



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Electrónica Y Eléctrica
Unidad de Posgrado

**Estimación del rendimiento de la codificación Dash en
la transmisión de video streaming**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en
Telecomunicaciones con mención en Redes y Servicios de Banda
Ancha

AUTOR

Luis Ricardo SOLANO HURTADO

ASESOR

Mg. Martin Moises SOTO CORDOVA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Solano, L. (2022). *Estimación del rendimiento de la codificación Dash en la transmisión de video streaming*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica Y Eléctrica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Luis Ricardo Solano Hurtado
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07666690
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7170-5505
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Martin Moisés Soto Córdova
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10430418
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9620-0562
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Rafael Bustamante Álvarez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09377230
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Wilbert Chávez Irazábal
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08121733
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Daniel Díaz Ataucuri
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07139361
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	Arlich Joel Portillo Allende
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10125495

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.3.10. Redes de datos
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Avenida Carlos Germán Amezaga 375 Latitud: -12.056423 Longitud: -77.084333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019 - 2021
URL de disciplinas OCDE	Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD DE POSGRADO

Calle Germán Amezaga N.º 375 Lima (Perú)
Teléfono (01) 6197000 Anexo 4204
Correo: postfie@unmsm.edu.pe



«AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL»

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN REDES Y SERVICIOS DE BANDA ANCHA

Siendo las 20:00 horas del 18 de agosto de 2022, los suscritos miembros del jurado reunidos virtualmente en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, el Jurado Examinador presidido por el Dr. Rafael Bustamante Alvarez, Mg. Wilbert Chávez Irazabal, Mg. Daniel Díaz Ataucuri, Mg. Arlich Joel Portillo Allende y el Mg. Martin Moisés Soto Cordova.

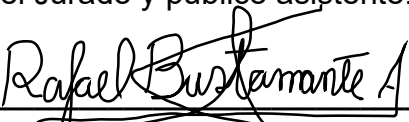
Se reunió para la sustentación oral y pública de la Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones con mención en Redes y Servicios de Banda Ancha, que solicitó el alumno **Luis Ricardo Solano Hurtado** con código N° 05197020, el cual procedió hacer la exposición oral y pública de su Tesis Titulada **"ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CODIFICACIÓN DASH EN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO STREAMING"**

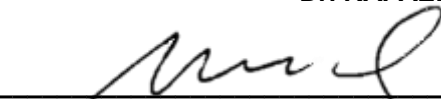
Concluida la exposición, el Jurado Examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle la siguiente calificación:


APROBADO	14	CATORCE
NÚMERO		LETRAS

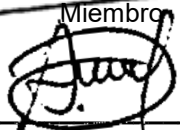
A continuación, el Presidente Jurado recomienda que la Unidad de Posgrado proceda con el trámite correspondiente para que se otorgue el Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones con mención en Redes y Servicios de Banda Ancha al alumno **Luis Ricardo Solano Hurtado**.

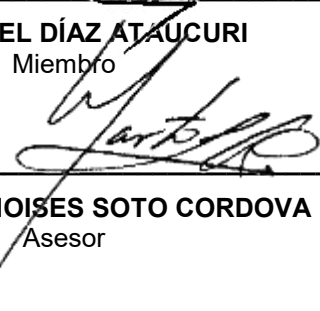
Siendo las 21:42Hrs se levantó la Sesión, recibiendo el graduado las felicitaciones de los señores miembros del Jurado y público asistente.


Dr. RAFAEL BUSTAMANTE ALVAREZ
Presidente


Mg. WILBERT CHÁVEZ IRAZABAL
Miembro


Mg. DANIEL DÍAZ ATAUCURI
Miembro


Mg. ARLICH JOEL PORTILLO ALLENDE
Miembro


Mg. MARTIN MOISES SOTO CORDOVA
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA



UNIDAD DE POSGRADO
Calle Germán Amezaga N.º 375 Lima (Perú)
Teléfono (51 – 1) 619-7000 Anexo 4204
Correo: postfie@unmsm.edu.pe

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

El Director de la Unidad de Posgrado, Mg. Wilbert Chávez Irazabal; que suscribe, hace constar que

Para la tesis para optar el grado académico de Magíster en Telecomunicaciones con mención en Redes y Servicios de Banda Ancha, titulado:

“ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CODIFICACIÓN DASH EN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO STREAMING”

Autor: Luis Ricardo Solano Hurtado

Presento solicitud de evaluación de originalidad el 09 de junio de 2022 y el 20 de junio de 2022, se aplicó el programa informático de similitudes en el software TURNITIN con identificador de entrega N°: 1860320769.

En la configuración del detector se:

- Excluyó textos entrecomillados
- Excluyó bibliografía
- Excluyó cadenas menores a 40 palabras
- Excluyó anexos

El resultado final de similitud fue del 6%; según descripción adjunta.

EL DOCUMENTO ARRIBA SEÑALADO CUMPLE CON LOS CRITERIOS DE ORIGINALIDAD.

Operador del software: Mg. Wilbert Chávez Irazabal

Lima, 10 de octubre de 2022



Firmado digitalmente por CHAVEZ
IRAZABAL Wilbert FAU 20148092282
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.10.2022 12:43:34 -05:00

MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO

WCI/aga

Agradecimiento

A Dios, por el regalo que significa cada día y porque cada cosa que hago, esta tesis en particular, es posible gracias a Él.

Dedicatoria

A Hugo, Lola, Eva, Pedro, Ana y Andrea, mis hermanos y sobrina, que me brindan su apoyo incondicional.

INDICE GENERAL

Lista de figuras	7
Lista de tablas	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
CAPITULO I	11
INTRODUCCION.....	11
1.1. Situación problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicos.....	13
1.3. Justificación de la investigación.....	14
1.4. Objetivos de la investigación	15
1.4.1. Objetivo general.....	16
1.4.2. Objetivos específicos.....	16
1.5. Hipótesis.....	16
1.5.1. Hipótesis general.....	16
1.5.2. Hipótesis específicas	16
CAPITULO II	18
MARCO TEORICO	18
2.1. Antecedentes de investigación	18
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. La transmisión de video sobre una red IP.....	21
2.2.1.1. Streaming de video no adaptativo.....	21
2.2.1.2. El streaming de video adaptativo	24

2.2.1.3.	Streaming Adaptativo Dinámico sobre HTTP	27
2.2.2.	Transmisión de video con calidad	34
2.2.3.	La Calidad de Servicio (QoS).....	34
2.2.3.1.	Modelos de QoS.....	37
2.2.3.2.	Funciones básicas de QoS	39
2.2.4.	La Calidad de Experiencia (QoE).....	45
2.2.5.	Métricas de evaluación de la calidad de video	47
2.2.6.	Modelo matemático	49
2.2.6.1.	Normalización del entorno de red	50
2.2.6.2.	Modelo para la evaluación de la calidad de video	51
CAPITULO III		53
METODOLOGIA		53
3.1.	Tipo de investigación	53
3.2.	Nivel de investigación	53
3.3.	Método de investigación	53
3.4.	Diseño de investigación	53
3.5.	Población y muestra.....	54
3.5.1.	Población.....	54
3.5.2.	Muestra.....	54
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
3.6.1.	Técnicas.....	54
3.6.2.	Instrumentos.....	54
3.7.	Procedimiento de recolección de datos	55
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	55
CAPITULO IV		56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		56
4.1.	Evaluación de MPEG-DASH sobre una red WAN emulada	56
4.1.1.	Servidor de video.	57
4.1.2.	Red WAN emulada	59
4.1.3.	Cliente DASH	59
4.1.4.	Procedimiento de evaluación	62
4.1.5.	Mediciones de la calidad de video en el cliente DASH	62
4.2.	Validación de resultados con el modelo matemático.....	65
CONCLUSIONES.....		73

RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	75
GLOSARIO.....	82
ANEXOS.....	84
Anexo I: Matriz de consistencia	84
Anexo II: Muestra de las mediciones con la métrica SSIM	86
Anexo III: Publicación.....	104

Lista de figuras

Figura 2.1: Múltiples fragmentos de tasas de codificación de un video HAS.....	25
Figura 2.2: Proceso de solicitud y entrega de segmentos entre el servidor y el cliente DASH.....	28
Figura 2.3. Modelo de datos jerárquicos de un MPD.....	31
Figura 2.4. Esquema del Cliente DASH.....	33
Figura 2.5. Clasificador de QoS	40
Figura 2.6. Políticas de QoS	41
Figura 2.7. Encolamiento y planificación.....	43
Figura 2.8. Remarcador de QoS	44
Figura 2.9. Funciones de QoS resumidas	44
Figura 2.10. Calidad de experiencia QoE	47
Figura 4.1. Esquema de la red de evaluación	57
Figura 4.2. Red física de evaluación.....	60
Figura 4.3. Captura del video en el dispositivo cliente.....	61
Figura 4.4. Diagrama del procedimiento de evaluación de MPEG-DASH...	62
Figura 4.5. SSIM vs pérdida de paquetes	67
Figura 4.6. QoEv vs pérdida de paquetes	67
Figura 4.7. SSIM vs latencia	69
Figura 4.8. QoEv vs latencia	69
Figura 4.9. SSIM vs Fluctuación del retardo	71
Figura 4.10. QoEv vs Fluctuación del retardo	72

Lista de tablas

Tabla 2.1. Grado de importancia relativa de los parámetros de QoS.....	51
Tabla 4.1. SSIM cuando el porcentaje de la pérdida de paquetes varía entre 0% y 1%.	63
Tabla 4.2. SSIM cuando la latencia varía entre 100 ms y 200 ms.....	64
Tabla 4.3. SSIM cuando la fluctuación del retardo varía entre 40 ms y 60 ms	64
Tabla 4.4. SSIM y QoE(v) cuando el porcentaje de la pérdida de paquetes varía entre 0% y 1%.....	66
Tabla 4.5. SSIM y QoE(v) cuando la latencia varía entre 100 ms y 200 ms.....	68
Tabla 4.6. SSIM y QoE(v) cuando la fluctuación del retardo varía entre 0% y 1%.....	70

RESUMEN

La evolución de las tecnologías de información (TI) y smartphones en años recientes ha desafiado la industria de las telecomunicaciones y el Internet en su totalidad. La creciente industria de desarrollo de contenidos y el desarrollo sin precedentes de los servicios de streaming de video han originado una impresionante demanda de éstos y la necesidad de dar soporte, en la red de transporte y acceso, a la alta tasa de flujo de datos para brindar al usuario una calidad de servicio adecuada. Paralelamente a ello, se han venido proponiendo mecanismos de control de error y de codificación de datos para superar la falta o insuficiente garantía del medio de transporte. Particularmente, en los servicios de difusión de video, han aparecido técnicas como *Motion Picture Experts Group - Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* (MPEG-DASH), con la finalidad de hacer eficiente la distribución de video.

La presente tesis propone un método para evaluar el rendimiento de la técnica MPEG-DASH en la entrega del *streaming* de video. Para ello se mide la similitud del video original, transmitido por el servidor, con el video recepcionado en el cliente. Finalmente, se valida el procedimiento seguido, con un modelo matemático de evaluación de la calidad de experiencia (QoE) del video.

ABSTRACT

The evolution of information technology (IT) and smartphones in recent years has challenged the telecommunications industry and the Internet as a whole. The growing content development industry and the unprecedented development of video streaming services have created an impressive demand for them and the need to support, in the transport and access network, the high rate of data flow for provide the user with an adequate quality of service. Parallel to this, error control and data coding mechanisms have been proposed to overcome the lack or insufficient guarantee of the means of transport. Particularly, in video broadcasting services, techniques such as Motion Picture Experts Group - Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (MPEG-DASH) have appeared, in order to make video distribution efficient.

This thesis proposes a method to evaluate the performance of the MPEG-DASH technique in delivering streaming video. For this, the similarity of the original video, transmitted by the server, with the video received in the client is measured. Finally, the procedure followed is validated, with a mathematical model for evaluating the quality of experience (QoE) of the video.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Situación problemática

Desde sus inicios el internet creció con la adhesión permanente de dispositivos y con el incremento de servicios que se ejecutan en él. En el Internet de hoy la información transmitida aumenta y se modifica constantemente, y es la información multimedia la que genera una cantidad significativa de *streaming* de video.

En Forbes (2020) se afirma que el video en línea es un medio poderoso, podría decirse que hoy es el más poderoso y persuasivo, nada parece captar la atención y la pasión de la gente tanto como los videos en línea. Las aplicaciones sociales como *TikTok*, *Snapchat* e *Instagram* están ganando posiciones entre las redes sociales y el entretenimiento, lo que genera más competencia por el tiempo de los consumidores. En la publicación se menciona que los tres géneros de contenido más visualizados en *YouTube* son (1) entretenimiento, (2) entretenimiento y animación para niños y (3) música y baile. Mientras que los géneros

más visualizados en Facebook son (1) entretenimiento, (2) personas, pero (3) cine y películas, y (4) entretenimiento y animación para niños son los de más acelerado crecimiento. Por otro lado, se indica la existencia de 23 estadísticas de *YouTube* consideradas de importancia para los especialistas en *marketing* en 2020, que se resumen en: (1) el 73% de los adultos en los EE. UU. usan *YouTube* y (2) en cuanto a los videos instructivos afirman que 90% de los aficionados al bricolaje ven videos instructivos en *YouTube* durante un proyecto real.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en mayo del 2020, en plena crisis sanitaria global, realizo un reporte sobre el impacto de la pandemia en el consumo datos en internet. Según OCDE (2020) los operadores fijos y móviles están experimentando un aumento en el tráfico de Internet: *NTT Communications*, en Japón, informa un aumento en el uso de datos del 30% al 40%; en Francia, *Orange* informa que su infraestructura internacional ha tenido una gran demanda con el 80% del tráfico generado por los usuarios en Francia dirigiéndose a Estados Unidos, donde parte importante de ese tráfico es de entretenimiento (video en línea); en los Estados Unidos, *Verizon* informó un aumento del 47% en el uso de herramientas de colaboración y un aumento del 52% en el tráfico de la red privada virtual. A su vez, *Cisco Webex*, la aplicación de videoconferencia basada en la nube, está alcanzando un volumen 24 veces mayor; de manera similar, *Google* informa un mayor uso de sus productos de videoconferencia y cambios en los patrones de uso de *YouTube*, pero indica que los niveles máximos de tráfico se mantienen dentro de su capacidad. También, debido a la mayor demanda, proveedores de *streaming* de video como *Netflix* y *YouTube* acordaron reducir la calidad de transmisión de video en las horas pico en Europa.

Cisco (2019), en una proyección para 2022, aún antes del incremento del uso del Internet provocado por la pandemia, pronosticó que globalmente, el tráfico de video utilizando el Protocolo de Internet (IP) representaría el 82% de todo el tráfico IP, es decir, el video bajo

demanda (VoD), el *e-learning*, la televisión por internet, las videoconferencias, las redes sociales, etc. significarían el tipo de tráfico que más se consume en internet.

De lo descrito, la demanda creciente del *streaming* de video implica un incremento continuo de carga de tráfico en la Internet, que hace necesario el uso de mecanismos que aborden, en principio, las características estructurales inherentes a la internet, como el retardo, la pérdida de paquetes, los anchos de banda variables, etc. Del mismo modo, se hacen necesarios los mecanismos de codificación que permitan menguar los efectos de esos factores estructurales de la red, destacando entre ellas las tecnologías de codificación de video MPEG-DASH. Por lo que es necesario estudiar el rendimiento de estas técnicas de codificación de video en la transmisión por internet.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo estimar el rendimiento de MPEG-DASH en la transmisión de video *streaming*?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Qué indicadores se deben considerar para estimar el desempeño de la codificación DASH en la transmisión de video *streaming*?

- b. ¿Cómo desarrollar un procedimiento que permita estimar el desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video *streaming*?
- c. ¿Cómo validar el procedimiento para estimar el desempeño de la codificación DASH en la transmisión de video *streaming*?

1.3. Justificación de la investigación

De acuerdo a Apostolopoulos et al. (2002), al surgir los primeros servicios de transmisión de audio y video, éstos se diseñaron para utilizar el Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP), motivada por la capacidad del emisor para transmitir a la velocidad de la reproducción. Pero, UDP no ofrece garantías de entrega o corrección de errores de paquetes, por lo que los servicios de transmisión tuvieron que incorporar funcionalidades para superar los paquetes faltantes y fuera de orden.

De acuerdo a Briscoe et al. (2014), la evolución de los servicios de transmisión de audio y video, condujeron a los proveedores de servicios y a los operadores, a la adopción de la transmisión a través del Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP), esquema por el cual, la transmisión es controlada por el cliente. Al respecto (Schwarz et al., 2007) afirman que, en el desarrollo de técnicas para la transmisión de video y audio, surgen los estándares de codificación de video, como H.264/AVC, pero además se estandariza la Codificación de Video Escalable (SVC), tecnología en la que aparece la adaptación a los tamaños de pantalla, velocidades de fotogramas adaptables y velocidades de bits.

Seufert et al. (2015) afirman que en la evolución de la transmisión de video surge *Streaming Adaptativo sobre HTTP (HAS)*, que se especifica como el estándar MPEG-DASH, como una de las tecnologías más importantes para entregar transmisiones de video con calidad en la percepción del usuario final.

Es necesaria la evaluación del rendimiento de MPEG-DASH en la transmisión de medios. Así, en (Aloman et al., 2015), se presenta una evaluación comparativa del rendimiento, en términos de calidad de experiencia del usuario QoE, de MPEG-DASH, el Protocolo de Transmisión en Tiempo Real (RTSP) y el Protocolo de Mensajería en Tiempo Real (RTMP) para la transmisión de video sobre las comunicaciones móviles de cuarta generación (4G) y conexiones *WiFi*. Asimismo, (Klink et al., 2019) desarrollan una evaluación subjetiva de la calidad de video, subrayando la necesidad de utilizar el enfoque subjetivo para complementar los métodos objetivos. También en (Ge y Wang, 2018) se presenta un sistema en tiempo real para estimar la QoE de los clientes DASH a través de *edge computing* implementado en una red LTE-A, y existen otros trabajos más, cada uno con una perspectiva diferente al evaluar MPEG-DASH.

Complementariamente a los trabajos de evaluación descritos anteriormente, en la presente investigación se propone un método de evaluación de MPEG-DASH enfocado en la transmisión de video y la correspondiente validación a través de un modelo matemático.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento de la codificación DASH en la transmisión de video *streaming*.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar los indicadores para estimar el desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video *streaming*.
- b. Establecer un procedimiento para estimar el desempeño de la codificación DASH en la transmisión de video *streaming*.
- c. Validar los resultados obtenidos con el procedimiento desarrollado para evaluar el desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video *streaming*.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La estimación del rendimiento de MPEG-DASH en la transmisión de video *streaming* se logra cuantificando los parámetros de calidad del video recepcionado.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. La codificación DASH en la transmisión de video *streaming* se puede valorar mediante indicadores de desempeño.

- b. La estimación del desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video *streaming* se puede realizar mediante un procedimiento establecido.

- c. El procedimiento de estimación del desempeño de la codificación DASH se puede validar mediante el análisis y medición de los indicadores.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de investigación

La transmisión de datos, audio y video en las redes de transporte de datos es objeto de diversos estudios. Del mismo modo, se siguen efectuando análisis y evaluaciones acerca de la calidad de servicio que puede obtenerse de las diversas tecnologías de redes de datos. Sin embargo, un aspecto importante al cual recientemente se le viene brindando atención es la calidad de la experiencia percibida por el usuario de los servicios de voz, video u otro. En este sentido, MPEG-DASH constituye una alternativa enfocada en la calidad de la experiencia del servicio percibida por el usuario.

Aloman et al. (2015) presentan una evaluación comparativa del rendimiento, en términos de calidad de experiencia del usuario (*QoE*), de MPEG-DASH y los protocolos RTSP y RTMP, para la transmisión de video en vivo y bajo demanda a través de 4G y *WiFi* (en diferentes condiciones de red). Realizaron mediciones de *QoE*: (1) aplicando la

Rec. UIT-T P-1201.1, que especifica el modelo para el monitoreo no intrusivo de la calidad de los servicios de video basados en información de encabezado del paquete en IP, y (2) un modelo paramétrico extendido no estandarizado para propósitos comparativos. Los resultados sugieren que la QoE es notablemente más alta con MPEG-DASH que la obtenida con RTSP, pero ligeramente peor que la obtenida con RTMP. RTSP es más eficiente que MPEG-DASH para iniciar la reproducción de video, pero a expensas de disminuir la QoE debido a la pérdida de paquetes. Finalmente, los hallazgos de los investigadores sugieren que el uso de modelos paramétricos para la evaluación de QoE de video debe revisarse cuidadosamente en términos del peso que debe tener la pérdida de paquetes cuando se usan protocolos de transmisión basados en protocolos de transporte confiables como TCP.

García (2016) estudia el funcionamiento de MPEG-DASH, explicando el proceso de creación del archivo de Descripción de Presentación de Medios (MPD). Realiza pruebas en un entorno controlado para determinar el rendimiento de DASH en condiciones con reducido ancho de banda disponible, detectando factores que pueden amenazar la calidad de experiencia, y realiza con ellos un estudio subjetivo para determinar el grado de influencia en la calidad de experiencia percibida (QoE) por el usuario. En su estudio detalla factores negativos percibidos por los usuarios realizando recomendaciones para el uso óptimo de DASH en plataformas *e-learning*.

El estándar DASH permite la adaptación de la resolución de video de acuerdo con la capacidad de la red del usuario final. Sin embargo, si la resolución del video cambia con frecuencia, la atención de los usuarios puede verse afectada disminuyendo su calidad de experiencia (QoE). En este contexto, (Zegarra et al., 2016) proponen una métrica de calidad de video sin referencia que toma en cuenta tres factores de deterioro: el retraso del almacenamiento en búfer inicial, las interrupciones o pausas temporales y los cambios en la resolución de

video durante una transmisión de video. Además, se consideran las ubicaciones temporales de las pausas y los cambios de resolución.

Para llegar a formular la métrica, se realizaron extensas pruebas subjetivas. Los resultados experimentales muestran que la QoE de los evaluadores está altamente correlacionada con la frecuencia de las pausas, los cambios de resolución de video y el retraso inicial. En base en estos resultados, los investigadores formulan e implementan una métrica de calidad de transmisión de video para los servicios DASH ($VsQM_{DASH}$) en PC y dispositivos móviles de mano. Finalmente, el desempeño de $VsQM_{DASH}$ es validado con pruebas subjetivas adicionales alcanzando un coeficiente de correlación de Pearson de 0,99. Además, los resultados experimentales demostraron que la métrica propuesta tiene baja complejidad, porque se basa en parámetros de nivel de aplicación y su consumo de energía es insignificante en relación con la energía consumida por el reproductor de video; por lo tanto, se puede implementar fácilmente en dispositivos electrónicos del consumidor.

De acuerdo a Zabrovskiy et al. (2017) decenas de artículos de investigación proponen enfoques novedosos para evaluar diferentes aspectos de la transmisión adaptativa, pero, estas evaluaciones son a veces superficiales. Ellos, en su trabajo, desarrollan un marco de evaluación de transmisión de video adaptativo con pruebas automatizadas para diferentes reproductores DASH comerciales y de código abierto, llevando a cabo una serie de experimentos para demostrar la idoneidad y utilidad del marco, además de realizar comparaciones entre los reproductores DASH.

Los investigadores Klink et al. (2019) detectan problemas que presentan algunos métodos durante la evaluación de la calidad del video. Muestran una evaluación subjetiva de la calidad de video de los clips codificados con H.264/ MPEG-4, a las velocidades de bits y

resoluciones de imagen seleccionadas. Los autores subrayan la necesidad de utilizar un enfoque subjetivo para complementar los métodos objetivos. Proponen un escenario de medición y el procedimiento de evaluación en un entorno de prueba especialmente diseñado, basado en los métodos presentados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. La investigación muestra una alta correlación entre los resultados obtenidos al utilizar métodos de evaluación de la calidad objetivos y subjetivos. El artículo también presenta las diferencias entre los resultados de las evaluaciones subjetivas según el tipo de equipo del usuario, es decir, computadora personal y teléfono móvil. Los autores proponen, además, un análisis estadístico de los resultados como un método para seleccionar diferencias significativas entre los formatos de fragmentos de video que pueden elegirse en la transmisión de video utilizando MPEG DASH.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La transmisión de video sobre una red IP

2.2.1.1. Streaming de video no adaptativo

Cuando surgieron los primeros servicios comerciales de transmisión de datos, las redes tenían tiempos de ida y vuelta comparativamente altos y proporcionaban tasas de datos mucho más bajas que las que actualmente existen. Particularmente, en relación a los servicios de transmisión de tiempo real como el audio y el video, éstos se diseñaron para utilizar el Protocolo de datos de usuario (UDP), en lugar del Protocolo de control de transmisión (TCP). La elección de utilizar UDP estuvo motivada por la capacidad del emisor para transmitir a la

velocidad de la reproducción. Sin embargo, UDP no ofrece garantías de entrega, pedido o corrección de errores de paquetes. A diferencia de UDP, TCP ofrece servicios confiables orientados a la conexión y control de flujo, pero no permite que el remitente controle la velocidad de envío, ya que la velocidad a la que se entregan los paquetes depende de los mecanismos de control de flujo y congestión. Si bien UDP puede proporcionar la entrega oportuna de paquetes, y en la práctica permite una rápida transmisión, los servicios de transmisión tuvieron que agregar otras funcionalidades para superar los paquetes faltantes y fuera de orden. Para que el reproductor se recupere de tales situaciones sin retransmisiones adicionales, se utilizaron diferentes técnicas de control y ocultación de errores, corrección de errores anticipada y otros esquemas para enmascarar imperfecciones. Tales técnicas se usaban típicamente con los primeros protocolos de transmisión, como *Microsoft Media Server (MMS)*, el *Real Time Messaging Protocol (RTMP)* y el *Real Time Protocol (RTP)* y su conjunto asociado *Real Time Control Protocol (RTCP)* y *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*, por mencionar algunos (Apostolopoulos et al., 2002).

La *World Wide Web* ha crecido enormemente, por lo que los operadores de red y los proveedores de contenido han desarrollado e implementado tecnologías como Redes de Entrega de Contenidos (CDN), que consisten en vastas redes de servidores interconectados vinculados a través de Internet *eXchange Points (IXP)* que se pueden utilizar para entregar contenido a nivel mundial. Además, se han implementado una multitud de cachés web, que almacenan una copia de las páginas web que se distribuyen a través de ellas. Estas copias locales permiten una reducción significativa del tiempo de obtención de solicitudes futuras para las mismas páginas web. Tanto los CDN como los cachés se desarrollaron específicamente para el tráfico basado en web. La WWW utiliza el Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) como su protocolo de capa de aplicación y el protocolo TCP para garantizar que todos los bytes de una página web se entreguen.

El desarrollo y la implementación de CDN y cachés web redujeron significativamente el costo en el que incurre el proveedor de contenido y el operador de red en la entrega de datos a los usuarios finales.

Las mejoras incrementales en las velocidades de acceso y los tiempos de ida y vuelta a lo largo de los años han hecho que la transmisión a través de TCP fuera una alternativa factible. Además, a medida que mejoraba la potencia computacional y la capacidad de almacenamiento del lado del cliente, los clientes podían usar un búfer más grande para adaptarse a las fluctuaciones a corto plazo en el ancho de banda de la red. El búfer comparativamente más grande también proporciona tiempo adicional para que los protocolos de recuperación y corrección de errores de TCP recuperen los paquetes a tiempo para su reproducción. Estos desarrollos, además de las mejoras en la entrega de contenido web a través de CDN, grandes implementaciones de cachés en el borde de la red y NAT/cortafuegos que no bloquean el tráfico TCP impulsado por el cliente, conducen a la adopción de la transmisión a través de HTTP. A diferencia de los protocolos de transmisión anteriores, la transmisión a través de HTTP está totalmente controlada por el cliente. Esto reduce significativamente la complejidad requerida en el lado del servidor, ayuda a que todo el sistema se escale mejor; por ejemplo, haciendo uso de CDN y cachés e incluso permite la posibilidad de descargar transmisiones desde múltiples servidores en paralelo. Finalmente, los costos de implementación y licencia de los servidores HTTP son mucho más bajos en comparación con la implementación de servidores propietarios (Briscoe et al., 2014).

Schwarz et al. (2007) mencionan que con la introducción del estándar de codificación de video H.264/AVC, se alcanzó mejoras significativas en la capacidad de compresión de video, pero además la ITU-T VCEG y la ISO/IEC MPEG también estandarizaron una extensión del estándar H.264/AVC: SVC. SVC admite tamaños de pantalla adaptables (resolución espacial), velocidades de fotogramas adaptables (resolución temporal) y velocidades de bits (resolución de calidad). Esto

hace posible adaptar el contenido en base a diferentes modalidades donde la resolución espacial, temporal o de calidad podría adaptarse sobre la marcha en aplicaciones en tiempo real. SVC requiere solo una codificación de video para varios perfiles de adaptación. Las transmisiones de video en SVC se pueden dividir en una capa base y varias capas de adaptación. Por ejemplo, en el contexto de multidifusión, el espectador puede suscribirse a varios árboles de multidifusión, según su ancho de banda disponible. El cliente puede recibir estas capas de la mejor manera posible y reconstruir el contenido sobre la marcha para presentar el video de manera adaptativa.

2.2.1.2. El streaming de video adaptativo

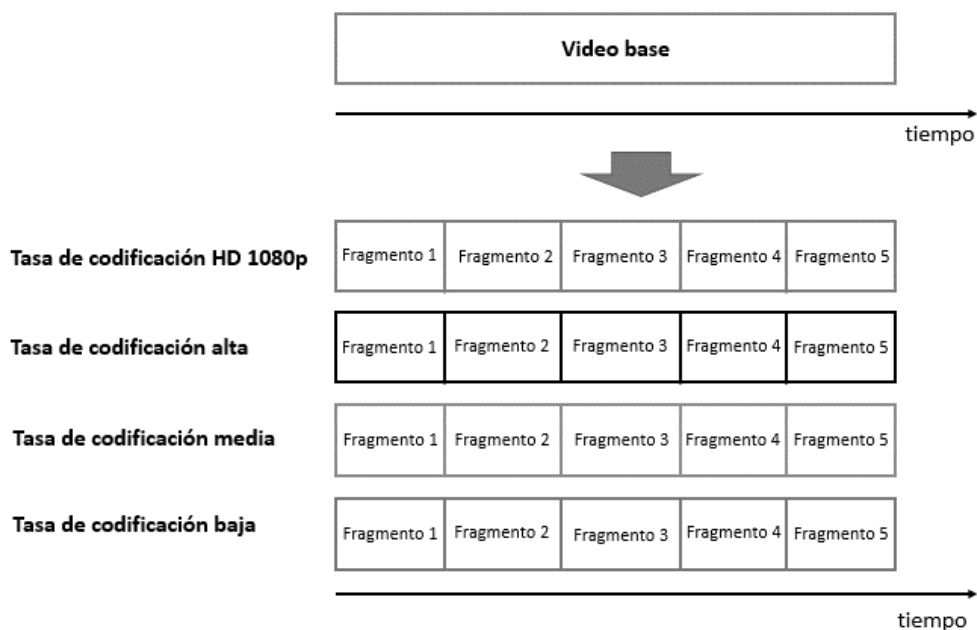
El *Streaming* Adaptativo sobre HTTP (HAS), es actualmente la tecnología más utilizada para entregar transmisiones de video a través de HTTP. Permite a los proveedores de servicios mejorar la utilización de recursos y la calidad de la experiencia (QoE) incorporando información de diferentes capas para entregar y adaptar el video en su mejor calidad posible. Por lo tanto, permite tener en cuenta las capacidades del dispositivo del usuario final, los niveles de calidad de video disponibles, las condiciones actuales de la red y la carga actual del servidor. Para los usuarios finales, los principales beneficios de HAS en comparación con la transmisión de video HTTP clásica son la reducción de las interrupciones de la reproducción de video y una mayor utilización del ancho de banda, que generalmente resultan en una mayor QoE (Seufert et al., 2015).

Una transmisión HAS tiene múltiples codificaciones del mismo video disponibles en el servidor. Además, el cliente cambia de forma adaptativa entre diferentes calidades de los fragmentos de video (y audio) del conjunto de calidades disponibles, a medida que avanza de un fragmento al siguiente, para adaptarse al ancho de banda actual y las condiciones del búfer. La Figura 2.1 muestra una representación de

múltiples tasas de codificación de un video base organizado en fragmentos cuyos límites se alinean perfectamente.

Figura 2.1

Múltiples fragmentos de tasas de codificación de un video HAS.



Nota: Adaptado de *Efficient HTTP-based Adaptive Streaming of Linear and Interactive Videos* (p. 17), por V. Krishnamoorthi, 2018, Linköping University.

En los videos HAS, los fragmentos se sincronizan a través de las tasas de codificación (como se muestra en la Figura 2.1) de modo que, el tiempo de inicio y finalización de los fragmentos son exactamente iguales en todas las tasas de codificación disponibles en las que el video está disponible. Esto permite al cliente ejecutar algoritmos de estimación de velocidad y adaptación de calidad para determinar la mejor calidad a la que se debe solicitar el siguiente fragmento. Las cualidades se seleccionan de tal manera que se espera que los clientes

logren una alta calidad de reproducción, evitando a la vez que la reproducción se atasque (Krishnamoorthi, 2018).

En HAS se utilizan algoritmos de adaptación de calidad para determinar la calidad a la que se descarga el siguiente fragmento. Dado que los límites de los fragmentos están alineados en todas las codificaciones del video, el cliente, si es necesario, puede optar por reproducir fragmentos en cualquier calidad, independientemente de las opciones de calidad anteriores. Para estimar el rendimiento de la red, los reproductores HAS suelen rastrear el tiempo en el que se envía cada solicitud al servidor ($T_{request}$), el momento en el que el fragmento se recibió por completo ($T_{response}$) y el tamaño (S) del fragmento o solicitud de rango. Utilizando métricas simples basadas en el rendimiento, como la descrita, los algoritmos de control de calidad pueden ajustar la calidad del siguiente fragmento. Una buena estimación del ancho de banda disponible es importante para una adaptación de calidad eficaz. También, siempre que el búfer sea lo suficientemente alto, los clientes pueden solicitar una tasa de codificación grande, mientras que, con tamaños de búfer pequeños, se eligen calidades más bajas para aumentar rápidamente el búfer. En un cliente HAS los algoritmos de control de calidad también son responsables del comportamiento de inicio del video. La mayoría de los reproductores HAS inician la reproducción de un video solo después de que el búfer excede cierto umbral. Otras métricas que utilizan los reproductores comerciales incluyen el número de fotogramas descartados (puede indicar que la CPU o GPU no pueden decodificar fotogramas de video), tamaño de pantalla, relación de aspecto, estado del reproductor (pantalla completa frente a minimizado), plataforma (aplicación frente a navegador vs TV), etc.

Los clientes HAS más comunes de la actualidad son *HTTP Live Streaming* (HLS) de *Apple*, basado en *iOS* de *Apple* y soportado por *Apple's Quicktime* reproductor de medios (Apple, 2020), *Microsoft Smooth Streaming* (MSS) de Microsoft, basado en el sistema operativo

Windows de *Microsoft* y soportado por *Silverlight* de *Microsoft* (Microsoft, 2020), *HTTP Dynamic Streaming* (HDS) de *Adobe*, compatible con *Adobe Flash Player* (Adobe, 2020), implementación DASH para *VLC*, *ExoPlayer* y *dash.js* del foro *DASH Industry*. Entre estos, *Adobe HDS*, *VLC DASH*, *ExoPlayer* y *dash.js* son implementaciones de código abierto, mientras que los demás son propietarios (Krishnamoorthi, 2018).

2.2.1.3. Streaming Adaptativo Dinámico sobre HTTP

HAS se especifica como el estándar MPEG-DASH en *Motion Picture Experts Group - Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* y en el *3rd Generation Partnership Project*, que fue publicado el 2012 (ISO, 2012) y editado en 2019 (ISO, 2019).

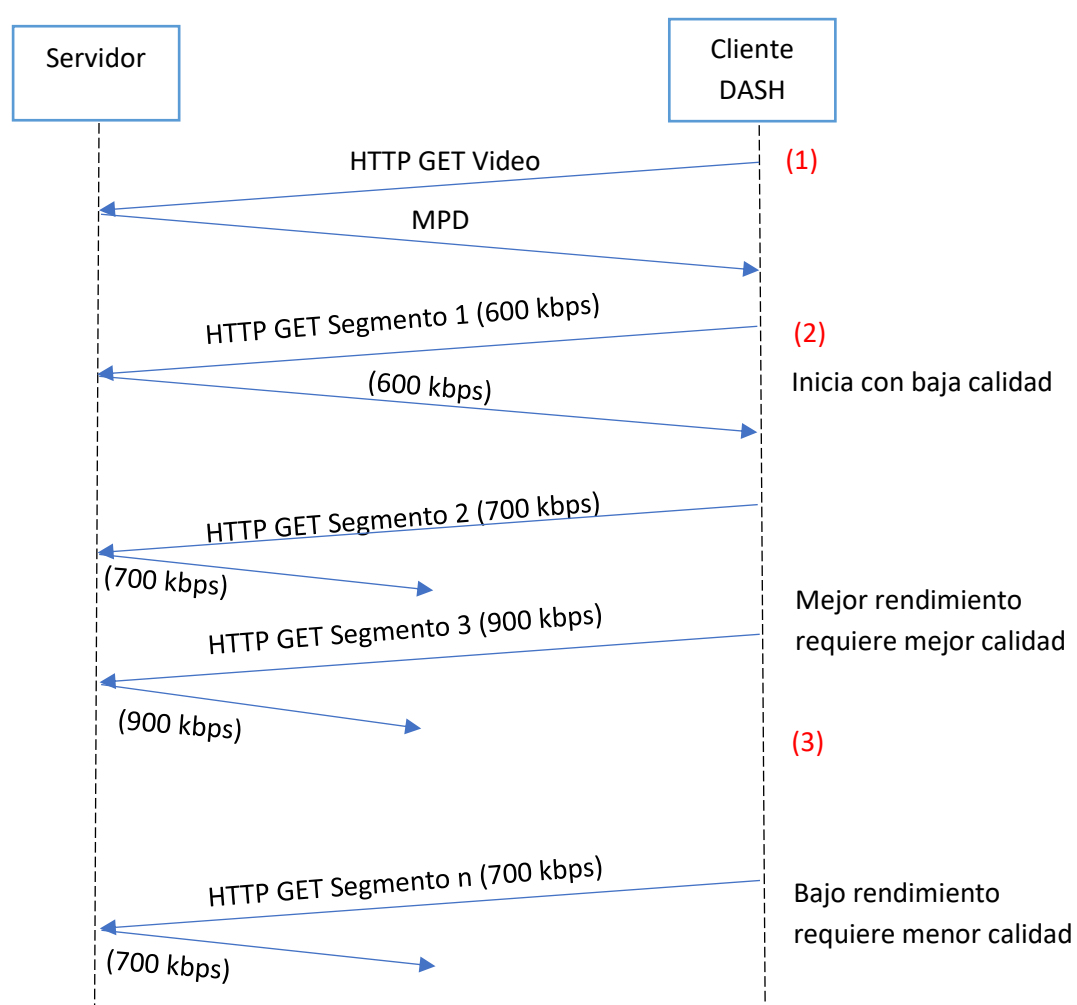
MPEG-DASH es un estándar cuyo modelo de entrega de medios es controlado por el cliente. El contenido multimedia generalmente se almacena en servidores HTTP, por lo que utiliza la infraestructura de entrega de contenido multimedia basada en HTTP existente, como servidores web y cachés HTTP sin la necesidad de servidores especializados (Maciá, 2016).

En el esquema MPEG-DASH, los servidores web alojan múltiples representaciones de contenido de video que difieren en calidad temporal, espacial o de fidelidad (por ejemplo, velocidad de cuadros, resolución, profundidad de color, nivel de detalle) y que van desde representaciones de menor calidad para conexiones 3G, hasta muy alta calidad. Cada representación consta de segmentos de duración predefinida, por ejemplo 10 segundos. MPEG-DASH realiza la transmisión de video mediante descargas consecutivas de estos segmentos de video.

El conocimiento del cliente DASH sobre el rendimiento de la red produce la decisión de adaptación pertinente sobre qué calidad solicitar del servidor, lo que conduce a niveles óptimos de QoE en determinadas condiciones de entrega.

Figura 2.2

Proceso de solicitud y entrega de segmentos entre el servidor y el cliente DASH.



En la Figura 2.2 se describe el proceso de interacción entre el cliente y servidor de video bajo el esquema DASH. (1) Lo inicia el cliente con

una solicitud *HTTP GET* y el servidor responde con el fichero Descripción de Presentación de Medios (MPD). (2) Luego, el cliente procede solicitando una calidad de contenido que coincida con sus condiciones iniciales (por ejemplo, tipo de conexión, tamaño del búfer, hardware de pantalla) sin la necesidad de negociar con el servidor de alojamiento. (3) Después de recibir un segmento, el cliente simplemente solicita (a través del método *HTTP GET*) el siguiente segmento de la calidad que coincida con los cambios del estado del dispositivo (por ejemplo, caída / aumento en el rendimiento estimado de la red o el perfil del espectador).

En resumen, la idea detrás de MPEG-DASH es aprovechar la infraestructura HTTP disponible y de bajo costo para satisfacer las crecientes demandas de transmisión de video. Los servidores web proporcionan múltiples versiones de un video, cumpliendo así los requisitos de los dispositivos de visualización heterogéneos, lo que hace que MPEG-DASH sea una solución práctica para abordar las demandas de transmisión de video debido al aumento en la disponibilidad de conexiones rápidas de Internet móvil y la utilización ubicua de dispositivos portátiles (Stockhammer, 2011).

En los párrafos siguientes describimos las características que definen el comportamiento de MPEG-DASH.

Descripción de Presentación de Medios (MPD)

Una Presentación de Medios DASH se describe mediante un documento de Descripción de Presentación de Medios (MPD). La descripción del MPD, detallado en el documento de la norma, da lugar a diversas denominaciones del estándar MPEG-DASH, tal como *técnica DASH* (Hoppe y Uhl, 2018), *protocolo MPEG-DASH* (Maehara y Nunome, 2017), *especificación MPEG-DASH* (Sodagar, 2012), *tecnología MPEG-DASH* (Díaz et al., 2018) o *codificación MPEG-DASH* (Ortiz et al., 2016). La denominación *codificación DASH* deriva de la

descripción de las Representaciones, detallada en los párrafos siguientes.

Un MPD describe la secuencia de Períodos en el tiempo que componen la Presentación de Medios. Un **Período** normalmente representa un período de contenido multimedia durante el cual está disponible un conjunto coherente de versiones codificadas del contenido multimedia, es decir, el conjunto de tasas de bits, idiomas, títulos, subtítulos, etc. que no cambian durante un Período.

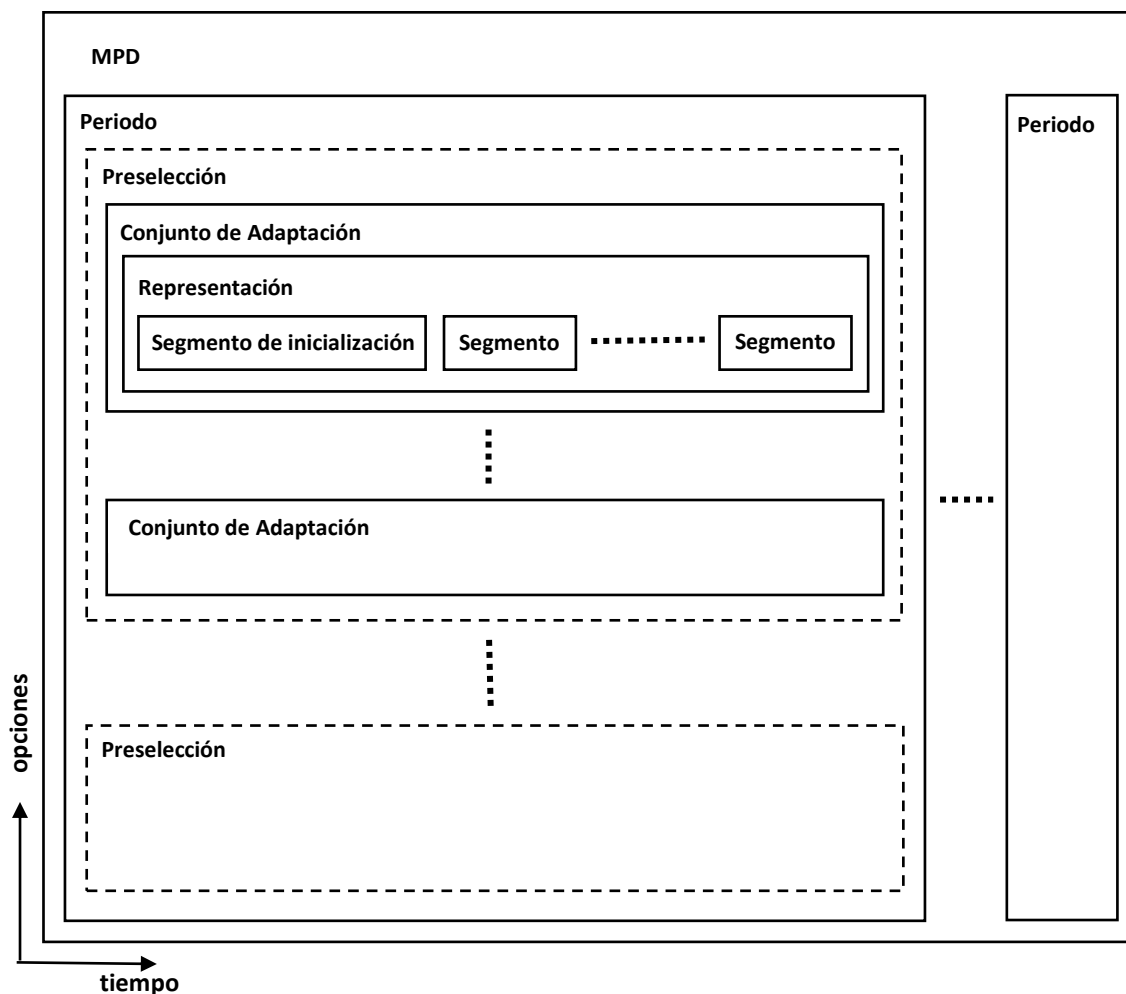
El modelo de datos jerárquicos de MPEG-DASH se ilustra en la Figura 2.3. En el dominio horizontal, muestra la secuencia en el tiempo de la Presentación de Medios, y en el dominio vertical muestra las opciones que se ofrecen en una Presentación de Medios, para ser seleccionadas por el cliente DASH de forma estática y dinámica.

Dentro de un Período, el material se organiza en **Conjuntos de Adaptación**. Un conjunto de adaptación representa un conjunto de versiones codificadas intercambiables de uno o varios componentes de contenido multimedia. Por ejemplo, puede haber un Conjunto de Adaptación para el componente de video principal y uno separado para el componente de audio principal. Si hay otro material disponible, por ejemplo, subtítulos o descripciones de audio, cada uno de ellos puede tener un conjunto de adaptación separado. El material también puede proporcionarse en formato multiplexado, en cuyo caso las versiones intercambiables del multiplexado pueden describirse como un Conjunto de Adaptación único, por ejemplo, un Conjunto de Adaptación que contiene tanto el audio principal como el video principal para un Período. Cada uno de los componentes multiplexados puede describirse individualmente mediante una descripción del componente de contenido multimedia. En la tercera edición, se agregó el concepto de **Preselecciones** para permitir la combinación de diferentes

Conjuntos de Adaptación en una sola instancia de decodificación y experiencia de usuario.

Figura 2.3

Modelo de datos jerárquicos de un MPD.



Nota: Adaptado de ISO/IEC 23009-1:2019 Information technology — Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) (p. 22), por ISO, 2019, Technical Report.

Un Conjunto de Adaptación contiene un conjunto de **Representaciones**. Una Representación describe una versión

codificada entregable de uno o varios componentes de contenido multimedia. Una Representación incluye uno o más flujos de medios (uno para cada componente de contenido de medios para multiplexarse). Cualquier Representación individual dentro de un Conjunto de Adaptación es suficiente para representar los componentes de contenido multimedia incluidos, esto significa que los clientes pueden cambiar dinámicamente de Representación a Representación dentro de un Conjunto de Adaptación para adaptarse a las condiciones de la red u otros factores. La conmutación se refiere a la presentación de datos decodificados hasta un cierto tiempo t , y la presentación de datos decodificados de otra Representación desde el tiempo t en adelante. Si se incluyen representaciones en un conjunto de adaptación y el cliente cambia correctamente, se espera que la presentación de medios se perciba sin interrupciones en el cambio. Los Clientes de DASH pueden ignorar las Representaciones que contengan códecs o tecnologías de representación no admitidos.

Dentro de una Representación, el contenido puede dividirse en el tiempo en **Segmentos**, que son los flujos de bits multimedia que el cliente reproduce. Se diferencian dos tipos de segmentos: los segmentos de inicialización que contienen metadatos estáticos para la representación y los segmentos de medios, que contienen muestras de medios. Las representaciones también pueden organizarse mediante un único segmento autoinicializado que contiene tanto información de inicialización como datos de medios. Los segmentos son los archivos multimedia que reproduce el cliente DASH (ISO, 2019).

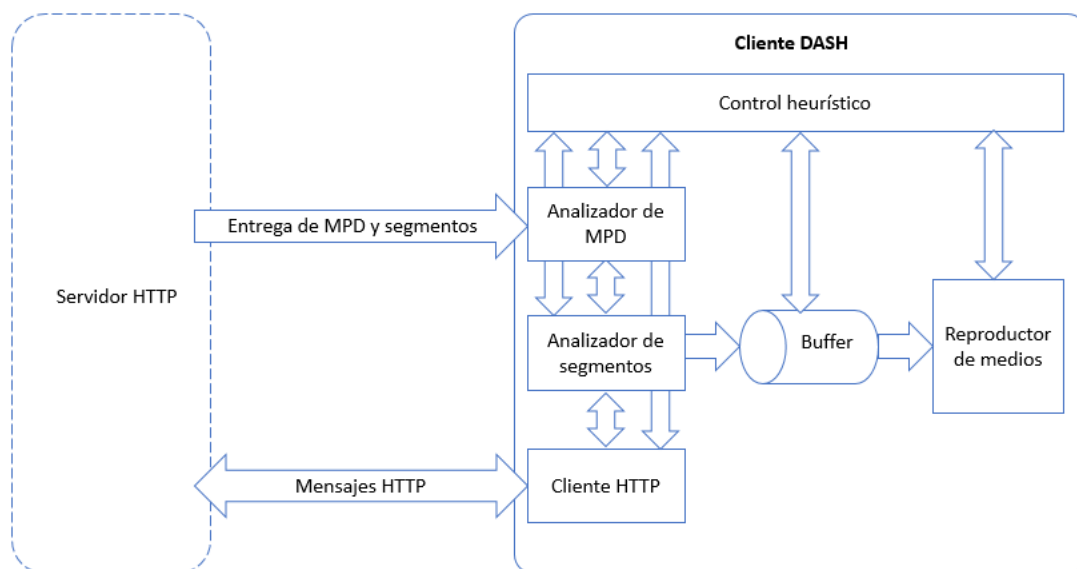
Comportamiento del lado del cliente DASH

En la Figura 2.4, se ilustra los procesos que ocurren en el cliente DASH. El contenido multimedia se entrega mediante HTTP. El contenido existe en el servidor en dos partes: Descripción de presentación de medios (MPD), y segmentos, que contienen los flujos de bits multimedia en forma de fragmentos, archivos individuales o múltiples.

Para reproducir el contenido, el cliente DASH primero obtiene el MPD. El MPD se puede entregar mediante HTTP, correo electrónico u otros transportes. Al analizar el MPD, el cliente DASH aprende sobre el tiempo del programa, la disponibilidad del contenido de los medios, los tipos de medios, las resoluciones, los anchos de banda mínimos y máximos, y la existencia de varias alternativas codificadas de componentes multimedia, características de accesibilidad y administración de derechos digitales requeridos, ubicaciones de componentes de medios en la red y otras características de contenido. Con esta información, el cliente DASH selecciona la alternativa codificada apropiada y comienza la transferencia los segmentos obteniéndolos mediante solicitudes *HTTP GET*.

Figura 2.4

Esquema del Cliente DASH



Nota: Adaptado de *The MPEG-DASH Standard for Multimedia Streaming Over the Internet*. IEEE Computer Society (p. 3), por I. Sodagar, 2011, IEEE Computer Society.

Los segmentos recibidos se almacenan en el búfer con el objeto de permitir las variaciones de rendimiento de la red; al mismo tiempo que el cliente DASH continúa recibiendo los segmentos subsiguientes y monitorea las fluctuaciones de las condiciones de la red. Dependiendo de sus mediciones, el cliente decide cómo adaptarse al ancho de banda disponible obteniendo segmentos de diferentes *bitrates* para mantener un búfer adecuado. La especificación MPEG-DASH solo define el MPD y los formatos de segmento. La entrega del MPD y los formatos de codificación de medios que contienen los segmentos, así como el comportamiento del cliente para la búsqueda, las heurísticas de adaptación y la reproducción de contenido, están fuera del alcance de MPEG-DASH (Sodagar, 2011).

2.2.2. Transmisión de video con calidad

Para comprender el concepto de transmisión de video con calidad en el contexto de la transmisión de información en una red IP, partimos del concepto de *calidad*. (Reeves y Bednar, 1994) afirman que el concepto más generalizado es que calidad es la medida en el que un producto o servicio cumple y/o excede las expectativas de un cliente, la cual consideran un concepto que proviene de la literatura del marketing de servicios. Es de destacar que esta perspectiva se refleja bien en definiciones de calidad estandarizadas, como lo establece la (ISO, 2015) la que presenta los principios, términos y definiciones de la calidad.

2.2.3. La Calidad de Servicio (QoS)

Internet se crea inicialmente para un servicio del mejor esfuerzo, lo que significa que todas las conexiones son admitidas en la red y cada paquete se transfiere de origen a destino con el mejor esfuerzo de la red, sin ninguna garantía con respecto a la calidad en el servicio. Sin embargo, los diseñadores de Internet han asignado la posibilidad de soporte a la QoS en ambas versiones del protocolo IP. El mundo de las

telecomunicaciones está transitando a la plataforma de red única de Internet para todos los servicios, incluidos los servicios nativos de Internet (WWW, correo electrónico, etc.) y servicios de telecomunicaciones tradicionales (telefonía, televisión, etc.) (ITU Academy, 2015).

La QoS permite diferenciar o clasificar el tráfico según varios parámetros en el encabezado del paquete recibido. Por ejemplo, puede clasificar el tráfico según el tipo de tráfico o la dirección de origen o destino en el paquete recibido. Los dispositivos de red examinan los parámetros del paquete recibido y luego, según el valor de esos parámetros, el dispositivo de red coloca el paquete en diferentes clases de servicio. Cada clase de servicio puede tener diferentes comportamientos de QoS asociados. Los comportamientos de QoS le dicen al dispositivo cómo tratar el tráfico a medida que viaja desde la interfaz de entrada hasta que se envía a la interfaz de salida del dispositivo de red. El resultado es que puede tratar el tráfico asignado a cualquier clase de servicio de forma diferente a cualquier otra clase de servicio, y de la manera que desee para proporcionar la solución de QoS deseada.

La Calidad de Servicio (QoS) es esencial para administrar el tráfico en las redes actuales basadas en paquetes, y las soluciones de QoS funcionan diferenciando el tráfico en clases de servicio y luego configurando los comportamientos de QoS en una base de salto por salto (Juniper Networks, 2015).

Parámetros del tráfico. Los parámetros del tráfico a gestionarse en las redes actuales son:

- **Pérdida de paquetes,** es la falla de un paquete transmitido a la red en su origen, para alcanzar su destino previsto. La pérdida de paquetes puede tener muy poco impacto o ser perjudicial, según la aplicación. Por ejemplo, si una

aplicación de VoIP pierde algunos paquetes, tendrá poco impacto en una conversación entre dos personas porque es posible que las partes repitan lo que dijeron. Sin embargo, si una transferencia de archivos experimenta la pérdida de paquetes, puede reducir la velocidad de transmisión significativamente.

- **Latencia**, que es el retraso que tiene lugar entre la transmisión de un paquete a la red en su origen y su llegada a su destino previsto. Una vez más, algunos retrasos en los paquetes tienen poco impacto y otros tienen graves implicaciones, según la aplicación. Por ejemplo, aquellos que escuchan una aplicación de radio por Internet pueden tolerar cierto retraso en los paquetes, pero con las aplicaciones de voz, los retrasos en los paquetes pueden causar ecos intolerables para las personas que llaman.

- **Variabilidad del retardo**, también denominado fluctuación, es la variación del retardo entre paquetes consecutivos en un solo flujo. La variación de la latencia tiene el impacto más significativo en algunos de los servicios más valiosos, como los servicios de voz y video. Los servicios de voz utilizan un proceso de digitalización para convertir la voz de analógica a digital y viceversa en el extremo receptor. Sin embargo, si la latencia de los paquetes consecutivos durante la transmisión varía de tal manera que hace que el tiempo entre la llegada de esos paquetes consecutivos difiera demasiado, entonces la conversión de digital a analógico puede fallar, porque los paquetes requeridos no están presentes en el momento necesario para que se conviertan en una señal analógica significativa. Cuando una aplicación de video experimenta inestabilidad, los fotogramas pueden salirse de secuencia o distorsionarse.

Estas características del tráfico deben controlarse y administrarse salto por salto para lograr los comportamientos de QoS por salto necesarios para proporcionar una solución completa de QoS de extremo a extremo.

2.2.3.1. Modelos de QoS

Para gestionar la pérdida de paquetes, la latencia y la fluctuación del retardo en las redes actuales, el Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF) define dos modelos relevantes para la QoS en las redes basadas en paquetes IP.

- Modelo de **Servicios Integrados (IntServ)**, donde los *hosts* señalan sus necesidades de QoS a la red, aunque no se desarrolló debido a su compleja implementación.
- Modelo de **Servicios diferenciados (DiffServ)**, en el que los dispositivos de red utilizan procesos de clasificación basado en clases, que clasifica el tráfico en clases de servicio según el campo DS del encabezado IP. El campo DS contiene un valor de punto de código de servicios diferenciados (DSCP) de 6 bits. El valor de estos bits define el comportamiento de QoS por salto que el dispositivo de red aplica al paquete cuando pasa a través del dispositivo (Juniper Networks, 2015).

El Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF) considera las siguientes clases de servicio:

- Clase **Mejor Esfuerzo (ME)**: la clase Mejor Esfuerzo es la clase de servicio predeterminada. El tráfico que no cumple con los requisitos de ninguna de las otras clases definidas se coloca en la clase ME.

- **Clase Reenvío Acelerado (RA):** la clase Reenvío Acelerado es la clase de servicio dedicada para el retardo, baja pérdida de paquetes y baja variación de la latencia, y se utiliza normalmente para voz, vídeo y otros paquetes que pertenecen a aplicaciones en tiempo real. Los paquetes de la clase RA normalmente reciben una cola de prioridad estricta, lo que permite que el tráfico sensible al retraso se transmita con un retraso mínimo. En general, los paquetes que están en una cola de prioridad estricta se transmiten antes que cualquier otro paquete, incluidas las colas de alta prioridad.

- **Clase Reenvío Asegurado (RS):** la clase Reenvío Asegurado asegura la entrega de paquetes en condiciones definidas. Los paquetes se transmiten siempre que el tráfico no supere la tasa de suscripción. El tráfico que excede la tasa suscrita tiene una mayor probabilidad de caer si se produce una congestión. La clase de servicio de RS se subdivide en cuatro clases de RS separadas, cada una de las cuales tiene la misma prioridad, pero dentro de cada clase, los paquetes tienen una prioridad de caída alta, media o baja. Cuanto mayor sea la precedencia de eliminación, más paquetes se eliminarán durante los períodos de congestión. Esta combinación de clases y precedencia de eliminación puede habilitar la codificación de doce posibles clases de RS, lo que permite a los operadores de red configurar esquemas de clasificación de tráfico muy granulares.

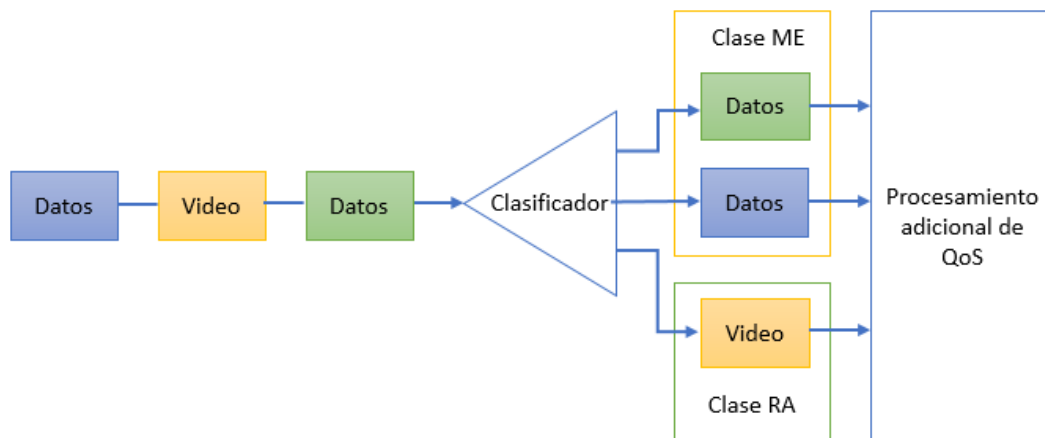
- **Selector de Clase:** proporciona compatibilidad con dispositivos de red que no admiten el modelo DiffServ. Las redes IPv4 utilizan un campo de precedencia IP para identificar la clase de servicio. Si un dispositivo con capacidad DiffServ recibe un paquete de un dispositivo que no es compatible con el modelo DiffServ, el dispositivo con

capacidad DiffServ aún puede determinar a qué clase de servicio se debe asignar el paquete en función del valor del punto de código del Selector de Clase. El modelo DiffServ es aceptado en todo el mundo como el estándar para implementar soluciones de QoS en redes basadas en paquetes IP.

2.2.3.2. Funciones básicas de QoS

Las funciones principales realizadas dentro del dispositivo de red y los comportamientos de QoS que pueden proporcionar son: Clasificadores, Políticas, Conformadores, Colas y Programadores (Juniper Networks, 2015).

- **Clasificadores.** La QoS clasifica cada tipo de tráfico que ingresa a un dispositivo y luego clasifica esos diversos tipos de tráfico en clases o clases de servicio. El tráfico dentro de cada clase se trata en función de un conjunto de comportamientos de QoS asignados a esa clase. Diferenciar el tráfico y asignarlo a la clase adecuada es responsabilidad de los clasificadores. Los clasificadores tienen una sola entrada, los paquetes entrantes, pero tienen múltiples salidas (las diversas clases de servicio definidas en la configuración de QoS) en las que clasificar los diversos paquetes. Se ilustra este proceso de clasificación en la figura 2.5, la cual está basada en la publicación de Juniper Networks del 2015. En este ejemplo, tenemos tres paquetes que ingresan al dispositivo: dos paquetes de datos y un paquete de video. El administrador de la red ha configurado los dos paquetes de datos para clasificarlos en la clase ME y el paquete de video para clasificarlos en la clase RA, que se dedica al tráfico de bajo retardo, baja pérdida de paquetes y baja fluctuación.

Figura 2.5*Clasificador de QoS.*

Nota: Adaptado de *Quality of Service (QoS)* (p. 7), por Juniper Networks, 2015.

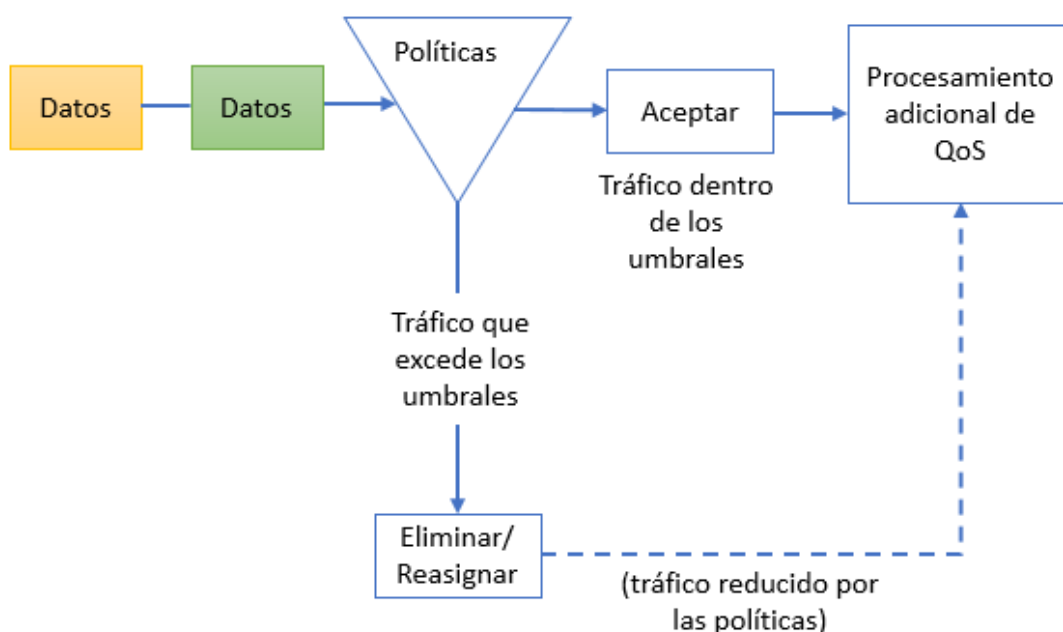
- Políticas.** Las políticas controlan las ráfagas de tráfico al garantizar que el tráfico, entrante o saliente, se ajuste a una tasa configurada llamada límite de ancho de banda. Las políticas proporcionan la primera línea de gestión de la congestión al evitar que el tráfico entrante sobrecargue la red. Las políticas limitan el flujo de tráfico, ya sea descartando los paquetes que exceden el límite de ancho de banda configurado (llamado control estricto) o reasignando el exceso de tráfico a una clase diferente de servicio (vigilancia suave).

La figura 2.6 ilustra cómo las políticas administran el tráfico. Si el tráfico entrante está dentro de los umbrales definidos por el regulador, se acepta y se envía para un procesamiento adicional de QoS. Sin embargo, si el tráfico excede los umbrales definidos del regulador, el regulador puede

eliminar el exceso de tráfico o puede reasignar el exceso de tráfico a una clase de reenvío diferente o prioridad de pérdida y enviarlo para un procesamiento adicional de QoS.

Figura 2.6

Políticas de QoS.

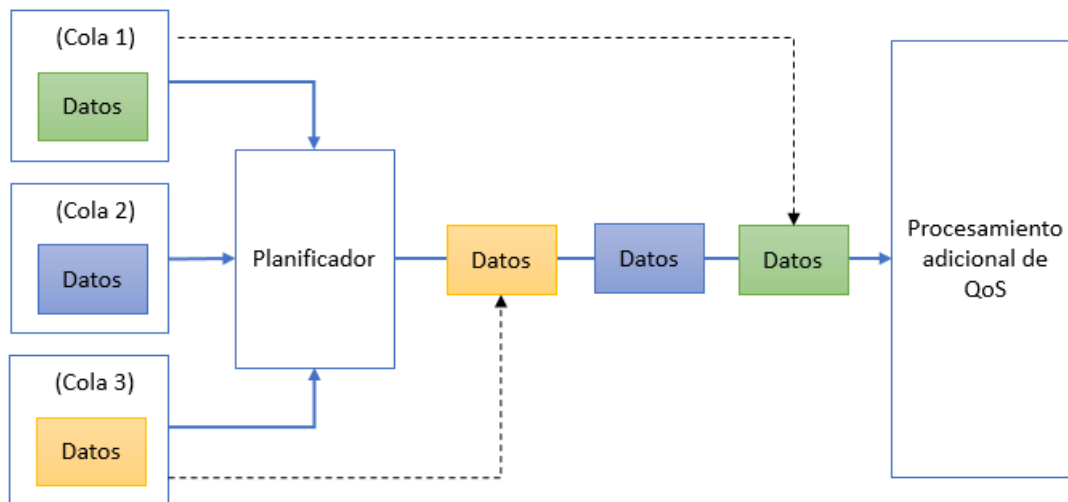


Nota: Adaptado de *Quality of Service (QoS)* (p. 8), por Juniper Networks, 2015.

- Modeladores.** Los modeladores de tráfico controlan la congestión aplicando un límite a la velocidad a la que el dispositivo de red puede transmitir tráfico a los medios físicos. Aunque esto suena similar a lo que hacen los policías en QoS, existen varias diferencias: (1) Los modeladores actúan sobre el tráfico de salida; (2) los modeladores actúan solo sobre el tráfico al que ya se le ha otorgado acceso a una

cola y está esperando el acceso a los recursos de transmisión; (3) los modeladores obligan al tráfico de salida a ajustarse a una tasa de ancho de banda conocida como la tasa de conformación. Sin embargo, los modeladores no descartan simplemente el tráfico por encima de la tasa de modelado definida; retienen los paquetes hasta que se pueden transmitir sin exceder la velocidad.

- **Encolamiento y Planificación.** Las colas retienen los paquetes mientras esperan los recursos de transmisión. Los paquetes se pueden almacenar en una cola mientras esperan la transmisión o se pueden descartar. La decisión de colocar un paquete en una cola o descartarlo se toma en función del nivel de llenado de la cola según se define en el dispositivo de red. Cuando un paquete llega a la cola, se examina el nivel de llenado de la cola, y si la cola ha alcanzado su nivel de llenado máximo, el paquete se descarta. Si no se ha alcanzado el nivel de llenado definido para la cola, el paquete se coloca en la cola donde permanece hasta que el (siguiente) bloque de construcción de QoS, el planificador, lo transmite a la red. Los planificadores controlan el orden en el que se atienden las colas y los paquetes se transmiten al siguiente salto en la ruta del tráfico. Los planificadores proporcionan otro nivel de tráfico diferenciador al decidir qué paquetes se envían, en qué orden se envían y cómo se tratan (Juniper Networks, 2015). La Figura 2.7 muestra un ejemplo de cómo funcionan los planificadores.

Figura 2.7*Encolamiento y Planificación*

Nota: Adaptado de *Quality of Service (QoS)* (p. 9), por Juniper Networks, 2015.

- Remarcador.** En el modelo DiffServ no hay señalización de extremo a extremo de los requisitos de QoS. La única forma de señalar los requisitos de QoS al siguiente dispositivo en la ruta de tráfico es utilizar las marcas de QoS en el campo DS del encabezado del paquete. Este campo identifica el comportamiento por salto que se aplicará al paquete e incluye tanto la clase de servicio como los parámetros de pérdida de paquetes para el paquete. Un remarcador de QoS examina el campo DS en el encabezado del paquete y puede modificar este campo antes de transmitir el paquete para que el dispositivo receptor sepa qué comportamientos de QoS aplicar al paquete. Puede utilizar el remarcado para asegurarse de que el siguiente dispositivo en la ruta de tráfico comprenda los requisitos de QoS para el paquete. El remarcado se realiza en las interfaces de salida antes de que los paquetes abandonen el dispositivo (Juniper Networks, 2015).

Figura 2.8

Remarcado de QoS.

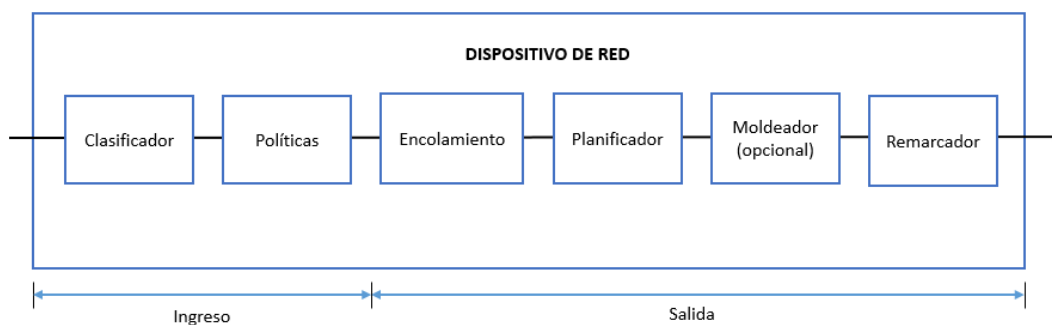


Nota: Adaptado de *Quality of Service (QoS)* (p. 10), por Juniper Networks, 2015.

En la Figura 2.8 se muestra el remarcado de QoS. El dispositivo de red de un proveedor de servicios recibe tres paquetes, ninguno de ellos está marcado correctamente, por lo que el dispositivo del proveedor comenta el campo DS para que los enrutadores posteriores sepan cómo manejar el paquete.

Figura 2.9

Funciones de QoS resumidas.



Nota: Adaptado de *Quality of Service (QoS)* (p. 11), por Juniper Networks, 2015.

La Figura 2.9 ilustra un resumen de todas las funciones básicas de QoS y cómo interactúan dentro del dispositivo de red.

2.2.4. La Calidad de Experiencia (QoE)

Sin embargo, para muchos servicios como la transmisión de video, la QoS no puede indicar la influencia de la red en la experiencia del usuario (Seufert et al., 2019).

Entonces surge el concepto de *experiencia de usuario*. De acuerdo a la (ISO, 2019) se tiene la siguiente definición del término *experiencia de usuario*: “Percepciones y respuestas de una persona que resultan del uso o uso anticipado de un producto, sistema o servicio”, la cual es aplicable en general para todas las percepciones y respuestas del usuario de un producto, sistema o servicio. Hoy en día, entre los objetivos de las aplicaciones, servicios y sistemas en el ámbito TI es facilitar las emociones positivas utilizando un sistema interactivo e incluso diseñar sistemas de tal manera que conduzcan a una experiencia emocional específica (ETSI, 2011).

En ITU-T - P.10 - Enmienda 2 (2008) se formula el concepto de que calidad de experiencia QoE como la aceptación general de una aplicación o servicio, tal como lo percibe el usuario final, concepto que incluye los efectos completos del sistema de extremo a extremo, además que podría estar influenciado por las expectativas del usuario y su particular contexto. Entonces debemos comprender aquellos factores que influyen en la percepción del usuario.

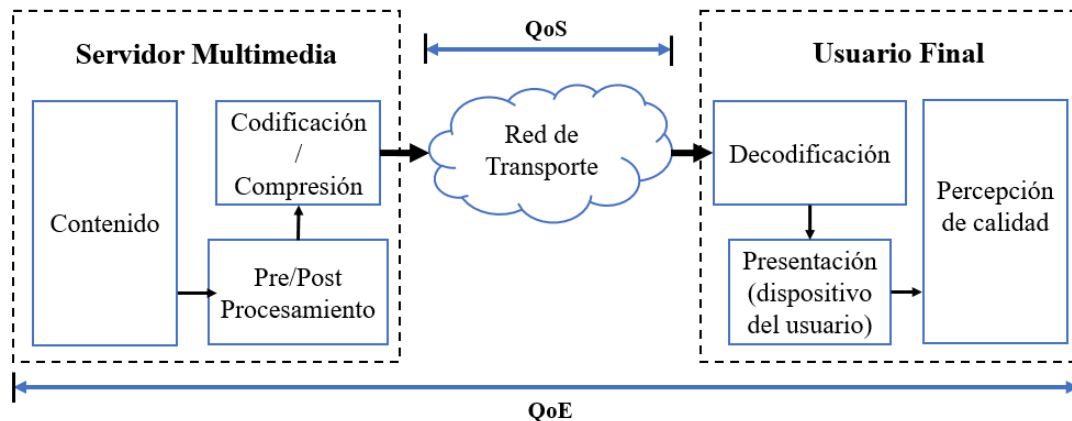
Factores que influyen en la QoE. En el contexto de los servicios y aplicaciones de comunicaciones, diferentes factores pueden influir en la calidad de experiencia QoE. Esta puede estar sujeta a una variedad de factores correlacionados, diversos y complejos. En Möller y Raake (2014), los autores mencionan tres conjuntos de factores de influencia: humanos, de contexto y de sistema.

- Los **factores de influencia humanos** se refieren a los factores socio-económicos, demográficos y el estado emocional del usuario. Los factores de influencia de contexto son factores que engloban el entorno físico en el que se sitúa el usuario.

- Los **factores de influencia del sistema** se pueden dividir en tres categorías: factores de influencia de red, contenido y dispositivo. Los factores de influencia de la red están relacionados con la transmisión de datos a través de una red: retardo, variación del retardo, ancho de banda, pérdida de paquetes, etc. Los factores de influencia de contenido abarcan todos los factores relacionados con la naturaleza de los datos: como velocidad de codificación, resolución, velocidad de fotogramas, velocidad de muestreo y sincronización del flujo de datos.

- Los **factores de influencia del dispositivo** se refieren al equipo terminal; las características del sistema receptor tendrán un impacto en la QoE.

La Figura 2.10 muestra gráficamente lo mencionado en los párrafos anteriores. La calidad de servicio (QoS) está asociada a la red de transporte y sus parámetros tales como ancho de banda, latencia, variación del retardo, pérdida de paquetes, etc. y la gestión de estos parámetros. La calidad de experiencia (QoE) involucra todos los componentes y sus características, de extremo a extremo, que intervienen en el proceso de la entrega del *streaming* de video. Cada componente del sistema, el entorno en el que el usuario recibe el contenido multimedia y las características inherentes al ser humano influirán en la calidad de la percepción.

Figura 2.10*Calidad de experiencia QoE.*

Nota: Adaptado de *Quality of Experience - Advanced Concepts, Applications and Methods* (p. 3), por S. Möller y A. Raake, 2014, Springer.

2.2.5. Métricas de evaluación de la calidad de video

Las formas de evaluación de la calidad de video transmitido a través de una red de datos se pueden clasificar en dos categorías: métodos subjetivos y métodos objetivos. El método de evaluación de calidad de video subjetivo es el método de medición más confiable. Se selecciona un grupo de espectadores y se reúnen en una sala, el entorno de medición se especifica en la Recomendación de la (UIT, 2008). La evaluación objetiva de la calidad de video se ha desarrollado ampliamente, estableciéndose métricas para alcanzar una medición objetiva de la calidad de video recepcionado.

De acuerdo a Wang (2006) algunas métricas de evaluación objetiva son:

- **Proporción Máxima de Señal a Ruido (PSNR):** La PSNR se deriva estableciendo el error cuadrático medio (MSE) en relación con el valor máximo posible de la luminancia (para un valor típico de 8 bits, esto es $2^8 - 1 = 255$) de la siguiente manera:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(f(i, j) - F(i, j))]^2}{M \cdot N}$$

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right)$$

donde $f(i, j)$ es la señal original en el píxel (i, j) , $F(i, j)$ es la señal reconstruida y $M \times N$ es el tamaño de la imagen. El resultado es un número único en decibelios, que va de 30 a 40 para videos de calidad media a alta.

- **Métrica de Calidad de Imágenes en Movimiento (MPQM).** MPQM es una métrica de calidad objetiva para imágenes en movimiento que incorpora dos características de visión humana: la sensibilidad al contraste y el enmascaramiento. El primer fenómeno explica el hecho de que el ojo detecta una señal sólo si su contraste es mayor que algún umbral. La sensibilidad del ojo varía en función de la frecuencia espacial, la orientación y la frecuencia temporal. El segundo fenómeno está relacionado con la respuesta de la visión humana a la combinación de varias señales. Un estímulo consta de dos tipos de señales (primer plano y fondo). El umbral de detección del primer plano se modificará en función del contraste del fondo.
- **Métrica de Calidad de Video (VQM)** es una métrica desarrollado por el *Institute for Telecommunication Science* (ITS) para proporcionar una medición objetiva de la calidad de video percibida. Mide los efectos perceptivos de las degradaciones de video,

incluyendo desenfoque, ruido global, distorsión de bloque y distorsión de color combinándolos en una sola métrica. VQM tiene una alta correlación con la evaluación subjetiva de la calidad de video y que el *American National Standards Institute* (ANSI) lo ha adoptado como un estándar objetivo de calidad de video.

- **Índice de Similitud Estructural (SSIM).** De acuerdo a Wang et al. (2004), el enfoque de las métricas descritas anteriormente está basados en la sensibilidad al error ocurridos en las degradaciones del video, desenfoque y otros. SSIM presenta un enfoque diferente para la evaluación de la calidad del video, al usar la medición de distorsión estructural en lugar del error. La idea detrás de esto es que el sistema de visión humana está altamente especializado en extraer información estructural del campo de visión y no está especializado en extraer los errores. SSIM utiliza el método de la referencia completa, es decir compara la imagen original con la imagen distorsionada para cuantificar la calidad de la imagen distorsionada.

Un video consiste en imágenes fijas sucesivas, se puede usar SSIM para la medición de la calidad del video comparando los cuadros de video originales con los cuadros de video distorsionados. Entonces el SSIM promedio se puede usar como un indicador de la calidad de la experiencia de video.

2.2.6. Modelo matemático

En la presente tesis, con el objeto de validar los resultados que se presentan en el capítulo IV, se utiliza un modelo basado en (Kim y Choi, 2014), para lo cual se considera los estudios de correlación entre los parámetros de QoS de la red y los elementos de la QoE de la percepción humana. Al respecto, (Khirman y Henriksen, 2002) realizan una medición directa de la calidad de la experiencia del usuario y establecen relaciones entre QoS y QoE; (Mok et al., 2011) estudian la

relación entre tres niveles de calidad en la transmisión de video HTTP: QoS de la red, QoS de la aplicación y QoE; también Mushtaq et al. (2012), en su trabajo afirman que los parámetros importantes que influyen en la QoE son: parámetros de red (QoS), características de los videos, características del terminal y tipos de perfiles de usuarios.

2.2.6.1. Normalización del entorno de red

Se define $QoS(x)$ como un dato numérico que indica la normalización de los parámetros de QoS de la red. Los parámetros de QoS que tienen un efecto en los elementos de QoE son la pérdida de paquetes IP, el retardo de los paquetes IP, la variación del retardo, el ancho de banda, etc. Estos parámetros de QoS, recomendados por las organizaciones de estandarización como ITU-T e IETF, son elementos de calidad relacionados con la red.

En el cálculo de $QoS(x)$ importa los pesos de los parámetros de QoS, los cuales deben asignarse considerando el grado de importancia relativa del parámetro de QoS relacionado con los resultados de análisis de correlación de QoS/QoE, cada uno de los parámetros de QoS relacionados con QoE tienen una influencia diferente. Se asigna el peso de los parámetros de QoS de acuerdo con los límites estándar de calidad recomendados por la ITU-T e IETF, y su grado de importancia relativa como se muestran en la Tabla 2.1.

El valor de $QoS(x)$ es la sumatoria de los valores de los parámetros de QoS con el peso asignado como en la fórmula (1). En la fórmula (1), se hace referencia a los principales parámetros de QoS que influyen en la QoE de video.

$$QoS(x) = K\{L * Wl + J * Wj + D * Wd + B * Wb \dots\} \quad (1)$$

Tabla 2.1*Grado de importancia relativa de los parámetros de QoS*

Parámetros QoS	Grado de importancia relativa	Alcance	Peso (Wx)
Pérdida de paquetes (L)	56.7 %	0 ~ 1 %	10
Variabilidad del retardo (J)	16.1 %	Menor que 50 ms	0
		50 ms ó más	0.5
Latencia (D)	15.9 %	Menor que 100 ms	0
		100 ms ó más	0.5
Ancho de banda (B)	11.3 %	Depende del codec usado	–

Nota: Adaptado de *QoE assessment model for multimedia streaming services using QoS parameters* (p. 6), por H. Kim y S. Choi, 2014, *Multimedia Tools and Applications*. 72. 10.1007/s11042-013-1507-8.

En la fórmula (1), la constante K se selecciona de acuerdo con el tipo de comunicación. Podemos asignar el valor 1 a la constante K en unidifusión.

2.2.6.2. Modelo para la evaluación de la calidad de video

La fórmula numérica para medir la QoE de video (QoEv) del suscriptor utilizando el valor QoS(x) normalizado es el siguiente:

$$QoEv = Qr * (1 - QoS(x))^{QoS(x)*A/R} \quad (2)$$

donde Q_r es el límite superior de la calidad de la experiencia de video, siendo en este caso la red cableada $Q_r = 1$. La constante A expresa la clase de servicio suscrito. Si la clase de servicio suscrito es alta, la constante A se asigna en el valor más alto. Significa que el nivel de QoE que solicita el suscriptor del servicio premium es más alto que el del suscriptor del servicio general en la condición de red de la misma calidad de QoS; la constante R se determina como la constante que refleja la estructura de los cuadros de video de acuerdo con la longitud de *Group of Picture* (GoP). Debido a que una codificación no progresa en caso de perder un *i-Frame* hasta que se recibe el siguiente *i-Frame*, la pérdida de un *i-Frame* induce más la mala calidad (salto de fotograma, congelación de fotogramas, etc.) que los otros fotogramas (*P/B Frame*). Entonces, podemos usar la variable R como el factor para la medición de QoE de la imagen. Finalmente, del análisis de los patrones de cambio entre las condiciones de la red y la calidad del video, se asigna las constantes A y R de la fórmula (2) a 60 y 12 respectivamente.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental.

3.2. Nivel de investigación

Descriptivo y explicativo.

3.3. Método de investigación

Método cualicuantos (cuantitativo y cualitativo).

3.4. Diseño de investigación

Corresponde a una investigación por objetivos directos e inmediatos.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Registros de las transmisiones de prueba realizadas desde el servidor web hacia los dispositivos clientes.

3.5.2. Muestra

Conjunto de transmisiones de prueba en los que se varía un parámetro en la red WAN emulada.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

- Configuración software y hardware
- Pruebas de validación de funcionalidad.
- Captura de transmisiones de prueba en los que se mide el efecto causado por la variación de un parámetro en la red WAN emulada.

3.6.2. Instrumentos

- WANem: Emulador de red WAN (TATA Consultancy Services, 2020).
- Camtasia Studio 8 (TechSmith, 2020).
- MSU VQMT: herramienta para cuantificar la similitud entre en video original y el recibido, aplicando la métrica SSIM (CS MSU Graphics & Media Lab, 2020).

3.7. Procedimiento de recolección de datos

Se realiza la configuración respectiva en la red de evaluación (servidor web, red WANem y cliente), el usuario mediante una dirección URL en un navegador del cliente Web, ejecuta la solicitud del video, el cual es capturado. Se realizan tres grupos de capturas: (1) capturas de videos en los cuales, durante la transmisión, se varía el porcentaje de pérdida de paquetes, (2) capturas de videos en los cuales, durante la transmisión, se varía la latencia en milisegundos y (3) capturas de videos en los cuales se varía la fluctuación del retardo en milisegundos.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se mide el efecto provocado por diferentes porcentajes de pérdidas de paquetes (0% - 1%), valores de latencia (100 ms – 200 ms) y la variabilidad del retardo (40 ms – 60 ms). La medición de la calidad de video se realiza mediante la métrica SSIM, configurada en la herramienta MSU VQMT, obteniéndose los valores de distorsión de los fotogramas recepcionados.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el propósito de estimar el rendimiento de MPEG-DASH en la transmisión de video se propone un método que se ejecuta en dos etapas:

- a. En la primera se cuantifica la calidad del video recepcionado cuando se utiliza MPEG-DASH sobre una red WAN emulada.
- b. En la segunda se aplica un modelo matemático para validar los resultados obtenidos en la primera etapa.

4.1. Evaluación de MPEG-DASH sobre una red WAN emulada

La evaluación de la transmisión de video con MPEG-DASH se realiza sobre una red WAN emulada, que condujo a la implementación de un escenario de evaluación mostrado en la Figura 4.1.

Figura 4.1

Esquema de la red de evaluación.



El direccionamiento IP de la red de evaluación implicó establecer dos redes:

- la primera entre el servidor de video y la red WAN emulada:
201.100.100.0/24
- la segunda entre la red WAN y el cliente DASH:
200.100.100.0/24

4.1.1. Servidor de video.

El servidor de video, en el esquema MPEG-DASH, es un servidor web convencional. Por esto, se configuró el servidor de video en una laptop con las siguientes características de hardware:

- Laptop marca Toshiba
- Procesador Core i3
- Memoria RAM de 4 GB

Para la implementación del servidor se usó el sistema operativo Linux CentOS 7 y se configuró Apache para dar el servicio web.

La investigación de (Salmon et al., 2011) demuestra que el aumento de la velocidad de fotogramas mejora significativamente, la representación realista de la reproducción de vídeo, en particular para géneros de movimiento rápido como el deporte, lo que lleva a una experiencia más inmersiva. Es por esto que optamos por un extracto de video de acciones rápidas con el objetivo de extremar las condiciones de evaluación de la codificación DASH. Utilizamos un extracto de 2 min de la película "*Captain America: The Winter Soldier*" (Marvel Studios, 2014), porción durante el cual ocurre una pelea entre varias personas en un ascensor en movimiento y donde, finalmente, el personaje principal salta del ascensor en pleno descenso.

La información del códec de video de la porción de película utilizada se caracteriza por:

- Códec H264 – MPEG-4 AVC
- Idioma: inglés
- Resolución de video 854x480
- Velocidad de datos 896 kbps
- Velocidad de bits total 1022 kbps
- Tasa de fotogramas: 30 por seg.

La información del códec de audio de la porción de película utilizada se caracteriza por:

- Códec MPEG ACC Audio (mp4a)
- Idioma: inglés
- Velocidad de bits: 128 kbps
- 2 canales estéreo
- Tasa de muestra: 44.1 khz
- Bits por muestra: 32

4.1.2. Red WAN emulada

Se emuló en una laptop con las siguientes características de hardware:

- Laptop marca HP
- Procesador Core i3
- Memoria RAM de 12 GB

Para la implementación de la red WAN se utilizó el paquete de emulación de red llamado WANem, el cual se ejecuta sobre el Sistema Operativo Linux. Este paquete permite la configuración de una red WAN en el que los parámetros de calidad de servicio, como latencia, fluctuación del retardo, pérdida de paquetes y otros, pueden ajustarse posibilitando el análisis del efecto que provoca la variación de cada parámetro en la calidad de video recepcionada en el cliente.

4.1.3. Cliente DASH

En MPEG-DASH el cliente puede ejecutarse sobre cualquier plataforma. Nosotros, en cuanto a hardware, optamos por una laptop con las siguientes características:

- Laptop marca Lenovo
- Procesador Celeron
- Memoria RAM de 4 GB

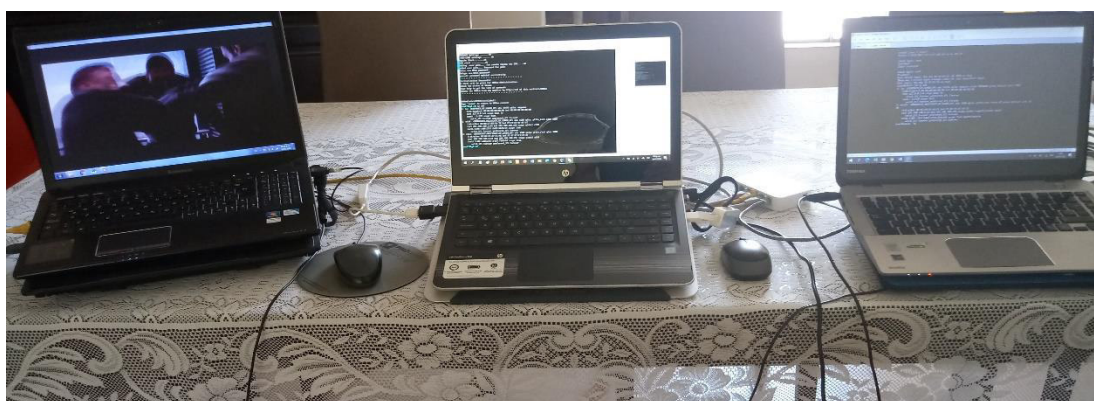
En cuanto a software, se utilizó el navegador *Chrome* sobre el sistema operativo *Windows 7* y la herramienta de medición de calidad de video MSU VQMT, paquete que incorpora la métrica SSIM.

La Figura 4.2 muestra los dispositivos utilizados en la implementación de la red que posibilita la evaluación y análisis de la transmisión del video bajo MPEG-DASH. Se observa en la foto de la red física: la laptop

de la derecha es el servidor de video; en la parte central la laptop en la que se emuló una red WAN; y finalmente, en el lado izquierdo la laptop que hace de cliente.

Figura 4.2

Red física de evaluación.



Para cuantificar el rendimiento de MPEG-DASH en la transmisión de video, se instaló en el dispositivo cliente la herramienta de medición de calidad de video MSU VQMT. Este paquete, además de otras métricas, incluye la métrica SSIM, la cual posibilita realizar mediciones de la calidad del video.

Se ha elegido la métrica SSIM porque considera la medición de la distorsión estructural, ocurrido durante la transmisión por la red, de cada fotograma. Las métricas para la medición de la calidad de video recibido, en general, están basados en la sensibilidad a los errores ocurridos en las degradaciones del video, producto de la pérdida de paquetes, retardos o *jitter* (fluctuaciones en los retardos) y otros factores más propios de la red, así como el desenfoque y otros.

SSIM para realizar la evaluación de la calidad del video, utiliza el método de la referencia completa, es decir compara la imagen original

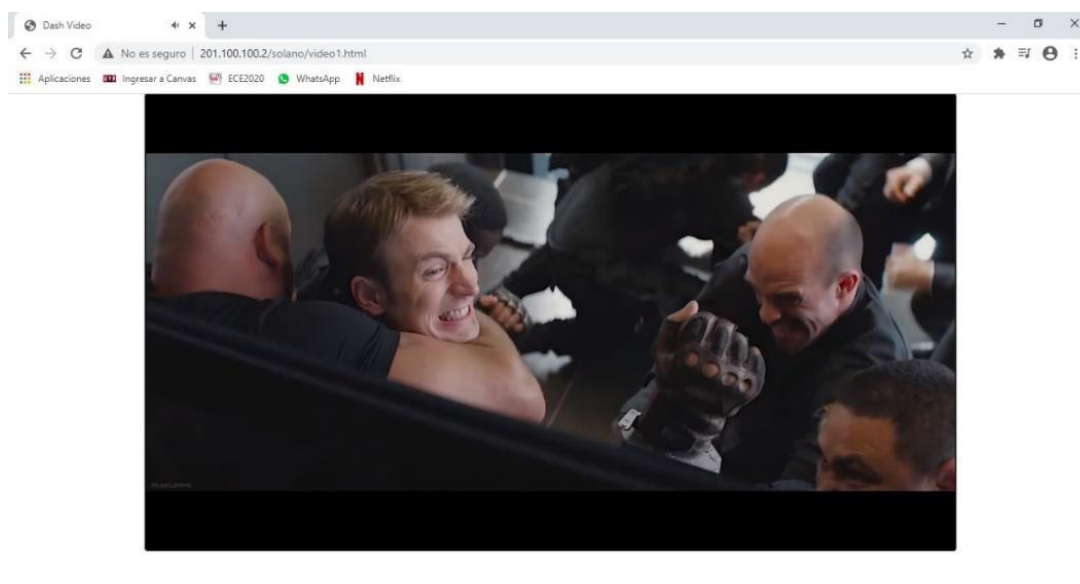
con la imagen recepcionada, que presenta inevitables distorsiones, para cuantificar la calidad de la imagen recibida. La métrica SSIM se basa en que el sistema de la visión humana, la cual está altamente especializada en obtener información de carácter estructural de la totalidad del campo de visión y no está especializada en extraer los errores.

Un video consiste en imágenes fijas sucesivas, por lo que se puede usar SSIM para la medición de la calidad del video comparando los cuadros de video originales con los cuadros de video recibidos distorsionados. Entonces el SSIM promedio se puede usar como un indicador de la calidad de la experiencia de video.

La Figura 4.3 es una captura realizada en la máquina cliente.

Figura 4.3

Captura del video en el dispositivo cliente.



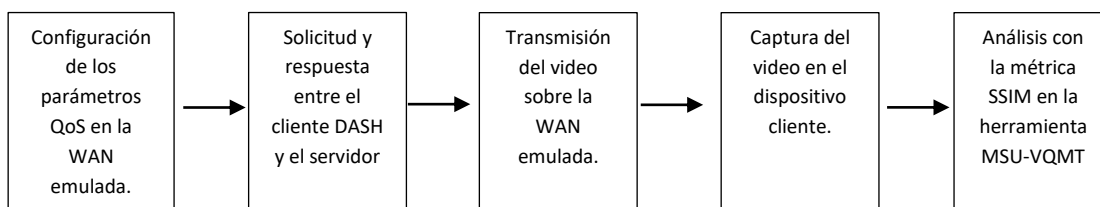
4.1.4. Procedimiento de evaluación

El diagrama de la Figura 4.4 muestra el procedimiento para la evaluación del MPEG-DASH en la transmisión de video. Luego de implementar la red de evaluación de la Figura 4.2 se procede a:

1. Configurar los parámetros QoS en la WAN emulada (paquete WANem) con mayor impacto sobre el video *streaming*, de acuerdo a la ITU y la IETF, la latencia, la variación del retardo, la pérdida de paquetes y el ancho de banda.
2. En el dispositivo cliente, en un navegador se escribe la URL para solicitar al servidor web el video a transmitirse.
3. Transmisión del video sobre la WAN emulada.
4. Captura del video recepcionado en el dispositivo cliente.
5. En la herramienta MSU-VQMT, utilizando la métrica SSIM, se cuantifica la similitud del video recepcionado respecto del video original.

Figura 4.4

Diagrama del procedimiento de evaluación de MPEG-DASH.



4.1.5. Mediciones de la calidad de video en el cliente DASH

La medición de la calidad de video recepcionado en el cliente se realiza ejecutando 3 grupos de pruebas. En el primer grupo de mediciones, el video se transmite hacia el cliente a través del paquete de emulación WANem, en el que se configura el parámetro pérdida de paquetes, en el rango de 0 % hasta 1 %; en el segundo grupo de mediciones, el paquete de emulación WANem se configura de forma que el parámetro

retardo toma valores desde 100 ms hasta 200 ms; y en el tercer grupo de mediciones, en el paquete de emulación WANem se configura la fluctuación del retardo desde 50 ms hasta 60 ms.

A. Mediciones variando la pérdida de paquetes

Ejecutando los pasos del diagrama de la figura 4.1, para cada valor de la pérdida de paquetes, entre 0% y 1%, se obtiene un resultado dado por SSIM; asimismo para cada valor de la pérdida de paquetes se ejecutaron 4 pruebas cuyo promedio es el valor SSIM en la tabla 4.1.

Tabla 4.1

SSIM cuando el porcentaje de la Pérdida de Paquetes varía entre 0% y 1%.

Pérdida de paquetes (%)	SSIM
0	0.965645
0.1	0.902951
0.2	0.93495
0.3	0.923271
0.4	0.948687
0.5	0.933475
0.6	0.94169
0.7	0.941806
0.8	0.909179
0.9	0.858487
1	0.836634

B. Mediciones variando la latencia

Realizando los pasos del diagrama de la Figura 4.4, para cada valor del retardo, entre 100 ms y 200 ms, se obtiene un resultado dado por SSIM; asimismo para cada valor del retardo se ejecutaron 4 pruebas cuyo promedio es el valor SSIM en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2

SSIM cuando la latencia varía entre 100 ms y 200 ms.

Latencia (ms)	SSIM
100	0.91327
110	0.926402
120	0.919791
130	0.92286
140	0.937593
150	0.902951
160	0.931357
170	0.934208
180	0.913573
190	0.93385
200	0.896166

Tabla 4.3

SSIM cuando la fluctuación del retardo varía entre 50 ms y 60 ms

Fluctuación del retardo (ms)	SSIM
40	0.9358515
42	0.88588
44	0.9147035
46	0.9377075
48	0.9283543
50	0.9052951
52	0.927591
54	0.9179085
56	0.9371596
58	0.8996785
60	0.905154

C. Mediciones variando la fluctuación del retardo

Ejecutando los pasos del diagrama de la Figura 4.4, para cada valor de la variación del retardo, entre 50 ms y 60 ms, se obtiene un resultado dado por SSIM; asimismo para cada valor de la fluctuación del retardo se ejecutaron 4 pruebas cuyo promedio es el valor SSIM en la Tabla 4.3.

4.2. Validación de resultados con el modelo matemático

El modelo matemático de Kim & Choi (2014) establece una correlación entre los parámetros de QoS de la red y los elementos de la QoE de la percepción humana, entonces podemos validar con este modelo los valores de SSIM anteriormente obtenidos al medir la influencia de la pérdida de paquetes, latencia y variación del retardo.

A. Validación para la pérdida de paquetes

La Tabla 4.4 muestra los valores SSIM y QoEv (calculados con la fórmula (2) del modelo matemático indicado en el capítulo 2) para el caso de la pérdida de paquetes. Se muestran los resultados de la métrica SSIM y los cálculos de QoEv para establecer la relación entre lo medido y el cálculo con el modelo matemático.

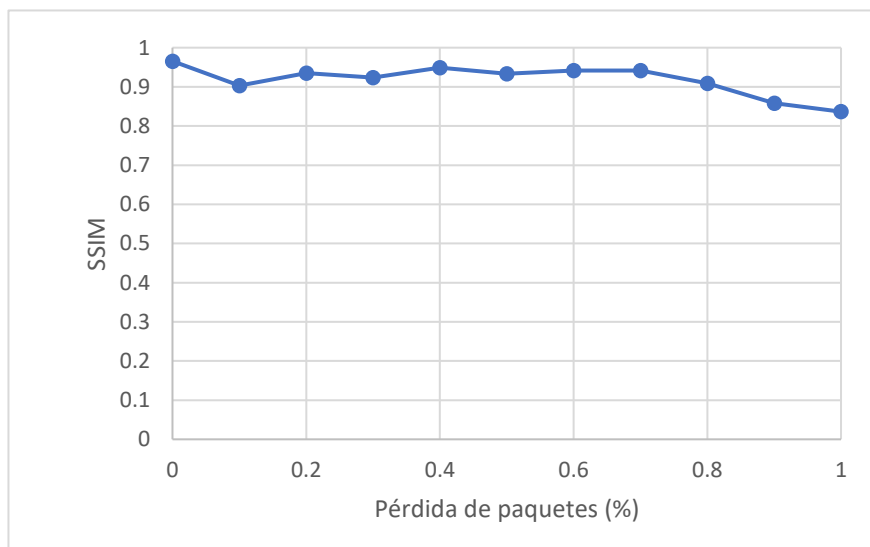
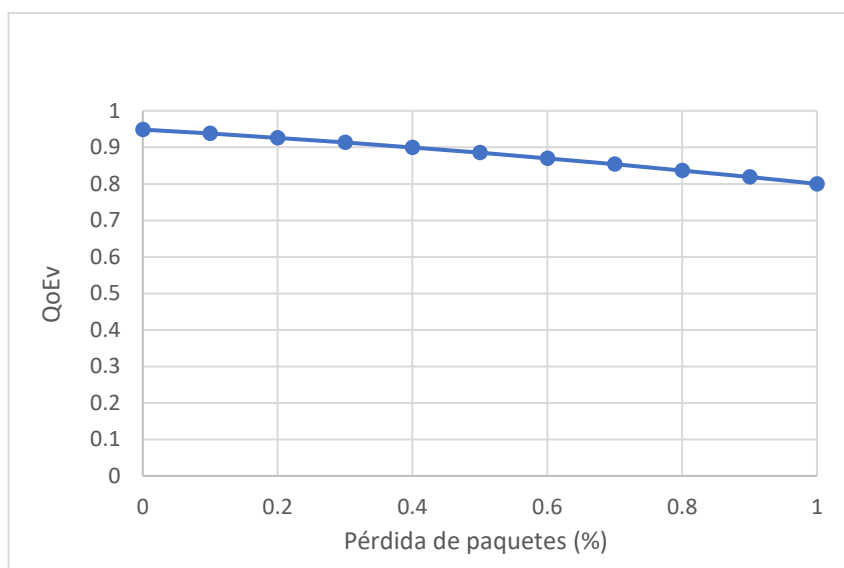
Tabla 4.4

SSIM y QoEv, cuando el porcentaje de la Pérdida de Paquetes varía entre 0% y 1%.

Pérdida de paquetes (%)	QoE(v)
0	0.948683
0.1	0.937917
0.2	0.926168
0.3	0.913456
0.4	0.899806
0.5	0.885246
0.6	0.869808
0.7	0.853525
0.8	0.836436
0.9	0.818579
1	0.8

La Figura 4.5 grafica de los resultados SSIM vs Pérdida de paquetes, observándose que para valores de perdida de paquetes próximos a 1 %, la métrica SSIM muestra valores cada vez menores, evidenciando que MPEG-DASH permite la transmisión de video con calidad en más del 80 % del rango recomendado por la ITU-T e IETF.

La Figura 4.6 grafica los resultados QoEv vs Pérdida de paquetes (Tabla 4.1) y en ella se observa que el modelo matemático valida los resultados obtenidos utilizando la métrica SSIM, es decir, la calidad del video recibido en el cliente aplicando MPEG-DASH es superior al 80 % cuando el valor del parámetro perdida de paquetes no excede el 0.8 %.

Figura 4.5*SSIM vs pérdida de paquetes***Figura 4.6***QoEv vs pérdida de paquetes*

B. Validación para la latencia

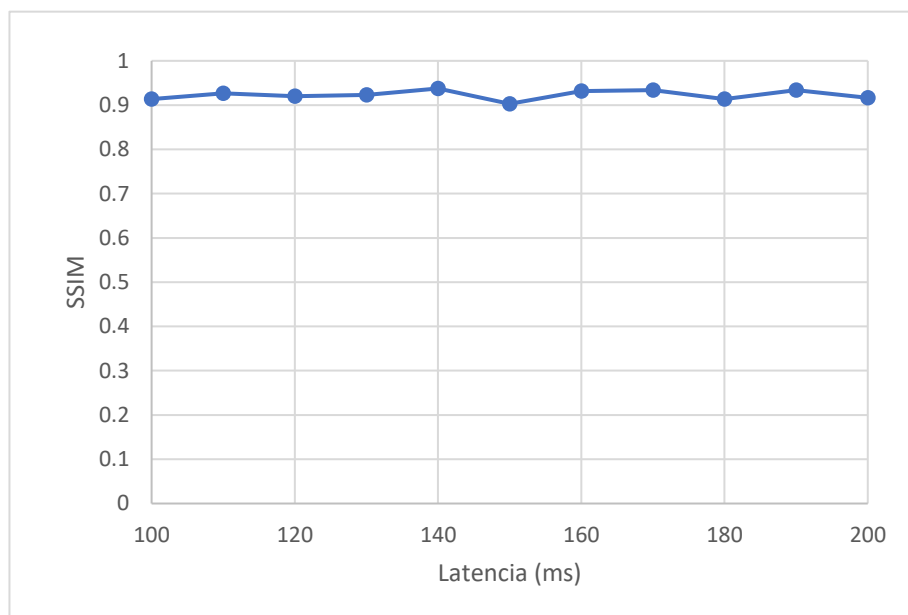
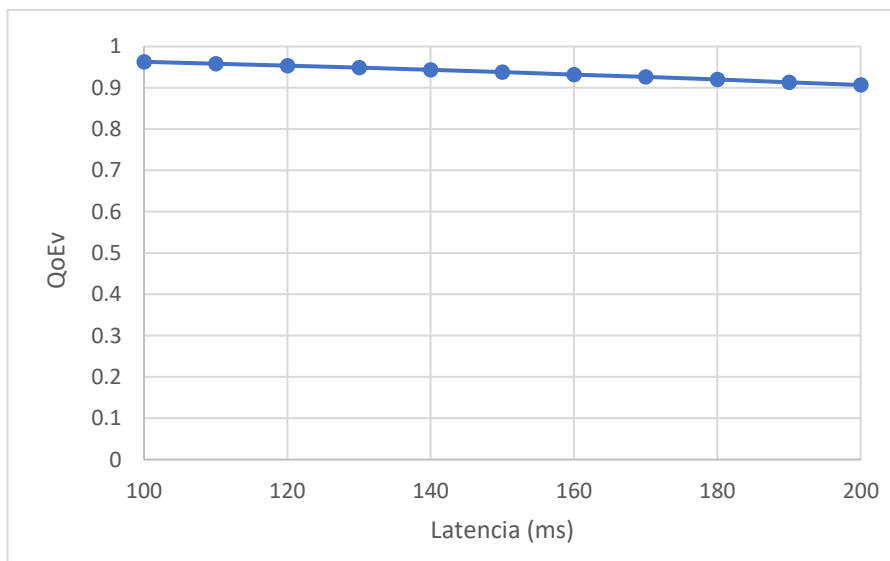
La Tabla 4.5 muestra los resultados obtenidos al utilizar la métrica SSIM y los valores de QoEv, que se calculan usando la formula (2) del modelo matemático indicado en el capítulo 2.

Tabla 4.5

QoEv y SSIM cuando la latencia varía entre 100 ms y 200 ms.

Latencia (ms)	QoE(v)
100	0.962950504
110	0.958448157
120	0.953691858
130	0.948683298
140	0.943424377
150	0.937917207
160	0.932164116
170	0.926167641
180	0.919930532
190	0.913455751
200	0.906746468

La Figura 4.7 grafica los resultados SSIM vs latencia, con los valores obtenidos de la Tabla 4.2. De acuerdo con los límites estándar de calidad recomendados por la ITU-T e IETF (ver Tabla 2.1), respecto de la latencia, se observa que la similitud dada por la métrica SSIM entre el video recibido y el video original es superior al 90 %, es decir la calidad del video recibido utilizando MPEG- DASH es del 90 % dentro de los límites estándar recomendados por la ITU-T e IETF.

Figura 4.7*Gráfica de SSIM vs Latencia***Figura 4.8***Gráfica de QoEv vs Latencia*

La Figura 4.8 ilustra los resultados QoEv vs latencia (Tabla 4.5) y en ella se observa que el modelo matemático valida los resultados obtenidos utilizando SSIM, es decir, la calidad del video recibido en el cliente aplicando MPEG-DASH es superior al 90 % dentro de los límites estándar del parámetro retardo recomendados por la ITU-T e IETF.

C. Validación para la fluctuación del retardo

La Tabla 4.6 muestra los resultados obtenidos al utilizar la métrica SSIM y los valores de QoEv, que se calculan usando la fórmula (2) del modelo matemático indicado en el capítulo 2.

Tabla 4.6

QoEv y SSIM cuando la fluctuación del retardo varía entre 40 ms y 60 ms.

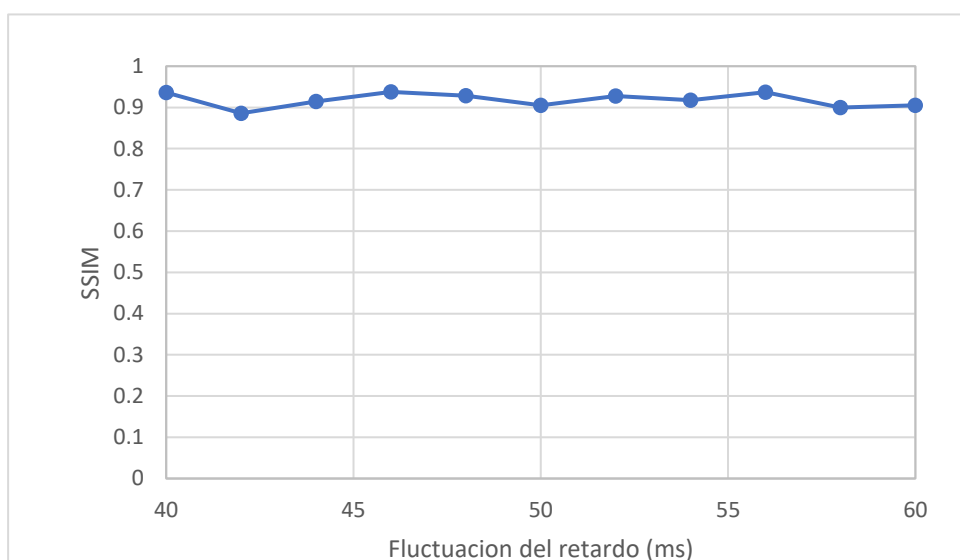
Fluctuación del retardo (ms)	QoE(v)
40	0.962950504
42	0.962950504
44	0.962950504
46	0.962950504
48	0.962950504
50	0.937917207
52	0.936786185
54	0.935645344
56	0.934494706
58	0.933334289
60	0.932164116

La Figura 4.9 grafica los resultados SSIM vs fluctuación del retardo (Tabla 4.3). De acuerdo con los límites estándar de calidad recomendados por la ITU-T e IETF (Tabla 2.1), respecto del fluctuación del retardo, se observa que la similitud dada por la métrica SSIM entre

el video recibido y el video original es superior al 88 %, es decir la calidad del video recibido utilizando MPEG-DASH es del 90 % dentro de los límites estándar recomendados por la ITU-T e IETF en el caso del parámetro fluctuación del retardo.

Figura 4.9

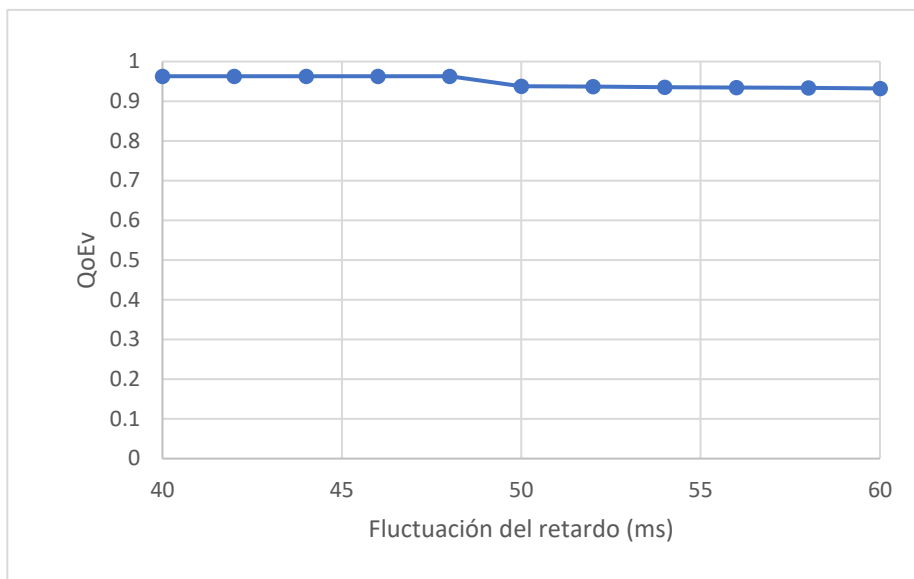
SSIM vs Fluctuación del retardo



La Figura 4.10 ilustra los resultados QoEv vs fluctuación del retardo (Tabla 4.3), y en ella se observa que el modelo matemático valida los resultados obtenidos utilizando SSIM, es decir, la calidad del video recibido en el cliente aplicando MPEG-DASH es superior al 78 % dentro de los límites estándar de la variación del retardo recomendados por la ITU-T e IETF.

Figura 4.10

Gráfica de QoEv vs Fluctuación del retardo.



CONCLUSIONES

1. Los resultados gráficos (figura 4.5, figura 4.7 y figura 4.9), obtenidos al utilizar la métrica SSIM, permiten evidenciar que la codificación DASH es eficiente en la transmisión de video a través de una red de datos, al verificar que el video alojado en el servidor y el video recibido en el cliente muestran, en las figuras mencionadas, una similitud ponderada arriba del 90%.
2. El modelo analítico que se utiliza en el presente estudio, demuestra que MPEG-DASH tiene un rendimiento alto en la transmisión del video por una red IP (ver figura 4.6, figura 4.8 y figura 4.10), y, como afirman (Seufert et al., 2015), constituye una de las tecnologías más importantes para entregar transmisiones de video con calidad.
3. En el presente trabajo de investigación se propone un método para ponderar el rendimiento de MPEG-DASH durante la transmisión de video sobre una red IP, método que implica la cuantificación de la calidad de experiencia de video y la correspondiente validación a través de un modelo matemático que correlaciona la calidad de servicio QoS de la red de transmisión y la calidad de experiencia QoE del usuario.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios del rendimiento de futuras versiones de MPEG-DASH en sistemas de video interactivo, aplicando el método propuesto en esta tesis.
2. Ampliar el presente estudio del esquema DASH, en otros entornos funcionales tal como un cliente móvil trasladándose a alta velocidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adobe. (2020). *HTTP Dynamic Streaming*. Recuperado de <https://www.adobe.com/es/products/hds-dynamic-streaming.html>

Aloman, A., Ispas, I., Ciotirnae, P., Sanchez-Iborra, R., & Cano, M. (Octubre, 2015). Performance Evaluation of Video Streaming Using MPEG DASH, RTSP, and RTMP in Mobile Networks. *2015 8th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC)*. Munich, Alemania.

Apostolopoulos, J., Tan, W., & Wee, S. (2002). *Video streaming: Concepts, algorithms, and systems*. HP Laboratories, report HPL-2002-260.

Apple. (2020). *HTTP Live Streaming*. Recuperado de https://developer.apple.com/documentation/http_live_streaming

Briscoe, B., Brunstrom, A., Petlund, A., Hayes, D., Ross, D., Tsan, I., Gjessing, S., Fairhurst, G., Griwodz, C., & Welzl, M. (2014). *Reducing Internet Latency: A Survey of Techniques and their Merit*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(3), 2149 - 2196.

CS MSU Graphics & Media Lab. (2020). *MSU Quality Measurement Tool*. Recuperado de http://compression.ru/video/quality_measure/vqmt_download.html

- Díaz, C., Cabrera, J., Orduna, M., Muñoz, L., Pérez, P., Ruiz, J. & García, N. (Enero, 2018). Viability analysis of content preparation configurations to deliver 360VR video via MPEG-DASH technology. *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. Las Vegas, USA.
- ETSI. (2011). *ETSI TS 182 028 V3.5.1: NGN integrated IPTV subsystem Architecture*. Technical Specification.
- Fiedler, M., Kilkki, K., & Reichl, P. (2009). *From quality of service to quality of experience*. Dagstuhl Seminar Proceedings 09192.
- García, L. (2016). *Estudio de la QoE del usuario final cuando se utiliza el protocolo MPEG-DASH en el entorno de e-learning Polimedia*. Universidad Politécnica de Valencia, Gandia.
- Ge, C., & Wang, N. (2018). Real-time QoE estimation of DASH-based mobile video applications through edge computing. *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops*. Doi: 10.1109/INFCOMW.2018.8406935.
- Goyal, P. & Mikkilineni, R. (2009). *FCAPS in the business services fabric model*. Actas del 18º Taller Internacional sobre Tecnologías Habilitadoras (WETICE'09).
- Hoppe, C. & Uhl, T. (2018). *Video Streaming over IP using the DASH Technique*, Journal of Telecommunications & Information Technology.
- IETF. (1990). *Simple Network Management Protocol (SNMP)*. RFC1157.
- ISO. (2012). *ISO/IEC 23009-1:2012 Information technology — Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH)*. Technical Report.

- ISO. (2015). *ISO 9000:2015 Quality management systems — Fundamentals and vocabulary*. Technical Report.
- ISO. (2019). *ISO/IEC 23009-1:2019 Information technology — Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH)*. Technical Report.
- ISO. (2019). *ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems* Technical Report.
- ITU Academy. (2015). *QoS/QoE frameworks for converged services and applications*. Regional Workshop for Europe: New Issues in Quality of Service Measuring and Monitoring.
- ITU. (2020). *SG12: Performance, QoS and QoE*. Technical Report.
- ITU. (2013). *Y.1541: Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet*. Technical Report.
- ITU. (1994). *E. 800: Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability*. Technical Report.
- ITU. (2008). *P.910: Métodos subjetivos de evaluación de la calidad vídeo para aplicaciones multimedios*. Technical Report.
- ITU. (2008). *Vocabulary for performance and quality of service - Amendment 2: New definitions for inclusion in Recommendation ITU-T P.10/G.100*. Technical Report.
- Juniper Networks. (2015). *Quality of Service (QoS)*. Recuperado de https://www.juniper.net/documentation/en_US/learn-about/LA_QoS.pdf

- Khirman S., & Henriksen P. (2002). *Relationship between quality-of-service and quality-of-experience for public internet service*. PAM2002.
- Kim, H. & Choi, S. (2014). *QoE assessment model for multimedia streaming services using QoS parameters*. Multimedia Tools and Applications. 72. 10.1007/s11042-013-1507-8.
- Kim K., Shin, W., Min, D., Kim, H., Yoo, J., Lim, H., Lee, S., Jeong, Y. (2009). *Service Quality Model for IPTV Service: Identification of Key Features and Their Relationships*. International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice.
- Kitamura M., Murooka T., Teshima M., Hadama H., Takahara A. & Fujii T. (2009). *A Study on the Correlation between QoE of 4K Super High Definition Video Streamings and QoS of Network*. 18th International Conference on Computer Communications and Networks, San Francisco, USA.
- Klink, J., Paślawski, M., Pańkowski, P., & Uhl, T. (Septiembre, 2019). *Video Quality Assessment in the DASH Technique*. Conference: 2019 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM).
- Krishnamoorthi, V. (2018). *Efficient HTTP-based Adaptive Streaming of Linear and Interactive Videos*. Linköping University.
- Macía, M. (2016). *Desarrollo de una plataforma para la distribución de contenidos audiovisuales utilizando MPEG-DASH*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Maehara, Y. & Nunome, T. (Agosto, 2017). *Multidimensional QoE Assessment of a Simultaneous Transmission Method in Multi-view Video and Audio Transmission with MPEG-DASH*. 2017 IEEE International Conference on Computer and Information Technology.

- Markaki, O., Charilas, D., & Nikitopoulos, D. (Octubre, 2007). *Enhancing Quality of Experience in Next Generation Networks Through Network Selection Mechanisms*. Conferencia llevada a cabo en el 2007 IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Atenas, Grecia.
- Marvel Studios. (2014). *Captain America: The Winter Soldier*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=Ux_KLAydy-g
- Microsoft. (2020). *Microsoft Smooth Streaming*. Recuperado de <https://www.microsoft.com/silverlight/smoothstreaming/>
- Möller, S., & Raake, A. (2014). *Quality of Experience - Advanced Concepts, Applications and Methods*. Springer.
- Mok, R., Chan, E. & Chang, R. (Junio, 2011). Measuring the quality of experience of HTTP video streaming. *12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management*. Dublín, República de Irlanda.
- Mushtaq, M., Augustin, B. & Mellouk, A. (2012). *Empirical study based on machine learning approach to assess the QoS/QoE correlation*. 17th European Conference on Networks and Optical Communications, Vilanova i la Geltru, España.
- Norman, D., Miller, J., & Henderson, A. (Mayo, 1995) *What you see, some of what's in the future, and how we go about doing it*. Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, Denver, USA.
- OECD. (2020). *The COVID-19 crisis has placed an unprecedented demand on communication networks*. Recuperado de <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/keeping-the-internet-up-and-running-in-times-of-crisis-4017c4c9/#section-d1e74>

- Ortiz, D., Chanchí, G., Durán, D., Campo, W. & Arciniegas, J. (Septiembre, 2016). Coding multimedia content using DASH standard. *2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference*. Popayan, Colombia.
- Pine, J., & Gilmore, J. (1999). *The experience economy: work is theatre and every business a stage*. Journal of Revenue and Pricing Management.
- Reeves C, Bednar D. (1994). *Defining quality: Alternatives and Implications*. Academy of Management Review - Vol. 19, No. 3.
- Schwarz, H. Marpe, D. & Wiegand. T. (2007). *Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 17, no. 9, pp. 1103-1120.
- Seufert, M., Wassermann, S., & Casas, P. (2019). *Considering user behavior in the quality of experience cycle: Towards proactive QoE-aware traffic management*. IEEE Communications Letters, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Seufert, M., Egger, S., Slanina, M., Zinner, T., Hobfeld, T., & Tran-Gia, P. (2015). *A Survey on Quality of Experience of HTTP Adaptive Streaming*. IEEE Communication Surveys & tutorials, vol. 17, no. 1, First Quarter
- Sodagar, I. (2011). *The MPEG-DASH Standard for Multimedia Streaming Over the Internet*. IEEE Computer Society.
- Stockhammer, T. (Mayo, 2011). *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP—Design Principles and Standards*. The second annual ACM Conference on Multimedia Systems, New York, USA.
- TATA Consultancy Services. (2020). *WANem v2.2*. Recuperado de <http://wanem.sourceforge.net/>.

- TechSmith. (2020). *Camtasia Studio 8*. Recuperado de <https://www.techsmith.es/editor-video.html>
- Trestian, R., Sorin, L., & Fatih, M. (2018). *Seamless Multimedia Delivery within a Heterogeneous Wireless Networks Environment: ¿Are we there yet?* IEEE Communications Surveys & Tutorials PP(99):1-1.
- Wang Y. (2006). *Survey of objective video quality measurements*. Worcester Polytechnic Institute.
- Wang Z., Conrad A., Rahim H., & Simoncelli E. (2014). *Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity*. IEEE Transactions on Image Processing 13(4):600 – 612.
- Wang, Z., Lu, L., & Bovik, A. (2004). *Video Quality Assessment Based on Structural Distortion Measurement*. CiteSeer.
- Wu, D., Hou, Y., & Zhang, Y. (2000). *Transporting Real-time Video over the Internet: Challenges and Approaches*. ProcIEEE, vol. 88, no. 12.
- Zabrovskiy, A., Petrov, E., Kuzmin, E., & Timmerer, C. (2017). *Evaluation of the Performance of Adaptive HTTP Streaming Systems*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/1710.02459>
- Zegarra, D., Lopes, R., Costa, E., Issy, J., & Bressan, B. (2016). *Video Quality Metric for Streaming Service Using DASH Standard*. IEEE Transactions on Broadcasting.
- Zhao, T., Liu, Q., & Chen, C. (2017). *QoE in Video Transmission: A User Experience-Driven Strategy*. IEEE Communications Surveys & Tutorials PP (99):1-1.

GLOSARIO

VoD: sigla de la expresión en inglés Video on Demand, en español Video bajo Demanda.

MPEG-DASH: sigla de Motion Picture Experts Group - Dynamic Adaptive Streaming over HTTP, en español Grupo de Expertos en Imagen en Movimiento – Streaming Dinámico Adaptativo sobre HTTP.

IP: sigla de la expresión en inglés Internet Protocol, en español Protocolo de Internet.

QoE: sigla de la expresión en inglés Quality of Experience, en español Calidad de Experiencia.

RTSP: sigla de la expresión en inglés Real Time Streaming Protocol, en español Protocolo de Transmisión en Tiempo Real.

RTMP: sigla de la expresión en inglés Real-Time Messaging Protocol, en español Protocolo de Mensajería en Tiempo Real.

4G: Cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil.

Wi-Fi: Tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos entre sí o a Internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica.

E-learning: sigla de la expresión en inglés Electronic learning, en español Aprendizaje electrónico.

UIT: sigla de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

CDN: sigla de Content Delivery Network, en español red de distribución de contenidos.

H.264/MPEG-4: norma que define un códec de vídeo de alta compresión, desarrollada por la ITU-T y el Moving Picture Experts Group (*MPEG*).

NAT: sigla de Network Address Translation, en español Traducción de Direcciones de Red.

HTTP: sigla de Hypertext Transfer Protocol, en español Protocolo de Transferencia de Hipertexto.

HAS: sigla de HTTP Adaptative Streaming, en español Streaming Adaptativo sobre HTTP.

QoE: sigla de Quality of Experience, en español Calidad de experiencia.

QoS: sigla de Quality of Service, en español Calidad de servicio.

XML: sigla de eXtensible Markup Language, en español Lenguaje de Mercado Extensible.

PSNR: sigla de Peak signal-to-noise ratio, en español Proporción Máxima de Señal a Ruido.

MPQM: sigla de Moving Pictures Quality Metric, en español Métrica de Calidad de Imágenes en Movimiento.

VQM: sigla de Video Quality Metric, en español Métrica de calidad de video.

SSIM: sigla de Quality of Experience, en español Índice de Similitud Estructural.

DiffServ: sigla de Differentiated Services, en español Servicios Diferenciados.

IntServ: sigla de Integrated Services, en español Servicios Integrados.

ANEXOS

Anexo I: Matriz de consistencia

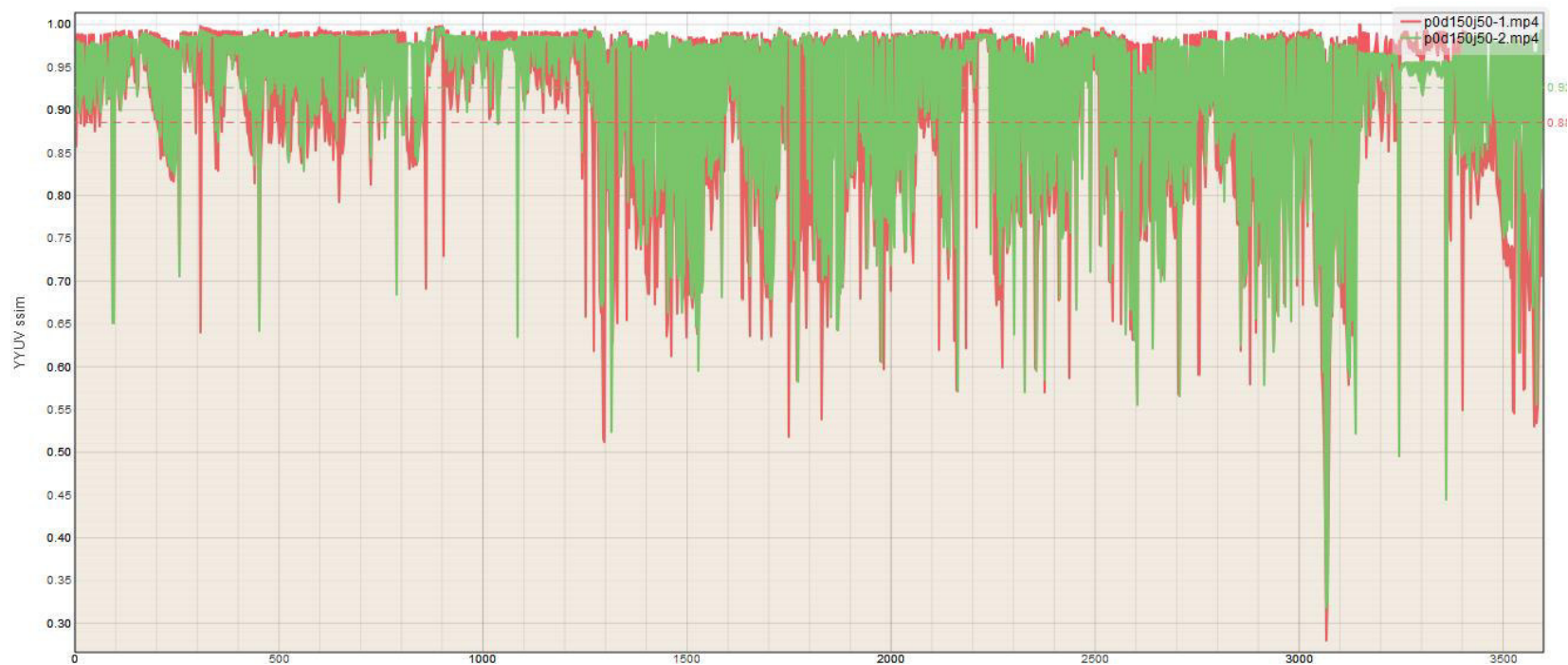
ESTIMACION DEL RENDIMIENTO DE LA CODIFICACION DASH EN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO STREAMING			
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo estimar el rendimiento de MPEG-DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Qué indicadores se deben considerar para estimar el desempeño de la codificación DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>?</p> <p>¿Cómo desarrollar un procedimiento que permita estimar el</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar el rendimiento de la codificación DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar los indicadores para estimar el desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>.</p> <p>Establecer un procedimiento para estimar el desempeño de la codificación</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La estimación del rendimiento de MPEG-DASH en la transmisión de video <i>streaming</i> se logra cuantificando los parámetros de calidad del video recibido.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>La codificación DASH en la transmisión de video <i>streaming</i> se puede valorar mediante indicadores de desempeño.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>X. Transmisión de video <i>streaming</i></p> <p>Variable dependiente</p> <p>Y. Estimación del rendimiento de la codificación DASH</p>

<p>desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>?</p> <p>¿Cómo validar el procedimiento para estimar el desempeño de la codificación DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>?</p>	<p>DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>.</p> <p>Validar los resultados obtenidos con el procedimiento desarrollado para evaluar el desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video <i>streaming</i>.</p>	<p>La estimación del desempeño de MPEG-DASH en la transmisión de video <i>streaming</i> se puede realizar mediante un procedimiento establecido.</p> <p>El procedimiento de estimación del desempeño de la codificación DASH se puede validar mediante el análisis y medición de indicadores.</p>	
---	--	---	--

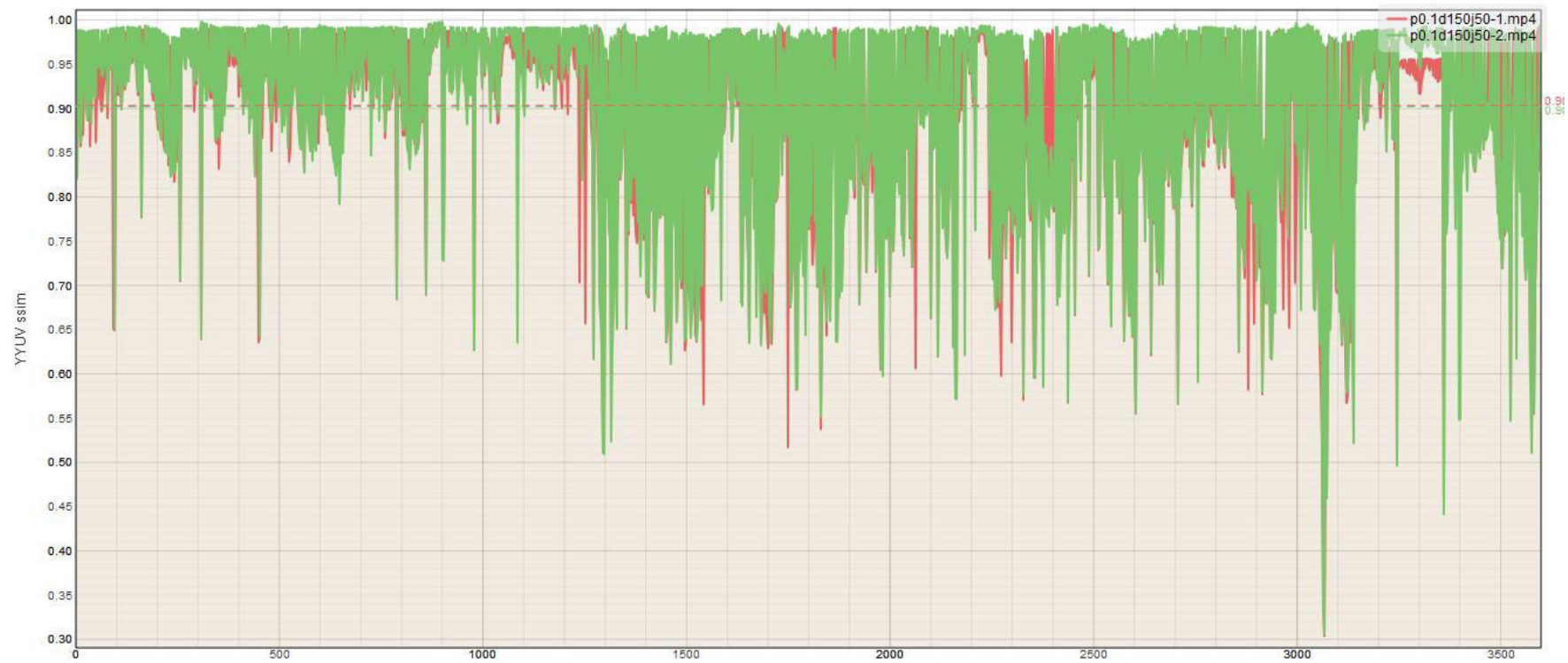
Anexo II: Muestra de las mediciones con la métrica SSIM

Ploteos ejecutados por la herramienta MSU VQMT, utilizando la métrica SSIM, que cuantifican la similitud del extracto de 2 min de la película “*Captain America: The Winter Soldier*” alojado en el servidor y el video recibido (3600 fotogramas) en el cliente.

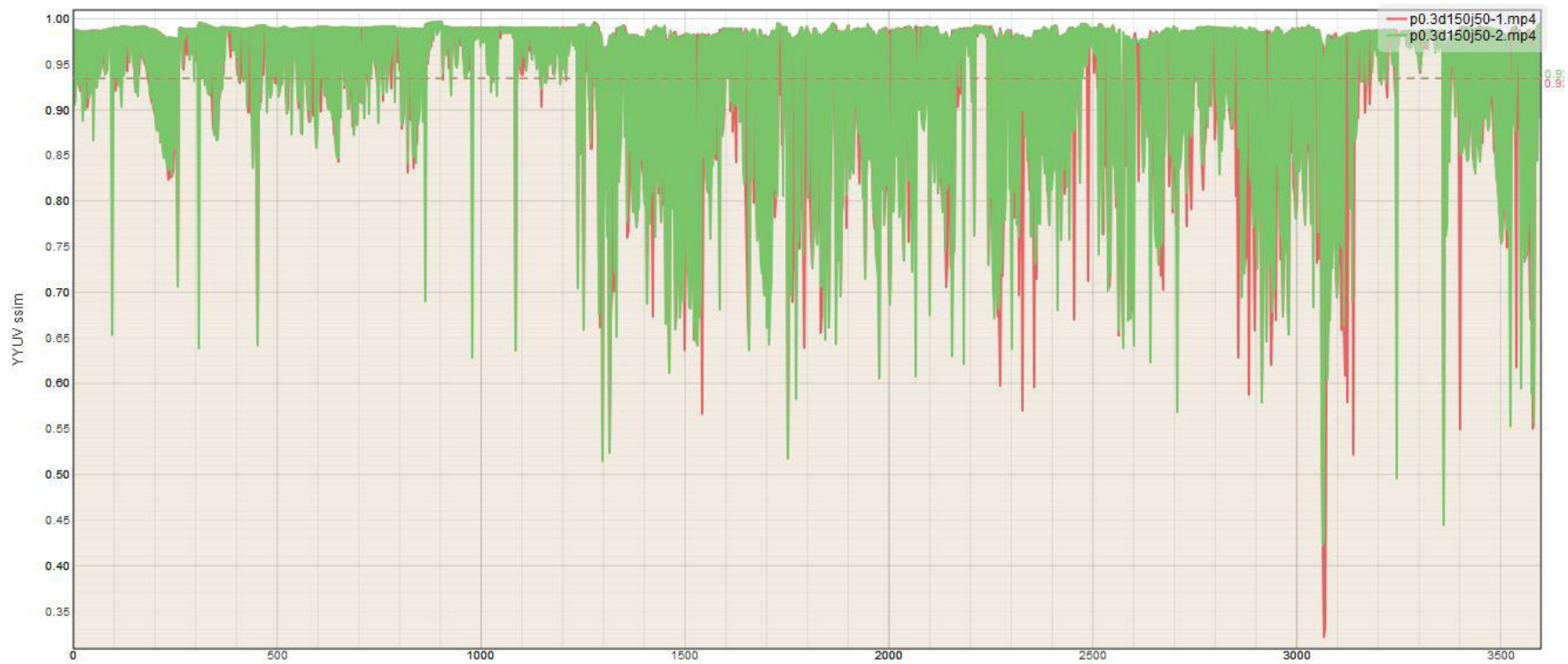
Pérdida de paquetes 0%, Latencia 150 ms, Fluctuación del retardo 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



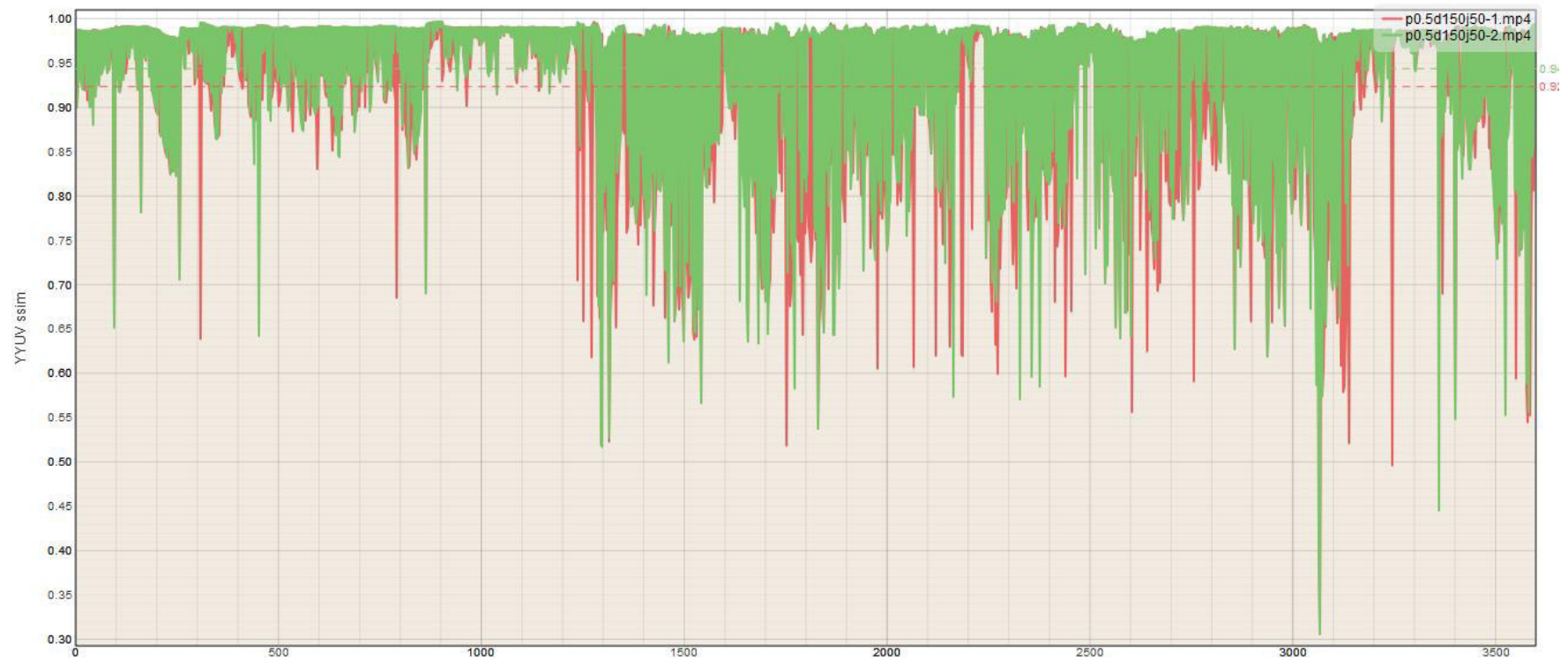
Pérdida de paquetes 0.1 %, Latencia 150 ms, Fluctuación del retardo 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



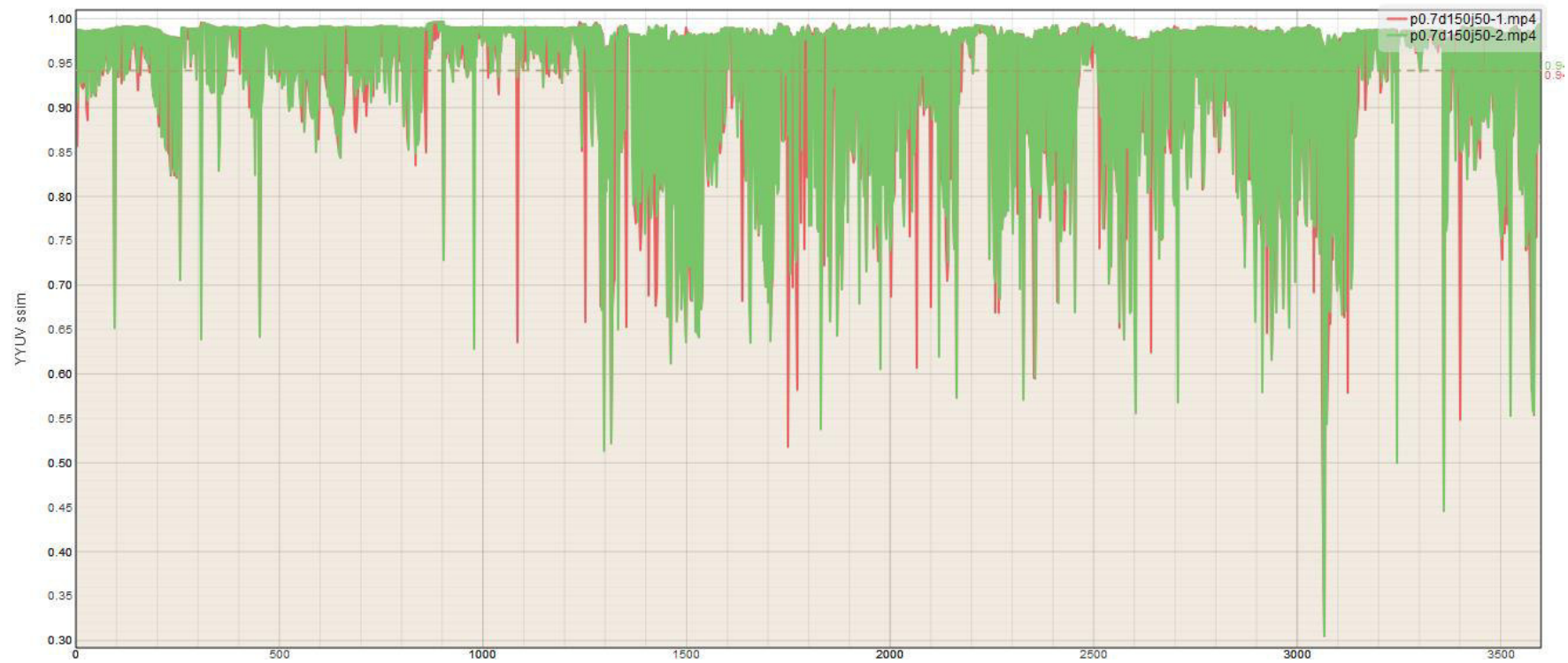
Pérdida de paquetes 0.3 %, Latencia 150 ms, Fluctuación del retardo 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



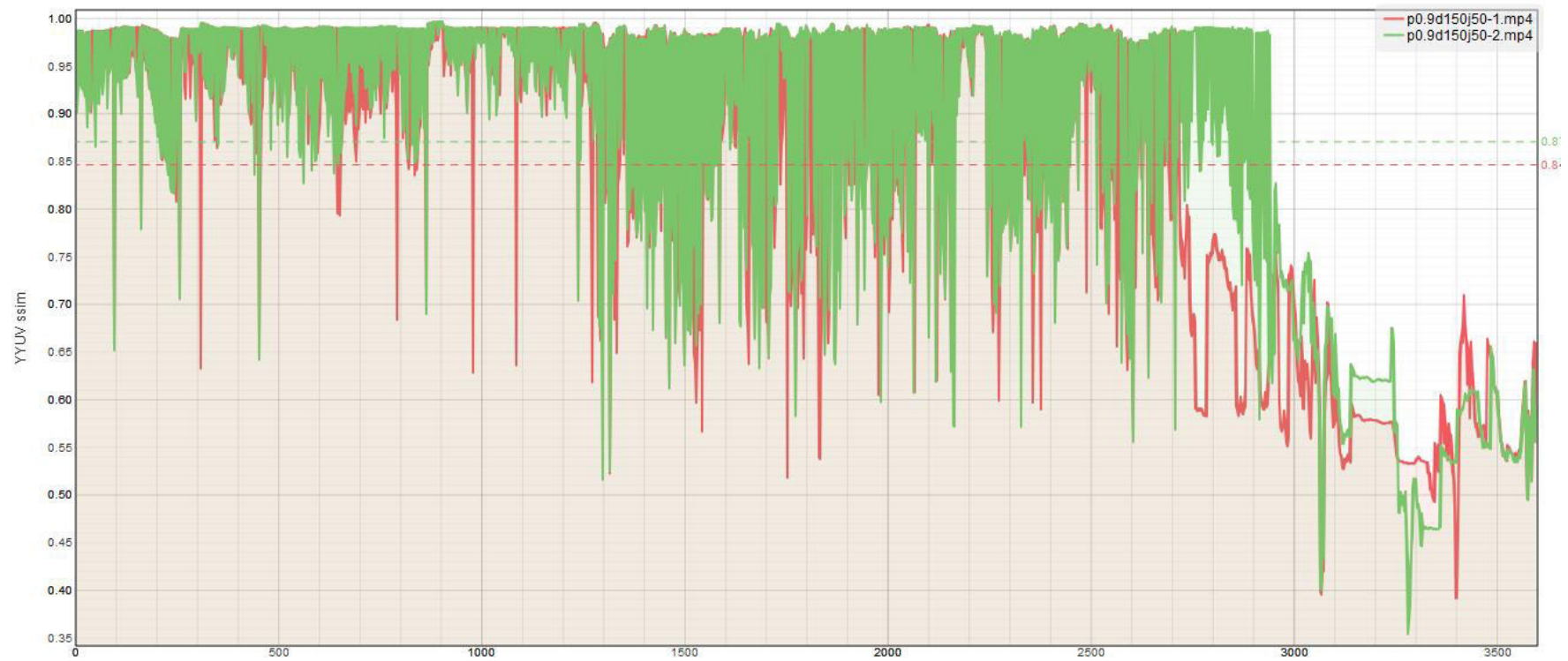
Pérdida de paquetes 0.5 %, Latencia 150 ms, Fluctuación del retardo 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



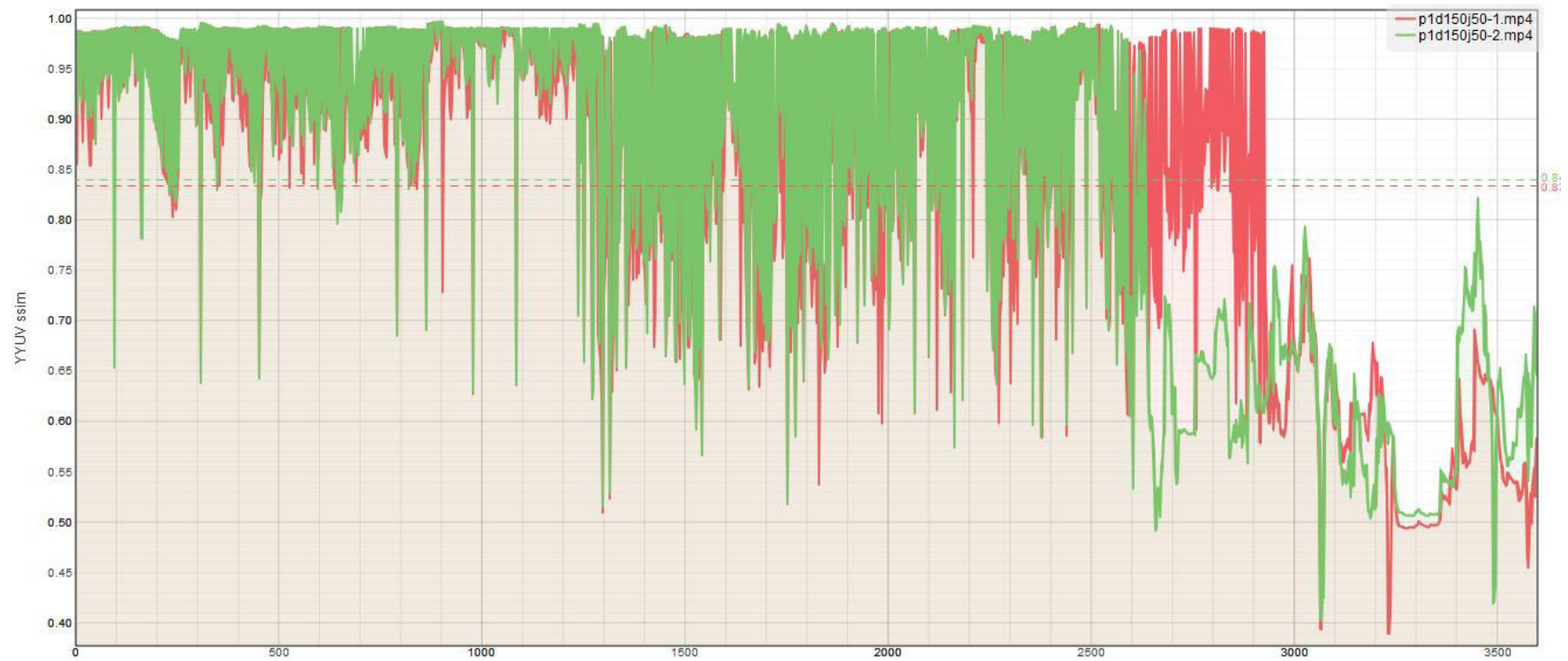
Pérdida de paquetes 0.7 %, Latencia 150 ms, Fluctuación del retardo 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



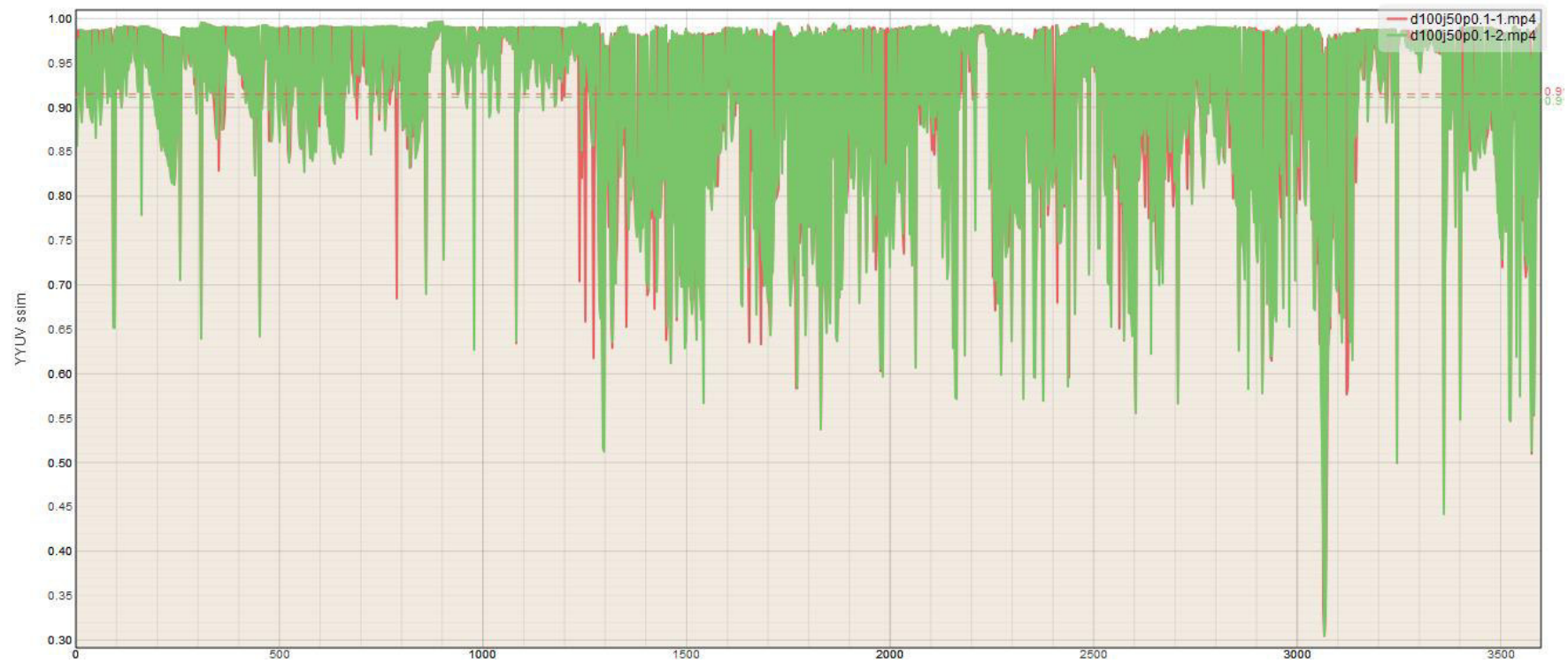
Pérdida de paquetes 0.9 %, Retardo 150 ms, Fluctuación 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



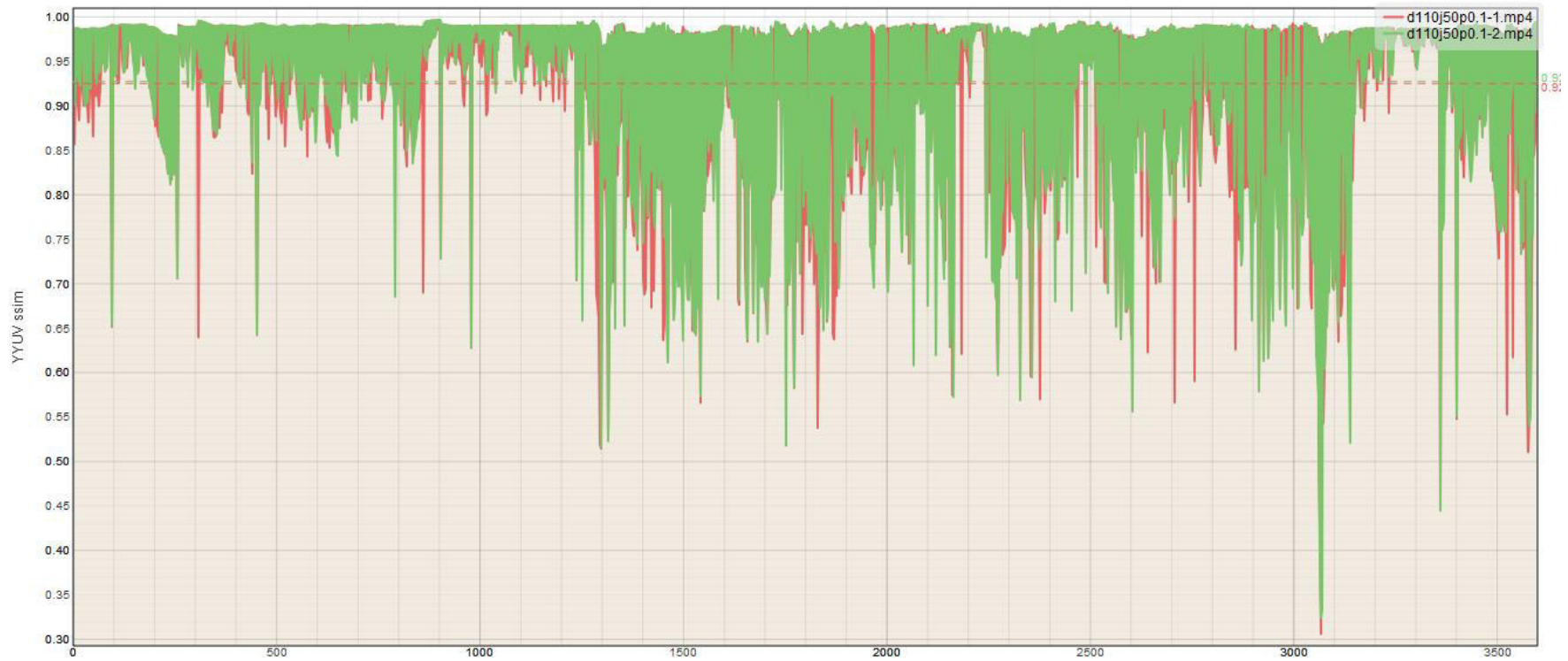
Pérdida de paquetes 1 %, Retardo 150 ms, Fluctuación 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



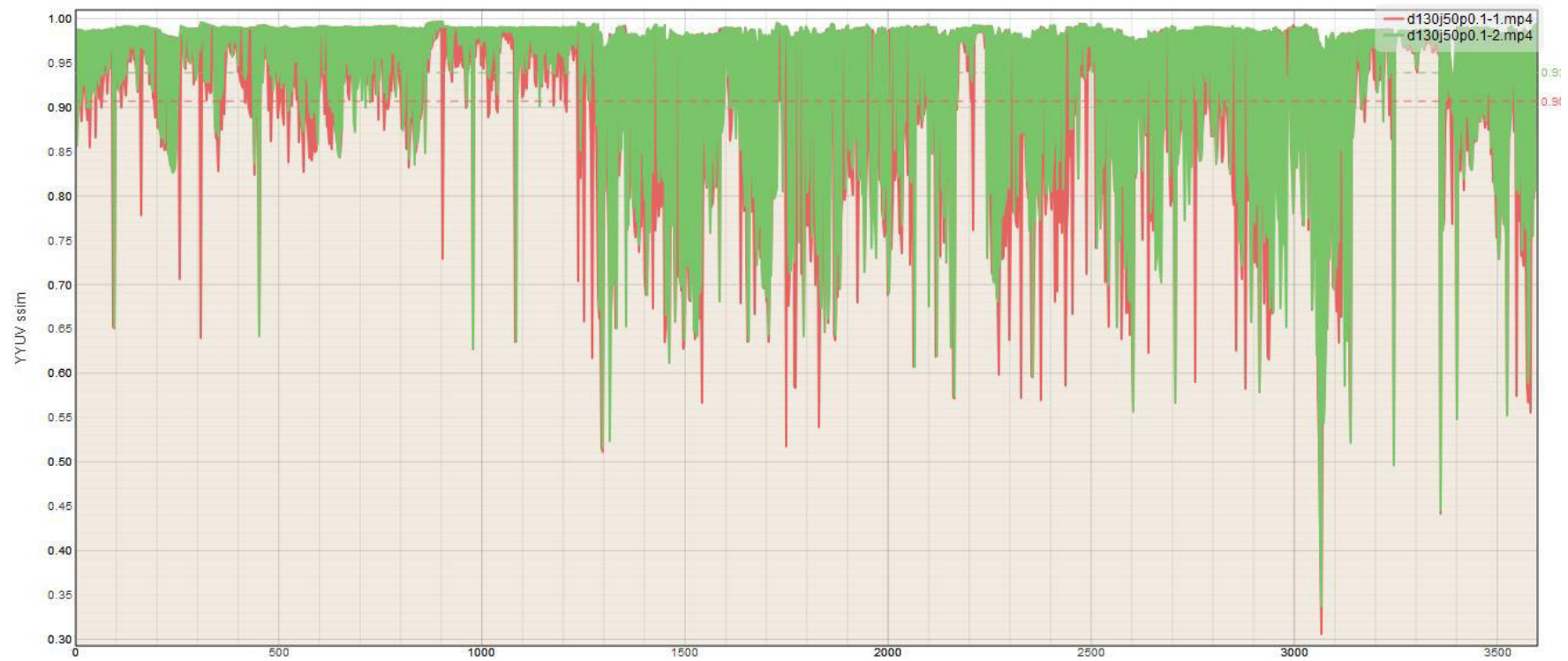
Pérdida de paquetes 0.1 %, **Retardo 100 ms**, Fluctuación 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



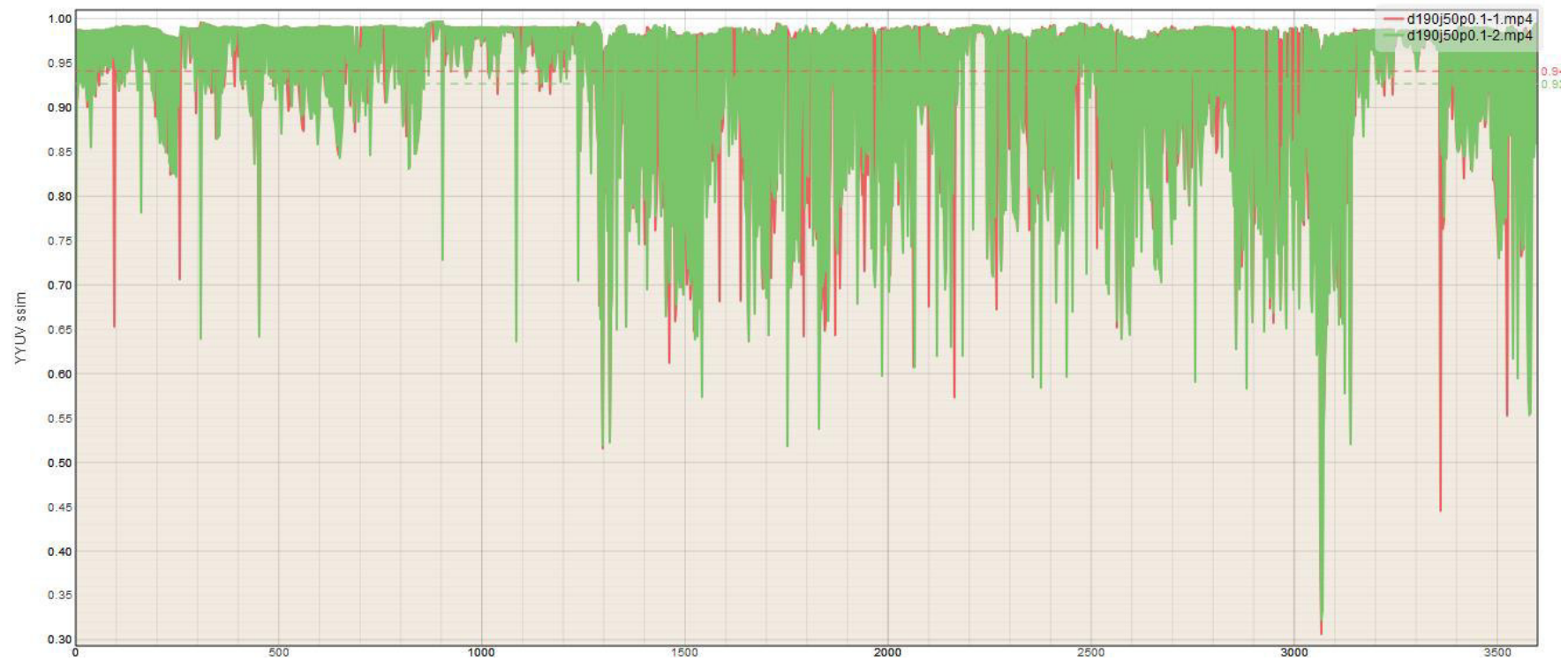
Pérdida de paquetes 0.1 %, Latencia 110 ms, Fluctuación 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



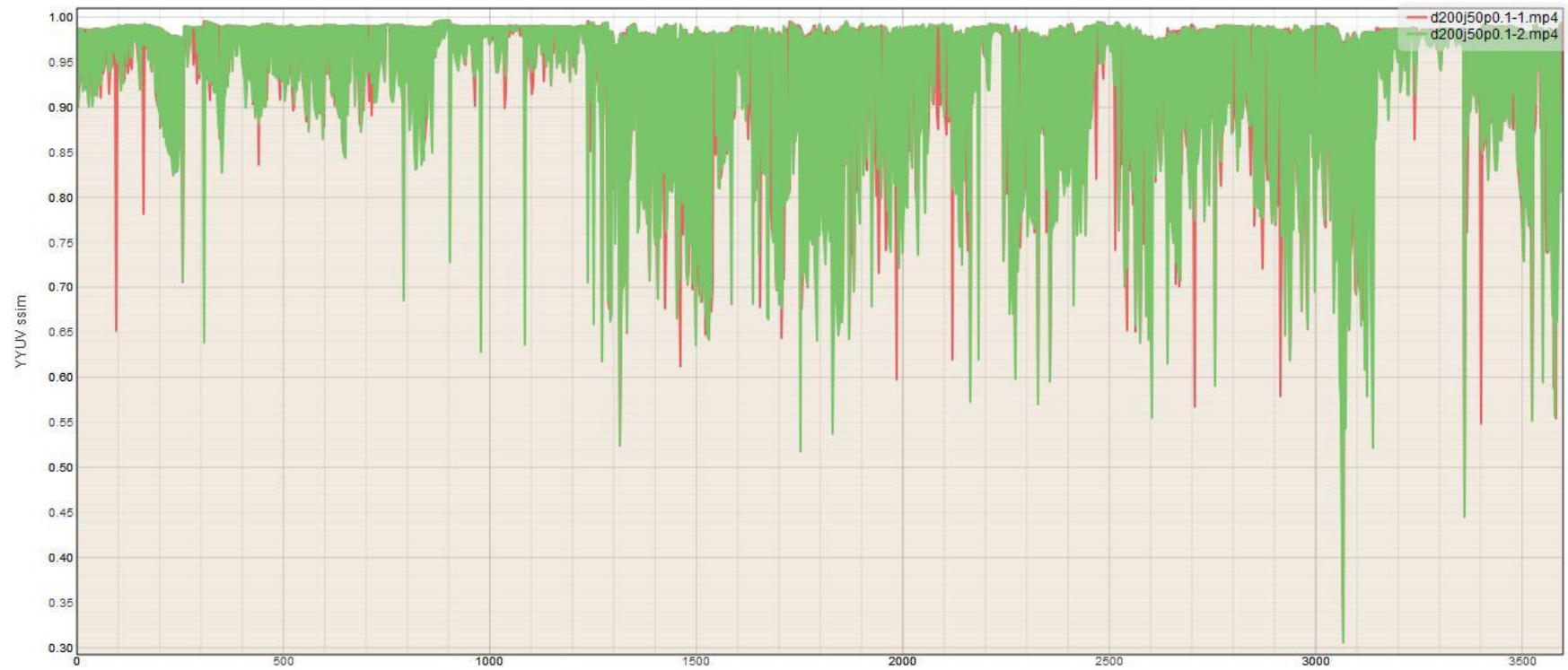
Pérdida de paquetes 0.1 %, **Retardo 130 ms**, Fluctuación 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



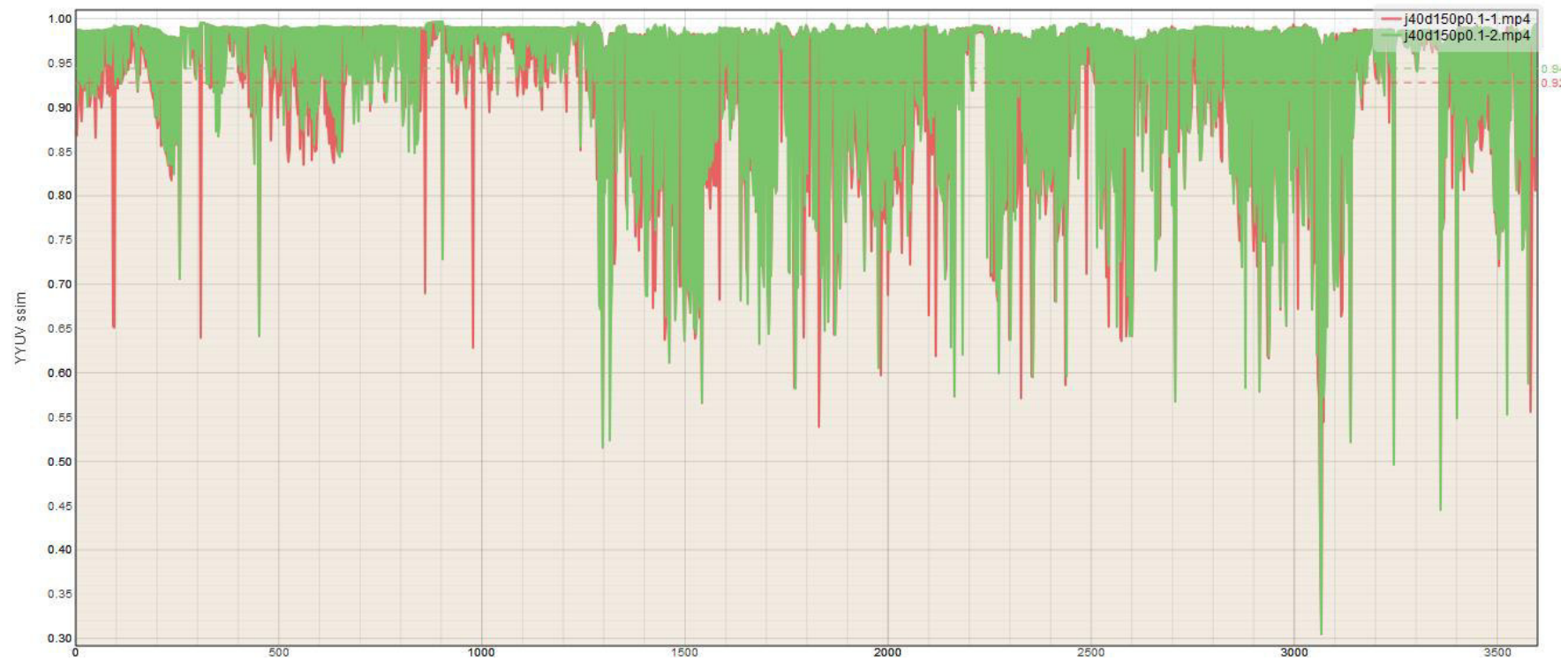
Pérdida de paquetes 0.1 %, **Retardo 190 ms**, Fluctuación 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



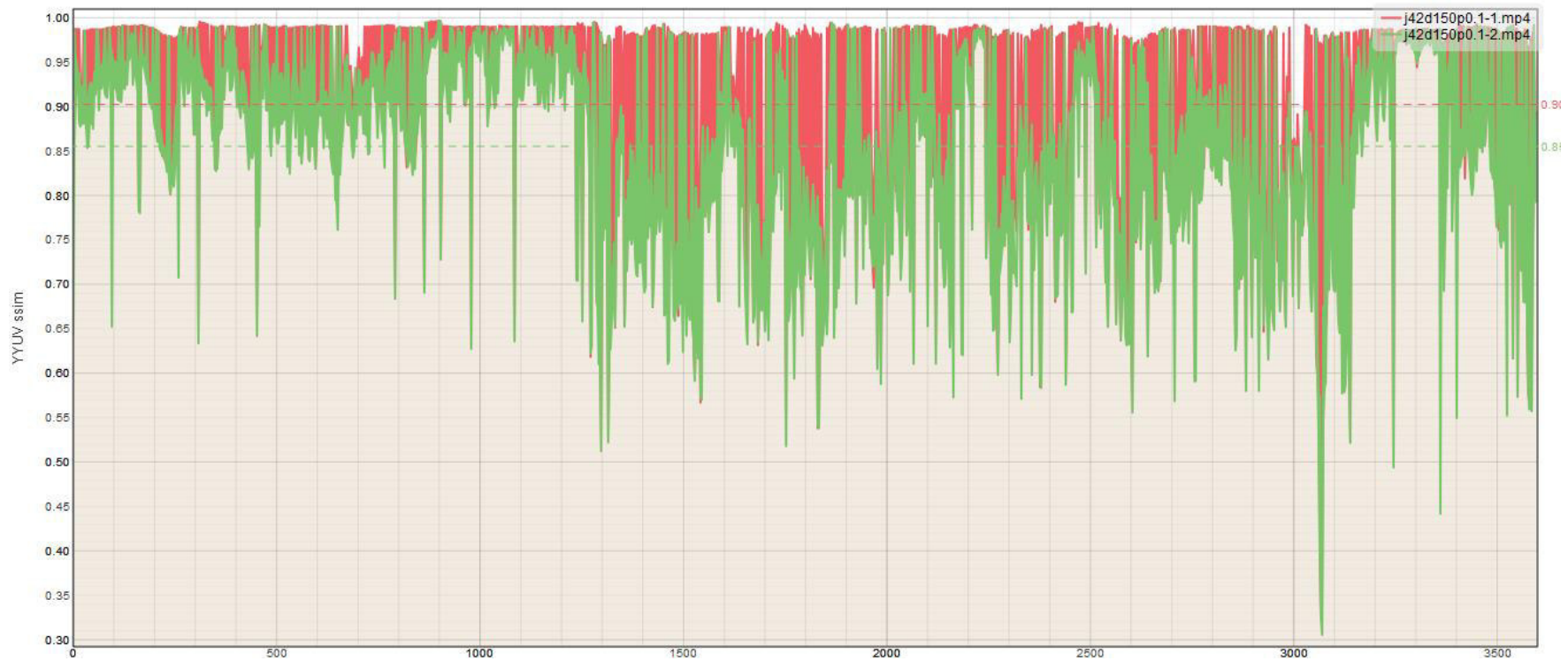
Pérdida de paquetes 0.1 %, **Retardo 200 ms**, Fluctuación 50 ms, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



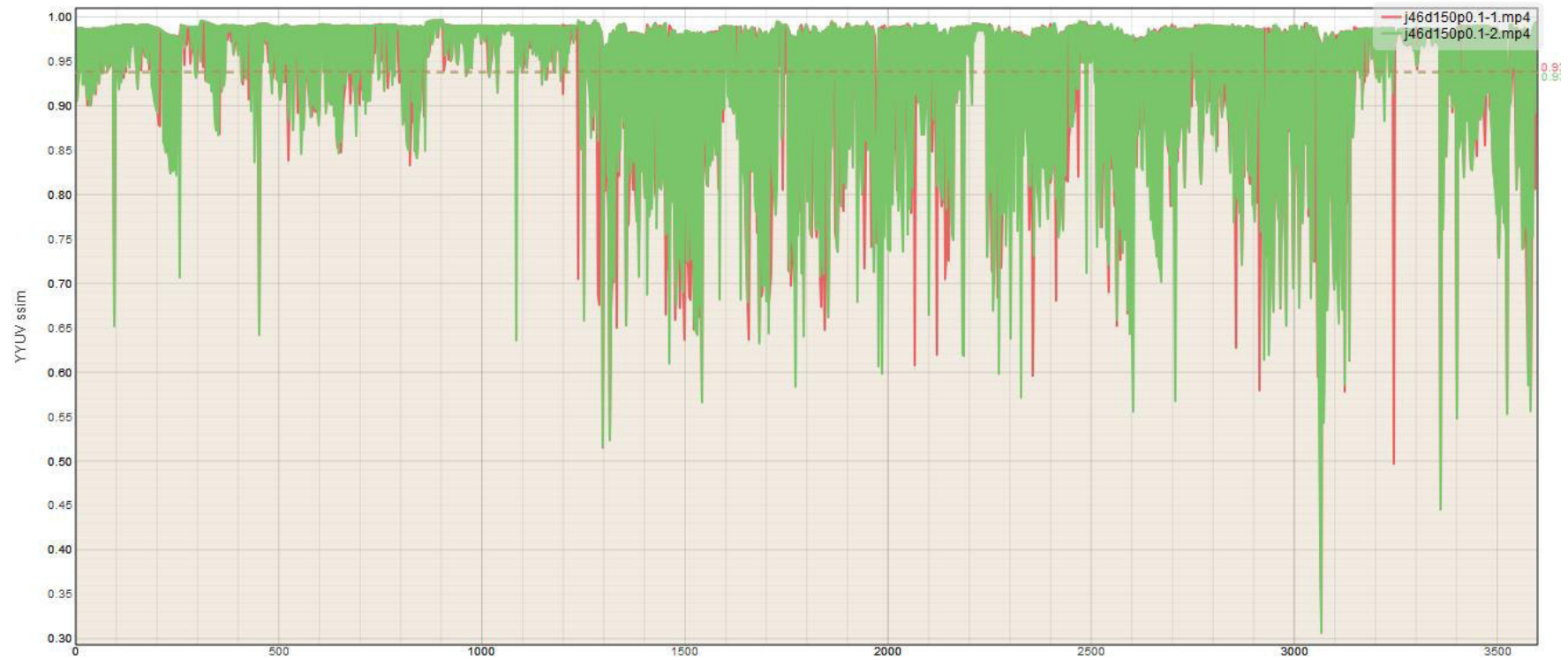
Pérdida de paquetes 0.1 %, Retardo 150 ms, **Fluctuación 40 ms**, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



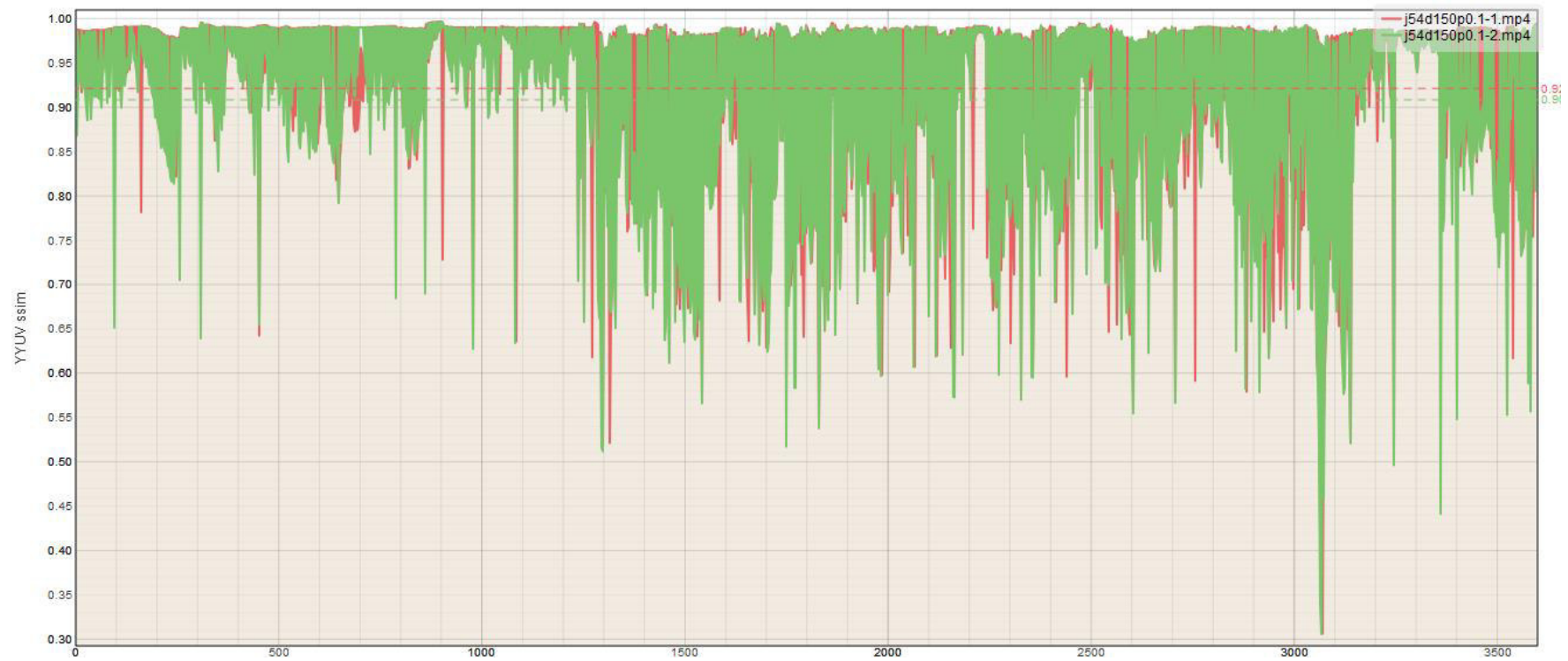
Pérdida de paquetes 0.1 %, Retardo 150 ms, **Fluctuación 42 ms**, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



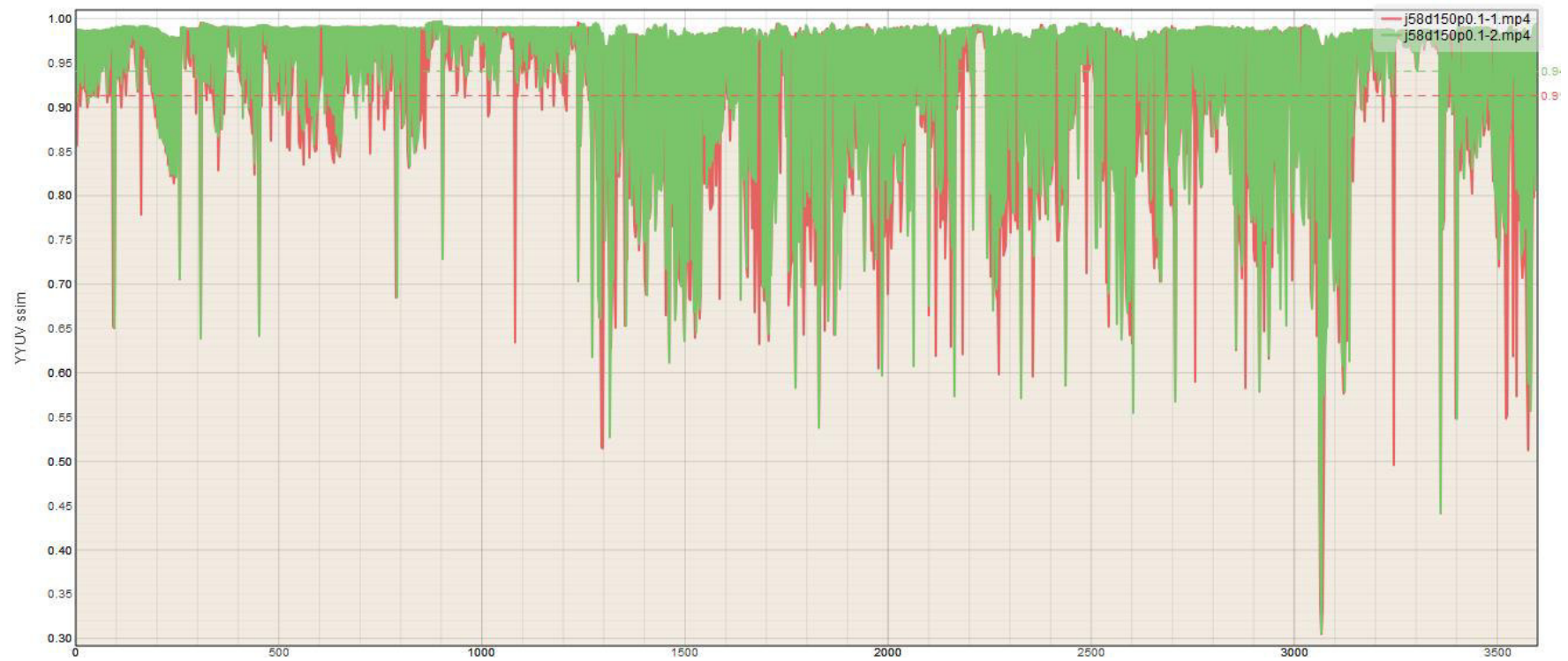
Pérdida de paquetes 0.1 %, Retardo 150 ms, **Fluctuación 46 ms**, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



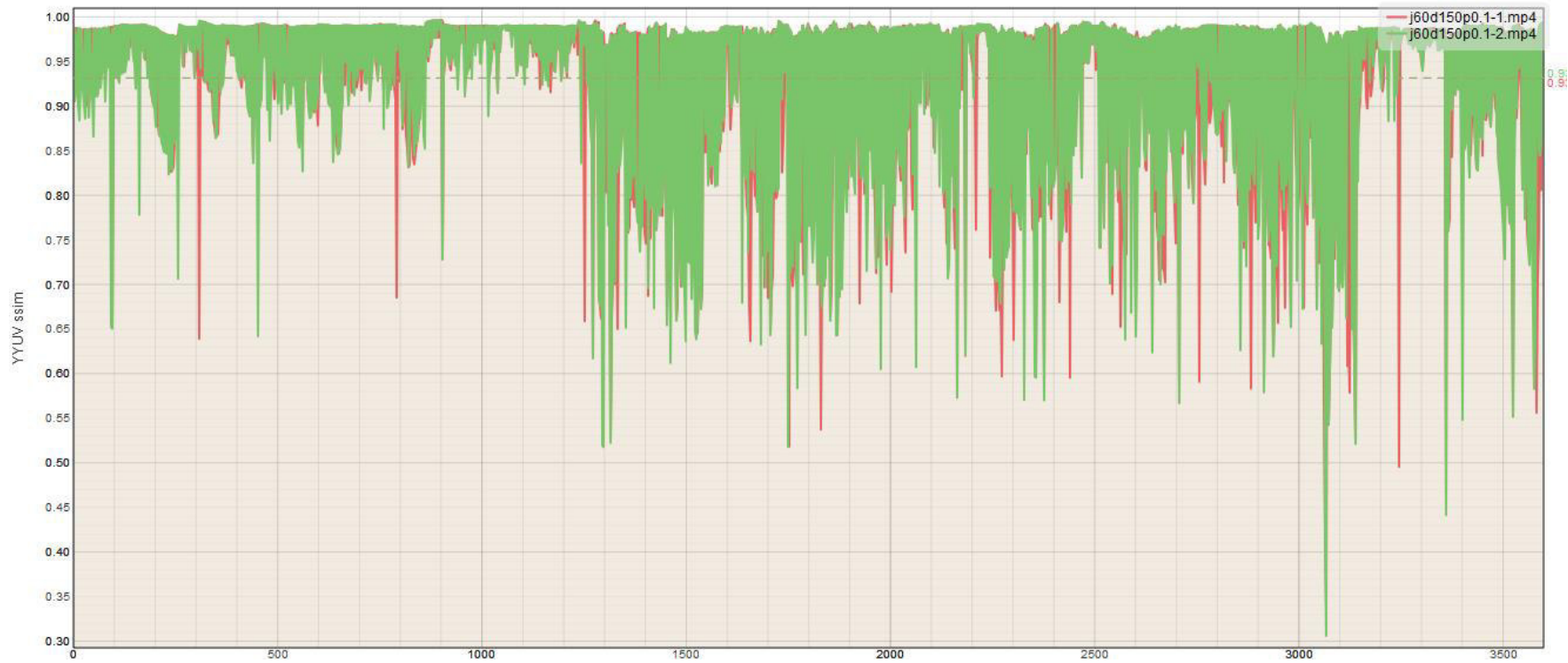
Pérdida de paquetes 0.1 %, Retardo 150 ms, **Fluctuación 54 ms**, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



Pérdida de paquetes 0.1 %, Retardo 150 ms, **Fluctuación 58 ms**, Ancho de Banda 1.5 Mbps.




Pérdida de paquetes 0.1 %, Retardo 150 ms, **Fluctuación 60 ms**, Ancho de Banda 1.5 Mbps.



Anexo III: Publicación

Referencia bibliográfica y resumen en la Base de Datos SCOPUS del artículo *A Study on Video Streaming Quality of DASH Scheme in Multimedia Services* de los autores Solano-Hurtado L.R. y Soto-Córdova M.M.



Search Sources Lists SciVal ? 🔔 MS

1 of 1

[Download](#) [Print](#) [E-mail](#) [Save to PDF](#) [Save to list](#) [More...](#)

2021 7th Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería, CONIITI 2021 - Conference Proceedings • 2021
• 7th Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería, CONIITI 2021 • Bogotá • 29 September 2021 through 1 October 2021 • Code 175275

Document type
Conference Paper

Source type
Conference Proceedings

ISBN
978-166540221-7

DOI
10.1109/CONIITI53815.2021.9619720

[View more](#)

A Study on Video Streaming Quality of DASH Scheme in Multimedia Services

Solano-Hurtado L.R.^a [✉](#), Soto-Cordova M.M.^b [✉](#)

[Save all to author list](#)

^a Universidad Nacional Mayor San Marcos, Faculty of Electronic and Electrical Engineering, Lima, Peru
^b E-Health Research Center, Universidad de Ciencias y Humanidades, Lima, Peru

[Full text options](#) [Export](#)

Abstract

Author keywords

Indexed keywords

SciVal Topics

Abstract

In data communication networks and the Internet, there is a growing need for more transmission resources due to the massive and increasing consumption of video transmission services. An alternative to reduce this requirement is the application of video coding such as MPEG-DASH. In this study, an evaluation of the performance of the DASH mechanism over streaming video is performed. For this, the structural similarity index is used, a WAN distribution scenario is implemented through the WANem platform and the procedure is validated with a quality of experience (QoE) evaluation model. The results obtained show a high efficiency of DASH coding in video transmission. © 2021 IEEE.

Author keywords

Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH); Quality of experience (QoE); Quality of service (QoS); video coding

Indexed keywords

SciVal Topics

Cited by 0 documents

Inform me when this document is cited in Scopus:

[Set citation alert >](#)

Related documents

Quality of experience of commercially deployed adaptive media players
Timmerer, C., Zabrovskiy, A., Kuzmin, E.
(2018) *Conference of Open Innovation Association, FRUCT*

Dynamic Adaptive Bit-Rate Selection Algorithm Based on DASH Technology
Li, T., Ge, Z., Zeng, J.
(2019) *Communications in Computer and Information Science*

Automated Objective and Subjective Evaluation of HTTP Adaptive Streaming Systems
Timmerer, C., Zabrovskiy, A., Begen, A.
(2018) *Proceedings - IEEE 1st Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval, MIPR 2018*

[View all related documents based on references](#)

Find more related documents in Scopus based on:

[Authors >](#) [Keywords >](#)