su protocolo de transporte. RTCP no tiene asociado un puerto bien conocido si no que usa puertos aleatorios.

2. **Funciones RTCP**

RTCP tiene cuatro funciones:

- 1) Proporcionar retroalimentación de la distribución de datos tanto del emisor como de los receptores
- 2) Identificar orígenes mediante CNAME (Canonical Names), lo que permite sincronizar flujos distintos que corresponden a un mismo origen y contenido multimedia.
- 3) Ajuste de frecuencia de envío de información de control para sesiones RTP escalables
- 4) La función opcional de transmisión de información de control de sesión mínima

3. Formatos de Paquete RTCP

La RFC define varios tipos de paquetes RTCP para transportar información de control, estos son:

- **SR: Reporte de emisor** para estadísticas de transmisión y recepción para participantes que son transmisores activos.
- **RR: Reporte de receptor**, para estadísticas de recepción desde participantes en la sesión que no son transmisores activos.
- **SDES**: ítems de descripción de transmisores RTP, aquí se incluye CNAME.
- **BYE**: Indica el fin de la participación de un miembro.
- **APP**: Funciones específicas de aplicación.

ENCABEZADO RTCP

El encabezado RTCP tiene 32 bytes y está dividido en 3 zonas:

PRIMERA ZONA:

- V indica la versión. (2 bits)
- P indica si el paquete se ha rellenado a un múltiplo de 4 bytes. El último byte de relleno indica cuántos bytes se agregaron. (1 bit)
- RC es un contador de informes en el paquete. (5 bits)

- PT es la carga útil = 200 para SR. (8 bits)
- Longitud del reporte. (16 bits)
- SSRC que lo origina. (32 bits)

SEGUNDA ZONA:

- NTP timestamp: marca de tiempo NTP. (64 bits)
- RTP timestamp: marca de tiempo RTP. (32 bits)
- Conteo de paquetes enviados desde el inicio de la sesión por el emisor. (32 bits)
- Conteo de bytes enviados desde el inicio de la sesión por el emisor. (32 bits)

TERCERA ZONA:

- Conjunto de RR, uno por cada fuente escuchada con la siguiente información:
- SSRC-n: número de la fuente cuyo flujo se analiza. (32 bits)
- Fracción perdida (8 bits).
- Número acumulativo de paquetes perdidos (24 bits).
- Extensión del número de secuencia más alto recibido (32 bits).
- Intervalo de la variación de retardo. Se trata del tiempo de tránsito relativo entre los dos paquetes de datos y es calculado para cada paquete de datos recibido por la fuente SSRC_n. (32 bits).
- Marca de tiempo del último informe de envío (32 bits).
- Retardo desde el último informe de envío (32 bits).

Se puede transmitir un paquete de control compuesto, haciendo que el protocolo de capa subyacente encapsule más de un paquete de control.

Los paquetes RTCP son enviados cada pocos segundos por todos los transmisores y receptores, el intervalo de envío de información de control para cada participante es determinado de manera aleatoria para evitar congestión en la red debido a varios participantes enviando datos de control al mismo tiempo. Los paquetes RR reportan la fracción y el número total de paquetes perdidos, el número de secuencia más alto recibido, la variación entre tiempos de llegada, último timestamp de SR y el tiempo que

paso desde el último SR. Los paquetes SR extienden los paquetes RR con información de sincronización de reloj y cuenta del número total de octetos y paquetes **enviados**.

En la figura D.1 se muestra un ejemplo de interacción típica de envío y recepción de datos e información de control entre miembros de una sesión RTP donde existe un transmisor activo y dos receptores en entorno multicast.

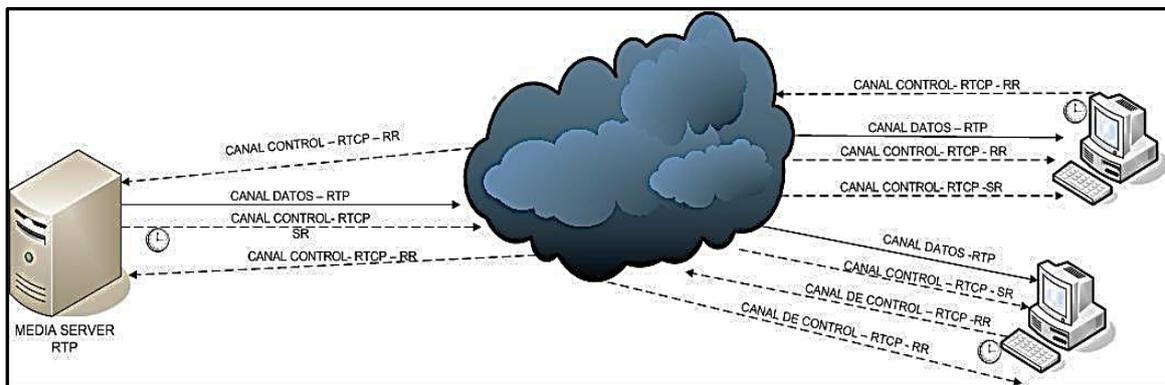


Figura D.1 Interacción RTP-RTCP

Podemos plantear la incorporación de un monitor RTCP aprovechando la dinámica de este protocolo para obtener mediciones de desempeño de nuestras sesiones multicast RTP. RTP/RTCP permiten administrar calidad en la entrega de contenidos multimedia con costos asociados al consumo adicional de ancho de banda por sobrecarga de paquetes de control y encabezados. Se plantea que el media server emita contenidos en el formato seleccionado pasándolo “crudo” al protocolo subyacente de capa de transporte y hacer que los clientes envíen reportes de receptor a un servidor RTCP quien será el encargado de llevar a cabo estadísticas y reparaciones.

ANEXO E

Software de streaming - Unreal Media Server

1. Descripción General

Unreal Media Server es un software servidor de streaming de video que ofrece la funcionalidad de transmitir video bajo demanda o en vivo. Soporta una variedad de protocolos de comunicación para entregar streams a clientes en una red, tales como Flash Player, SilverLight, Windows Media Player, Unreal Media Player y dispositivos móviles.

El servidor soporta UMS (protocolo propietario basado en DirectShow, independiente del codec) para entregar contenidos Unreal Media Player tanto en modo unicast como multicast. También soporta los protocolos RTMP y RTMPT para entrega a Flash Player, MS-WMSP y MS Smooth para entregar a SilverLight y Windows Media Player, Protocolo Apple HTTP Live Streaming para iOS y otros dispositivos con HLS habilitado, y protocolo MPEG2-TS para entrega a IP-TV u otros dispositivos compatibles.

El servidor realiza streaming de cualquier formato de archivo multimedia, codificado con cualquier codec. Los formatos contenedores soportados que se incluyen son: MP4, ASF, AVI, MKV, MPEG, WMV, FLV, OGG, MP3, 3GP, MOV, etc. Los archivos se pueden enviar por unidifusión en modo "on-demand" (bajo demanda) o con multidifusión en modo "live" (en vivo). Se admite la funcionalidad de lista de reproducción.

Es compatible con secuencias en directo de una amplia gama de codificadores de software y hardware que envíen flujos RTMP, RTSP, MPEG2-TS, MS-WMPS y protocolos UMS. Secuencias en directo entrantes se pueden enviar al instante a varios clientes receptores a través de dos modalidades de entrega streaming live: Near-Real-

Time and Buffered. Para servicios de Videoconferencia puede existir una latencia de 0.2 a 2 segundos proporcionada por el modo de tiempo Real.

Los codificadores que son compatibles pueden ser: software y hardware con RTMP; servidores de software con RTSP y MPEG2-TS y dispositivos decodificadores tales como cámaras IP y equipos de radiodifusión; Codificadores de MS-WMSP como WME y también Unreal Live Server que es el decodificador propietario de audio y video.

Unreal Media Server es un software de servidor de alto rendimiento totalmente escrito en lenguaje de programación C++ y la utilización de los mecanismos más eficientes incorporados en el sistema operativo Windows.

La figura E.1 es una representación gráfica de la arquitectura (desde una perspectiva de servicios) del servidor (<http://umediasever.net/umediasever/architecture.html>):

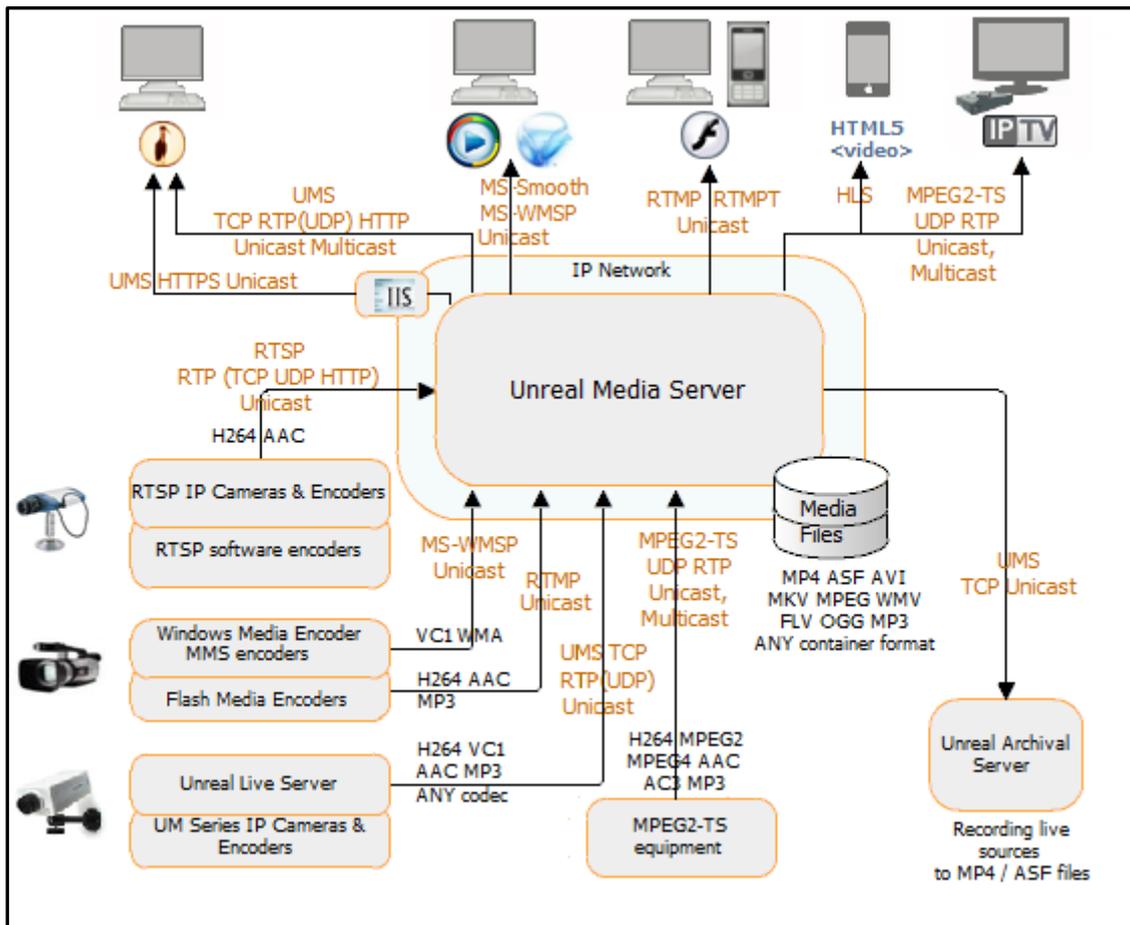


Figura E.1 Arquitectura Media Server

Cuando el servidor envía a través de HLS, los clientes no se conectan con el servidor totalmente, los mismos reciben streams fragmentados directamente desde los servidores web (HLS y MS Smooth Streaming) , o desde los puertos UDP en sus direcciones IP (MPEG2 - TS) . En estos casos, el servidor no conoce la cantidad de clientes conectados simultáneos.

Por el contrario, cuando se transmite a través de RTMP, MS - WMSP y protocolos UMS, los clientes inician una conexión directa con el servidor, puede realizar la autenticación y puede realizar un seguimiento de clientes simultáneos. Todos los jugadores se conectan al puerto 5119 TCP del servidor. Este puerto es configurable

El servidor es compatible con gran variedad de codificadores de software y hardware en vivo, aceptando streams tanto en los modos Push y Pull (de inserción y de extracción - la única diferencia es quien inicia una conexión). Los codificadores del modo PULL pueden ser: codificadores de software RTSP y cámaras IP, codificadores MS- WMSP como WME/VLC, Unreal Live Server. Los codificadores del modo PUSH pueden ser: codificadores RTMP como Adobe FMLE, dispositivos de codificación MPEG2 – TS. Unreal Live Server envía streams al servidor Unreal Media Server a través del protocolo UMS sobre protocolos de transporte TCP y RTP (UDP).

Dichos servidores también pueden grabar contenido en vivo basado en el horario o la detección de movimiento, independientemente del streaming, en archivos ASF y MP4.

Unreal Streaming Media Player es el cliente nativo para reproducir streams a través del protocolo UMS a través de los protocolos TCP, RTP (UDP) y/o HTTP (S). Las ventajas del mismo son baja latencia, función de autenticación de usuario, la independencia de codecs y la protección del contenido. El cliente puede ser embebido en la página web como un control ActiveX para el navegador IE o como un plugin para Firefox, Safari y Opera.

2. Motor de procesamiento de medios: TransMixer universal.

Los contenidos en vivo que llegan al servidor de medios a través de diferentes protocolos de streaming, se encuentra encapsulados en diferentes formatos contenedores nativos de estos protocolos de streaming. Por ejemplo, el protocolo RTMP envía los contenidos encapsulados en formato contenedor FLV, el protocolo MS-WMSP encapsula los contenidos en un contenedor ASF. Del mismo modo, cuando los flujos de Unreal Server registran contenido, se trata de archivos multimedia empaquetados en diferentes formatos contenedores (MP4, FLV, ASF, etc.). Independientemente de si los medios de comunicación vienen de disco (archivos) o desde la red (en vivo), el Media Server al instante demultiplexa en streams elementales de audio y vídeo, es decir, extrae estas corrientes desde el contenedor. Los streams permanecen en su forma codificada

original, el servidor no realiza ninguna transcodificación o decodificación. Cuando diversos clientes se conectan y piden los contenidos, el servidor reencapsula estos streams al formato contenedor que necesitan estos clientes y los envía a través de protocolos de streaming soportados por estos clientes. Por ejemplo, el mismo flujo H.264/AAC, viniendo de un codificador en vivo a través del protocolo RTSP y encapsulado en un contenedor RTP, se puede enviar al mismo tiempo para iPads/iPhones a través del protocolo HLS (contenedor MPEG2-TS); a los clientes de Flash a través del protocolo RTMP (contenedor FLV); y de manera similar a Silverlight, Unreal Media Player, STB, a través de sus formatos de protocolo/contenedor.

3. Streaming a través del protocolo UMS.

Unreal Streaming Media Player y su plugin para el navegador pueden reproducir streams UMS en modo unicast sobre TCP, RTP (UDP) y HTTP (S), y en modo de multidifusión a través de RTP (UDP). Si un intento de conexión TCP/UDP no tiene éxito, el cliente pasa automáticamente a protocolo HTTP.

Streams de UMS también se pueden reproducir en los dispositivos Android e iOS con la aplicación MDC Live Media Player. Este reproductor móvil es compatible con el modo unicast UMS-TCP solamente, y streams codificados en H.264/AVC1, AAC/MP3.

4. Multidifusión a través del protocolo UMS.

Unreal Media Server soporta multicasting simultáneo de un número ilimitado de fuentes “en vivo” y carpetas virtuales. Cuando un primer cliente se conecta y solicita la entrega de multidifusión de origen en directo, el servidor comenzará la multidifusión. Cuando el último cliente se desconecta, se detiene la multidifusión. Cuando la multidifusión es por archivos, el administrador de Media Server debe iniciar y detener manualmente la multidifusión de la carpeta virtual, mediante el programa de configuración del servidor.

Al solicitar la entrega de multidifusión, un cliente se conecta primero al servidor en el UMS-TCP. El servidor debe autorizar este reproductor y le envía información de grupo

de multidifusión para esta emisión particular. El cliente se une a este grupo de multidifusión y recibe paquetes a través de UMS-RTP multicast.

Por desgracia, la multidifusión no funciona a través de Internet en la mayoría de los casos, ya que los ISP públicos no permiten su entrega en los routers.