

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Máster en Postproducción Digital



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



"Estudio de la variación de QoE en Televisión IP cuando varían los parámetros de QoS"

Tipología: **Trabajo de investigación**

TRABAJO FINAL DE MASTER

Autor: **José Miguel Jiménez Herranz**

Tutor: **Jaime Lloret Mauri**

GANDIA, 2014

RESUMEN

Este trabajo presenta diferentes aportaciones. Primero se describe el proceso de codificación de vídeo y cuáles son sus principales degradaciones. Se define la Calidad de Vídeo y los métodos que se emplean para evaluarla, es decir, la Calidad de Servicio (QoS) y la Calidad de Experiencia (QoE), así como los parámetros que les afectan y sirven para estimarlas. Se crea una topología compuesta por equipos y dispositivos de red, que fueron configurados apropiadamente para realizar pruebas en un entorno controlado. Además se instala y configura todo el software necesario para la realización de dichas pruebas. Se genera un vídeo de referencia que ha sido transmitido en cinco casos de estudio, con características diferentes, para observar el resultado en su recepción. Del estudio de los parámetros de red, se deduce que el principal problema que afecta a la correcta recepción es la limitación en el ancho de banda disponible. La calidad de los vídeos recibidos fue evaluada mediante la escala Medium Opinion Score (MOS). Por último, se propone un sistema que incluye un protocolo de comunicación y un algoritmo de funcionamiento, para la mejora de la QoE de los clientes que se conectan a un operador que proporciona servicio de IPTV.

Palabras Clave

IPTV, Calidad de Vídeo, QoS, QoE, Parámetros de red.

ABSTRACT

This dissertation presents several contributions. First, it is described the video encoding process and what are its main degradations. We have defined the Video Quality and the methods used to evaluate it, that is, the Quality of Service (QoS) and the Quality of Experience (QoE) with the parameters that affect them and are used to estimate them. We have created a topology composed by computer equipment and network devices that have been configured properly to perform tests in a controlled environment. Moreover, we have installed and configured all necessary software for conducting such tests. A reference video has been transmitted in five study cases, with different features, to see the generated result at the reception side. From the study of the network parameters, it is deduced that the main problem affecting the proper receipt is the limitation of the available bandwidth. The received video quality was assessed by using the Medium Opinion Score (MOS) scale. Finally, it is proposed a system including a communication protocol and an operating algorithm for improving the QoE of clients that provides an operator connecting IPTV service.

Keywords

IPTV, Video Quality, QoS, QoE, Network parameters.

AGRADECIMIENTOS

A mi director del trabajo Dr. D. Jaime Lloret Mauri por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa del mismo, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido, gracias al cual he llegado a alcanzar los objetivos.

A todos mis compañeros de laboratorio, Alex, Diana, Isabel, Lorena y Sandra por su apoyo y comprensión en todo momento, de forma especial cuando se presentaron dificultades.

A D. Juan Ramón Díaz Santos mi amigo, compañero, hermano y no sabría decir cuántas cosas más que pudieran describir con plenitud mi reconocimiento y cariño hacia su persona, por su apoyo a lo largo de tantos años de larga y dura travesía.

Por último, a Teresa mi esposa por la paciencia, el cariño, el apoyo y la ayuda que siempre ha mostrado en momentos de adversidad, y que me ha permitido superar los retos que se han presentado.

Índice de contenidos

Índice de figuras	6
Índice de tablas.....	8
Capítulo 1: Introducción.	9
1.1.- Introducción.	9
1.2.- Objetivos.....	11
1.3.- Precedentes del proyecto.	11
1.4.- Estructura del proyecto.	12
Capítulo 2: Estado del arte.....	13
2.1.- Compresión/Codificación de Vídeo	13
2.1.1.- Estándares de compresión de vídeo	14
2.1.1.1.- Familia MPEG	14
2.1.1.2.- Serie UIT H-200	15
2.1.1.2.- Otros códecs.....	15
2.1.2.- Degradaciones en el proceso de compresión de vídeo	16
2.2.- Calidad de Vídeo	22
2.2.1.- MOS (Mean Option Score).....	24
2.2.2.- VQM (Video Quality Metric).....	26
2.2.3.- Otros sistemas propuestos.....	28
2.3.- QoS	28
2.3.1.- Parámetros que Afectan al QoS.....	29
2.3.1.1.- Ancho de banda	29
2.3.1.2.- Latencia	30
2.3.1.3.- Jitter	30
2.3.1.1.- Pérdida de paquetes	31
2.4.- QoE	31
2.4.1.- Parámetros que afectan al QoE	33
2.4.2.- Parámetros para Estimar QoE	35
Capítulo 3: Definición y montaje del Banco de Pruebas.....	36
3.1.- Infraestructura de red para transmisión de IPTV	36
3.1.1.- Topología física.....	36
3.1.2.- Topología lógica.....	37
3.2.- Herramientas software utilizadas	38
3.2.1.- FFmpeg	38
3.2.2.- Wireshark.....	40
3.2.3.- Herramienta de inyección de tráfico (Testtool)	41
3.2.4.- VLC.....	42
Capítulo 4: Desarrollo	43

4.1.- Instalación de los programas utilizados.....	43
4.1.1.- Configuración de servidores y clientes VLC	43
4.1.2.- Configuración de servidor y cliente en la herramienta de inyección de tráfico.....	48
4.1.3.- Configuración de Whireshark	49
4.2.- Implementación de la topología base.....	51
4.2.1.- Configuración general de Router.....	51
4.2.2.- Configuración general de Switch.....	52
4.2.3.- Configuración de Punto de Acceso	53
4.3.- Selección y codificación del vídeo de referencia	54
4.4.- Transmisión del vídeo a través de diferentes casos.....	55
4.4.1.- Caso 1. Transmisión de la línea base cableada e inalámbrica	55
4.4.2.- Caso 2. Modificación de la señal de reloj en enlaces WAN de routers	56
4.4.3.- Caso 3. Inyección de tráfico con diferentes anchos de banda y transmisión y recepción cableada	57
4.4.4.- Caso 4. Transmisión al cliente inalámbrica modificando la potencia del punto de acceso y del cliente VLC	57
4.4.5.- Caso 5. Inyección de tráfico con diferentes anchos de banda a través de dos clientes inalámbricos variando la potencia del punto de acceso	58
Capítulo 5: Resultado de las pruebas	60
5.1.- Resultados obtenidos en Caso 1	60
5.2.- Resultados obtenidos en Caso 2	60
5.3.- Resultados obtenidos en Caso 3	61
5.4.- Resultados obtenidos en Caso 4	63
5.5.- Resultados obtenidos en Caso 5	63
Capítulo 6: Evaluación subjetiva de la calidad de vídeo mediante MOS	66
6.1.- Caracterización de los evaluadores	66
6.2.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 1	67
6.3.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 2	67
6.4.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 3	68
6.5.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 4	69
6.6.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 5	69
Capítulo 7: Propuesta de sistema para la mejora de la QoE del usuario final	72
Capítulo 8: Conclusiones	75
8.1.- Cumplimiento del objetivo	75
8.2.- Conclusiones sobre el trabajo.....	75
8.3.- Problemas encontrados y cómo se han solucionado	76
8.4.- Aportaciones personales.....	77
8.5.- Futuras líneas de trabajo	78
Bibliografía.....	79

Índice de figuras

Figura 1. Redes propias vs Red convergente	9
Figura 2. Crecimiento de servicios en el periodo 2013 – 2018 [5]	10
Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de codificación - decodificación	13
Figura 4. Efecto bloques	17
Figura 5. Bloques base de la transformada DCT bidimensional [32]	18
Figura 6. Efecto desenfoque o falta de definición	18
Figura 7. Efecto desplazamiento de color	19
Figura 8. Efecto ringing	20
Figura 9. Efecto bordes falsos [32]	21
Figura 10. Efecto errores de crominancia	22
Figura 11. Plantilla de calificación para evaluación DSCQS	26
Figura 12. Imágenes simultaneas para calificación de evaluación SDSCE	26
Figura 13. Diagrama de bloques de actuación de metodologías FR, RR y NR	27
Figura 14. Ancho de banda	29
Figura 15. Latencia	30
Figura 16. Topología de una red IPTV	32
Figura 17. Clasificación de los factores que afectan a QoE	33
Figura 18. Topología física implementada	37
Figura 19. Topología lógica implementada	37
Figura 20. Prompt de FFmpeg	39
Figura 21. Interfaz gráfica de Whireshark	41
Figura 22. Interface gráfica de la herramienta de inyección de tráfico (Testtool)	41
Figura 23. Reproductor multimedia VLC	42
Figura 24. Selección de emisión en VLC	44
Figura 25. Selección de archivo que se va a emitir en el servidor VLC	44
Figura 26. Selección de la fuente que se va a emitir en el servidor VLC	44
Figura 27. Selección del protocolo utilizado en la transmisión en el servidor VLC	45
Figura 28. Configuración IP equipo destino y puerto RTP/TS en servidor VLC	45
Figura 29. Desactivación de opciones de transcodificación en el servidor VLC	45
Figura 30. Activación de la emisión en el servidor VLC	46
Figura 31. Selección de protocolo y puerto de recepción de vídeo en el cliente VLC ..	46
Figura 32. Selección de la fuente que se va a recibir en el cliente VLC	47
Figura 33. Selección para que muestre en local el vídeo recibido en el cliente VLC ...	47
Figura 34. Selección del almacenamiento del vídeo recibido en el cliente VLC	47
Figura 35. Desactivación de opciones de transcodificación en el cliente VLC	48

Figura 36. Activación de la recepción y almacenamiento en el cliente VLC	48
Figura 37. Selección del modo de funcionamiento en Testool	48
Figura 38. Configuración del servidor en Testool	49
Figura 39. Configuración del cliente en Testool	49
Figura 40. Selección de interface y activación de captura en Whireshark	50
Figura 41. Selección de un paquete de la secuencia de vídeo.....	50
Figura 42. Selección del protocolo de transporte RTP	51
Figura 43. Gráfica de Whireshark del vídeo recibido.....	51
Figura 44. Sitio web de Big Buck Bunny	54
Figura 45. Prompt de FFmpeg para codificación del vídeo de referencia.....	54
Figura 46. Topología física para el Caso 1.....	55
Figura 47. Puntos de variación del clock rate en la topología física para el Caso 2	57
Figura 48. Inyección de tráfico en la topología física para el Caso 3.....	57
Figura 49. Variación de la potencia en el AP y cliente VLC para el Caso 4.....	58
Figura 50. Inyección de tráfico y variación de potencia en AP para Caso 5	59
Figura 51. Captura Whireshark del vídeo de referencia	60
Figura 52. Captura Whireshark del caso 1	60
Figura 53. Gráfica de recepción cableada a 2 Mbps	61
Figura 54. Gráfica de recepción inalámbrica a 2 Mbps	61
Figura 55. Gráfica de recepción con inyección de tráfico a 3 Mbps.....	62
Figura 56. Gráfica de recepción con inyección de tráfico a 4 Mbps.....	62
Figura 57. Gráfica de recepción con inyección de tráfico a 5 Mbps.....	62
Figura 58. Gráfica de recepción con AP a 30 mW e inyección de tráfico a 12 Mbps... 64	
Figura 59. Gráfica de recepción con AP a 10 mW e inyección de tráfico a 12 Mbps... 64	
Figura 60. Gráfica de recepción con AP a 5mW e inyección de tráfico a 10 Mbps..... 64	
Figura 61. Gráfica de recepción con AP a 5mW e inyección de tráfico a 12 Mbps..... 65	
Figura 62. Gráfica de recepción con AP a 1mW e inyección de tráfico a 10 Mbps..... 65	
Figura 63. Gráfica de recepción con AP a 1mW e inyección de tráfico a 12Mbps..... 65	
Figura 64. Hoja de evaluación de calidad de vídeo MOS	66
Figura 65. Evaluación del vídeo recibido en el Caso 2.....	68
Figura 66. Evaluación del vídeo recibido en el Caso 3.....	69
Figura 67. Evaluación del vídeo recibido en el Caso 5.....	70
Figura 68. Protocolo de comunicación para correcta selección del canal.....	73
Figura 69. Algoritmo de asociación del cliente al canal adecuado.....	73

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de escala MOS para DSIS	25
Tabla 2. Topología lógica implementada.....	38
Tabla 3. Variación de clock rate en interfaces serial	56
Tabla 4. Caracterización de los evaluadores	67
Tabla 5. Estadísticas descriptivas del Caso 2	68
Tabla 6. Estadísticas descriptivas del Caso 3	69
Tabla 7. Estadísticas descriptivas para AP a 30 mW en Caso 5	71
Tabla 8. Estadísticas descriptivas para AP a 10 mW en Caso 5	71
Tabla 9. Estadísticas descriptivas para AP a 5 mW en Caso 5	71
Tabla 10. Estadísticas descriptivas para AP a 1 mW en Caso 5	71

Capítulo 1: Introducción.

1.1.- Introducción.

En los últimos años la tecnología en las redes IP posibilita la convergencia de la red de datos, con la red de voz y la red de distribución de vídeo. Esta convergencia permite la transmisión de diferentes servicios que en origen disponían de redes propias mediante una única red física. Entre los servicios más importantes que la pueden utilizar podemos destacar IPTV (Televisión sobre IP), VoIP (Voz sobre IP), páginas web, correo electrónico, mensajería electrónica y muchos otros tipos de datos. La convergencia permite la reducción de costes y mantenimiento.

En el mundo de las telecomunicaciones se conoce como servicios Triple Play al empaquetamiento de servicios de datos, vídeo y voz en una única red física. La figura 1 muestra por un lado las redes propias e independientes para cada uno de los servicios, y por otro lado una red convergente capaz de transmitir todos los servicios sobre la misma infraestructura de red.

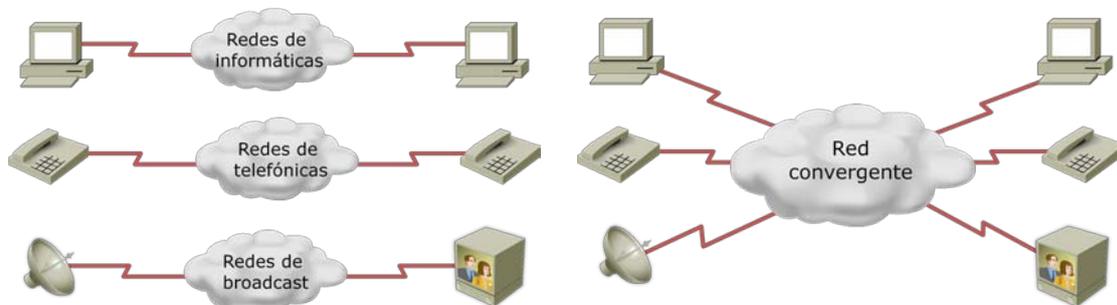


Figura 1. Redes propias vs Red convergente

"Los servicios triple play requieren una infraestructura IP controlada estrictamente y capaz de soportar rigurosos requisitos de QoS (calidad de servicio), combinados con una entrega de servicios de gran fiabilidad, escalables y continuos de voz, vídeo y datos" [1].

Según UIT-T la IPTV [2] son *"servicios multimedia tales como televisión / vídeo / audio / texto / gráficas / datos entregados sobre redes basadas en IP, gestionadas para soportar el nivel requerido de calidad de servicio (QoS) / calidad de experiencia (QoE), seguridad, interactividad y confiabilidad"*.

El Open IPTV Fórum define IPTV [3] de la siguiente forma, *"IPTV es sinónimo de Internet Protocol Televisión, donde los servicios de televisión se difunden utilizando el Protocolo de Internet (IP) a través de una red de banda ancha gestionada"*.

A lo largo de estos últimos años, IPTV se ha convertido en uno de los sistemas de transmisión de televisión por suscripción más utilizados en el mundo. Un gran número de operadores han tomado decisiones estratégicas para incluir en su negocio IPTV y han comenzado a distribuir su señal utilizando una infraestructura física de red creada y diseñada para la transmisión de datos.

Según informe Cisco Visual Networking Index (VNI) 2012 - 2017 [4] se prevé que el tráfico IP global se multiplique por tres entre 2012 y 2017. También prevé que los usuarios de redes generarán 3 billones de minutos de vídeo al mes en Internet a escala global. Además el informe del 2 de julio de 2014 Cisco VNI Service Adoption Forecast 2013-2018 [5] que estudia los mercados, dispositivos y conexiones a través

de redes para consumos residencial, móvil y empresarial, predice que a nivel mundial la televisión digital crecerá de 1000 millones de hogares en 2013 hasta 1500 millones de hogares en 2018 (CAGR 8.1percent), y que el vídeo bajo demanda (VoD) crecerá de 306 millones de suscriptores en 2013 a 451 millones de suscriptores en 2018 (8,1 por ciento CAGR). En resumidas cuentas, según nos muestra la figura 2, se prevé que en el periodo 2013 - 2018 los servicios que más crezcan en Internet sean los relacionados con vídeo y televisión digital.

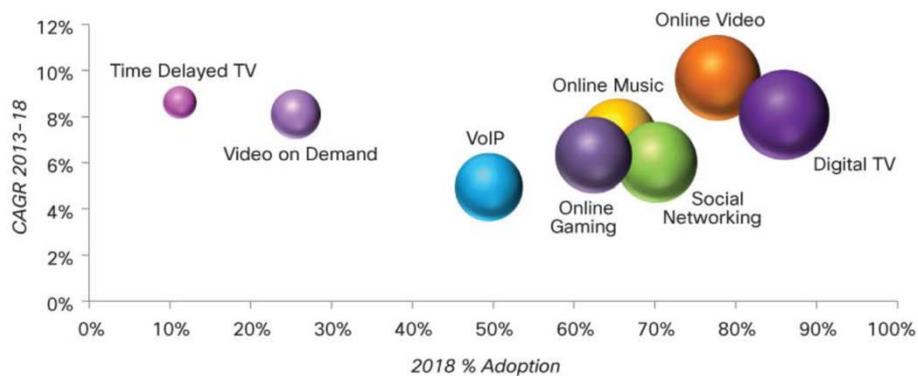


Figura 2. Crecimiento de servicios en el periodo 2013 – 2018 [5]

Para realizar la transmisión de los flujos de vídeo, IPTV encapsula la señal mediante el protocolo IP y seguidamente la distribuye mediante accesos de banda ancha.

Cuando fue diseñada, Internet se concibió como una red *best-effort*, es decir, la red no podía garantizar un retardo limitado en la entrega de los paquetes, por esto los operadores descubrieron que con las infraestructuras creadas para transportar solamente datos no podían soportar todas las características que requerían los servicios de triple play. Inicialmente hubo un intento de adaptación de las antiguas redes de datos, pero se obtenían unos rendimientos pobres, lo cual implicaba desde un punto de vista comercial, el riesgo de una posible fuga de clientes debido a la baja calidad de los servicios ofertados.

Una diferencia fundamental respecto a los sistemas tradicionales de transmisión de televisión, es que en estos sistemas el usuario recibe todos los canales y de entre todos los recibidos selecciona el canal deseado, mientras que en IPTV el usuario se conecta solamente al canal deseado, cuando se quiere conectar a otro canal pasa previamente por la desconexión del canal que esté visualizando, para recibir la señal del nuevo canal elegido.

Los operadores distribuyen el servicio de IPTV a través de una red cerrada, por lo que solo pueden acceder los usuarios suscritos al servicio. Esto la hace similar a las redes de distribución por cable y a la vez que la diferencia de la televisión en línea, ya que a estas últimas podemos acceder desde cualquier red conectada a Internet. Gracias a estar disponibles dentro de una red cerrada se puede controlar la calidad de la señal, cosa que no es posible hacer desde redes que pertenecen a otros operadores [6].

La distribución de IPTV genera requerimientos especiales, pues deben soportar todo el abanico de imágenes imaginables, desde las de mayor movimiento a imágenes estáticas, además de aparecer otros efectos como los retardos que se aprecian al realizar un cambio de canal, a los que los usuarios no están acostumbrados en la televisión tradicional.

El principal reto que se le plantea a los operadores es que la Calidad de Experiencia (QoE) del usuario sea satisfactoria, dicho parámetro dependerá fundamentalmente de la percepción que experimente el usuario respecto al vídeo recibido en su hogar.

Debido a la naturaleza subjetiva de la QoE, durante la obtención de resultados los operadores deben tener en cuenta no solamente factores relacionados con la calidad de servicio (QoS), sino otros factores como la interface de usuario, la disponibilidad de contenidos, la facilidad de acceso, la programación, etc.

1.2.- Objetivos.

El principal objetivo del trabajo es proponer un sistema óptimo para mejorar la QoE de un usuario final cuando se transmita vídeo sobre IP.

Dicho objetivo se alcanzará mediante la consecución de los siguientes puntos:

- Identificar y estudiar los parámetros de QoS y QoE a medir en el trabajo.
- Montar un banco de pruebas donde realizar las medidas para el trabajo.
- Realizar variaciones de los parámetros de QoS y medir las variables obtenidas de QoE.
- Analizar las medidas obtenidas e investigar los efectos producidos.
- Proponer un nuevo sistema que tenga en cuenta estas variaciones con tal de mejorar la QoE del usuario final en una red IPTV.

1.3.- Precedentes del proyecto.

Existen dos tesinas previas que tienen objetivos similares.

En el 2009 Marcelo Emilio Atenas Arzua presentó la tesina "Estudio de parámetros de IPTV para mejorar el QoE de usuario" en el Máster Universitario en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, en ella presenta un algoritmo de gestión de red que tiene en cuenta los parámetros medidos de una red IP con el fin de tomar las acciones apropiadas sobre dicha red y así proporcionar una adecuada QoE de IPTV al cliente.

En el 2013 Alejandro Cánovas Solbes presentó la tesina "Diseño y Desarrollo de un Sistema de Gestión Inteligente integrado de servicios de IPTV estándar, estereoscópico y HD basado en QoE" en el Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen de la Escuela Politécnica Superior de Gandia de la Universitat Politècnica de València, en el que propone un sistema de gestión inteligente basado en parámetros de QoE.

En este trabajo de máster nos centraremos en la medición de los parámetros de QoE desde el punto de vista de calidad de imagen final, teniendo en cuenta la variación de parámetros de la red, así como la evaluación subjetiva del usuario cuando observa el resultado final.

A diferencia los otros trabajos, las medidas y evaluaciones de este proyecto se acometerán utilizando equipos reales para la transmisión del vídeo.

1.4.- Estructura del proyecto.

La estructura del proyecto viene definida de la siguiente forma:

El segundo capítulo describe el estado del arte de este trabajo, se hace un estudio teórico de los conceptos compresión de vídeo, calidad de vídeo, calidad de servicio y calidad de experiencia. Se describe como se emplea cada uno de ellos, lo que les afecta haciendo que se generen problemas y los parámetros que al ser utilizados permiten hacer estimaciones de dichos conceptos. También lo referenciamos con artículos e información relevante a cada uno de los conceptos tratados.

En el tercer capítulo se definen las características del banco de pruebas, en el que debemos tener en cuenta las topologías física y lógica, y las diferentes herramientas que van a ser necesarias para la realización de trabajo.

El cuarto capítulo explica cómo se configuran los principales dispositivos de red y las herramientas que se van a emplear. Además, se definen los diferentes casos que se van a plantear durante las pruebas.

El quinto capítulo se emplea para presentar los resultados obtenidos durante las pruebas. También se analizarán los datos obtenidos.

El sexto capítulo servirá para mostrar la evaluación subjetiva de la calidad de vídeo, que observaron los evaluadores, mediante la escala MOS (Mean Option Score).

En el séptimo capítulo se define un sistema para la mejora de la QoE del usuario final, que incluye un protocolo de comunicación y un algoritmo de funcionamiento basándonos en la información recopilada a lo largo de los capítulos previos.

El octavo y último capítulo lo utilizamos para presentar la consecución de los objetivos, conclusiones, problemas que se han presentado para conseguir los objetivos, aportaciones y futuras líneas de trabajo.

Capítulo 2: Estado del arte.

En este capítulo definiremos los conceptos: Compresión/Codificación de vídeo, Calidad de vídeo, QoS, QoE y los parámetros que afectan a QoE y QoS, además los relacionaremos con estudios previos publicados.

2.1.- Compresión/Codificación de Vídeo

La señal de vídeo digital necesita un gran ancho de banda si se quiere transmitir en su formato original. Por ejemplo, si queremos codificar una señal de vídeo de 720x485 a una velocidad de 30 fotogramas por segundo (30 Hz), asumiendo una resolución de 24 bits por píxel, se necesitaría, aproximadamente, una velocidad de transmisión de 250 Mbps [7].

Por lo tanto, resulta necesario realizar una compresión previa a la transmisión, tanto para lograr una eficiencia en el almacenamiento, como para distribuirla a través de las redes de comunicaciones. La compresión también se conoce como codificación.

Mediante la compresión se consigue representar las señales con la menor cantidad de bits posible sin perder información, con el fin de aumentar la velocidad de transmisión y minimizar los requisitos de almacenamiento.

Para poder comprimir la información a transmitir utilizaremos los *códecs*. El término *códec* es una abreviatura de coder/decoder, pueden ser tanto software, como hardware, o una combinación de ambos. Incluyen una serie de algoritmos e instrucciones para codificar y decodificar audio y vídeo digital en los extremos de la transmisión.

La figura 2 muestra el diagrama de bloques de un sistema de codificación/decodificación. En ella se pueden apreciar dos bloques principales que representan al codificador y decodificador, que a su vez contienen tres etapas que son: transformación [8], cuantificación o conversión de datos a símbolos [9] y codificación [10].

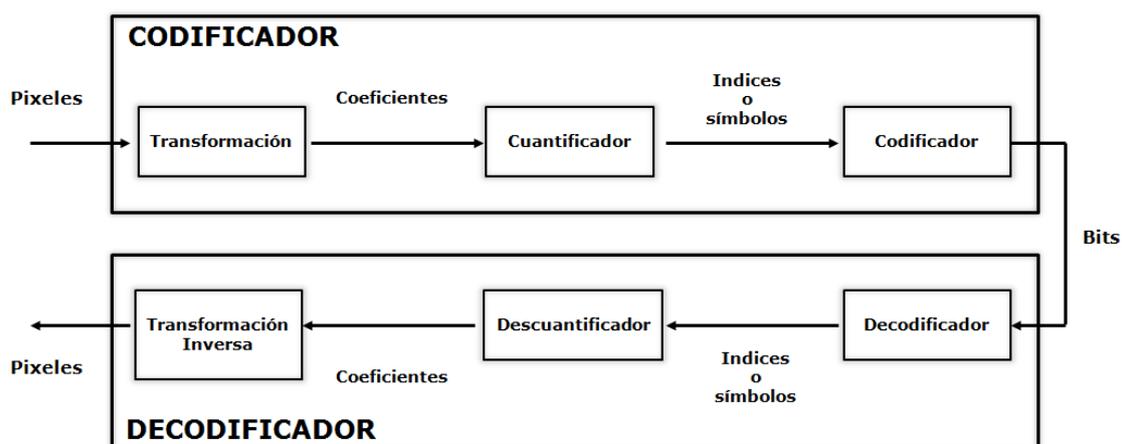


Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de codificación - decodificación

El cuantificador será la parte que determine tanto la calidad final del vídeo, como la compresión que tendrá, pues incluye el algoritmo con pérdidas que se utilizará. Por lo tanto la selección del códec va a tener una gran importancia, ya que determinará la

calidad del vídeo final, la tasa de bits que se enviarán, la robustez ante las pérdidas, el retardo en la transmisión, etc.

Para realizar la compresión de vídeo deberemos tener en cuenta los diferentes tipos de redundancia en los parámetros de una señal de vídeo, que son los siguientes:

- **Espacial.** La redundancia espacial aparece en cada uno de los fotogramas de la secuencia, cuando los píxeles cercanos contiguos tienen un grado de correlación, es equivalente a lo que ocurre con la compresión de imágenes estáticas.
- **Temporal.** La redundancia temporal se produce entre los diferentes fotogramas que componen la secuencia, normalmente, en fotogramas consecutivos que no varían mucho su plano, gran parte de sus píxeles no cambia, por ejemplo, cuando tenemos un paisaje y nos desplazamos lentamente, o como cuando se establece un plano en el que se desarrolla una conversación.
- **Psicovisual.** La redundancia psicovisual se produce debido a que nuestro sistema visual no trata con la misma sensibilidad toda la información, el ojo es más sensible a los cambios en la luminancia que en la crominancia y es menos sensible a las altas frecuencias.
- **En la propia codificación.** Por último, todos los parámetros no tienen la misma probabilidad en la imagen, por lo tanto no se necesitará la misma cantidad de bits para su codificación. Aprovechar esta característica es lo que se conoce como redundancia en la codificación.

2.1.1.- Estándares de compresión de vídeo

En las últimas décadas han emergido diferentes estándares de compresión, de entre los que podemos destacar:

- Códecs Familia MPEG
- Códecs Serie UIT H-200
- Otros códecs

2.1.1.1.- Familia MPEG

La denominación oficial de MPEG es ISO/IEC JTC1/SC29 WG11 [11]. Son estándares genéricos y universales, pues especifican la sintaxis de la trama para el transporte de los datos obtenidos mediante los algoritmos de compresión de audio y vídeo. Como no definen los procesos de compresión permiten una plena libertad en su realización [5]. Esta familia de estándares de compresión están basados en la Transformada de coseno discreta (DCT).

Se pueden destacar los formatos:

- **MPEG-1** (ISO/IEC 11172) [12]: Codificación de imágenes en movimiento y audio asociado para medios de almacenamiento digital de hasta alrededor de 1,5 Mbit/s. Compatible con los ordenadores y casi todos los DVD logra una calidad equivalente a VHS.

- **MPEG-2** (ISO/IEC 13818) [13]: Codificación genérica de imágenes en movimiento y audio asociado. Es una extensión de MPEG-1. Su aplicación inicial fue la televisión estándar (DTV) y la de alta definición (HDTV).
- **MPEG-4** (ISO/IEC 14496) [14]. Codificación de objetos audiovisuales. Principalmente este estándar se utiliza para transmisión de flujos audiovisuales, distribución de CD, transmisión bidireccional por videoteléfono y emisión de televisión. Permite diferentes configuraciones (a través de perfiles y niveles), de forma que se puede codificar desde vídeo de baja resolución con un bitrate reducido (por ejemplo, vídeo en directo para móviles), hasta vídeo para DVD y vídeo de alta definición

MPEG-4 está formado por los diferentes estándares denominados partes, de entre todas es importante en nuestro trabajo MPEG-4 Parte 10 Códec de Vídeo Avanzado (AVC) (ISO/IEC 14496-10) [15]: Es un códec técnicamente idéntico al estándar UIT-T H.264.

2.1.1.2.- Serie UIT H-200

En 1984 el Study Group XV del CCITT (en la actualidad UIT-T) crea un grupo especialista en codificación de videoteléfono para transmisión de vídeo, de él surgieron recomendaciones que se conocen como "infraestructuras para servicios audiovisuales". Dichas recomendaciones son las que conforman la serie H-200.

De ellas podemos destacar:

- **Recomendación H.261** [16]. Video Code for Audiovisual Services at px64kbps. Es un códec de vídeo digital que se empleó para servicios de telefonía y videoconferencia.
- **Recomendación H.263** [17]. Codificación de vídeo para comunicación a baja velocidad binaria. Aparece a la vez que MPEG-4 parte 2, fue desarrollado para aplicaciones de videoteléfonos y para que fuera compatible con MPEG-4 parte 2 perfil avanzado.
- **Recomendación H.264** [18]. Codificación de vídeo avanzada para los servicios audiovisuales genéricos. También denominado H.264 o MPEG-4 AVC (Advanced Video Codec). Fue desarrollado por el JVT (Joint Video Team) formado por expertos de la UIT-T y de MPEG. No tiene compatibilidad con las anteriores normas (para tener una mayor libertad a la hora de desarrollar el código). Proporciona una elevada calidad de imagen con tasas binarias notablemente inferiores.

2.1.1.2.- Otros códecs

- **MJPEG** [19]. Codificación de secuencia de bits para vídeo en el que cada fotograma está comprimido utilizando el algoritmo de compresión JPEG de imágenes fijas. Tomado como una secuencia, la serie de fotogramas representan la fuente de vídeo. Los flujos de bits MJPEG son a menudo encapsulados en archivos AVI donde realizan la codificación FOURCC [20] (código de cuatro

caracteres) para identificación del códec. Las secuencias de bits MJPEG también pueden ser manejados o encapsulados de otras formas.

- **Windows Media Video (WMV)** [21]. Es un conjunto de algoritmos de compresión de vídeo propietarios desarrollado por Microsoft, que forma parte del framework Windows Media. La primera versión del formato, WMV 7, se introdujo en 1999, y se basa en la implementación de Microsoft de MPEG-4 Parte 2. El vídeo WMV se empaqueta normalmente en algún contenedor multimedia, como pueden ser AVI o ASF. Los ficheros resultantes reciben la extensión .avi si el contenedor es de este tipo, .wmv si es un fichero de sólo vídeo (.wma sería el equivalente para sonido) o .asf si se trata de un contenedor ASF, con contenido de audio y vídeo [22]. Su última versión es la 9, que mediante su estandarización por la Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) es conocido como SMPTE 421M [23] o VC1, por lo tanto se convierte en un estándar abierto y consigue ser adaptado para formatos como HD DVD y Blu Ray.
- **Digital Video Express (DivX)** [24]. Surgió a partir del pirateo del código de Microsoft que permitía incluir vídeo MPEG-4 bajo su propio contenedor Advanced System Format (ASF). En la actualidad es un conjunto de software desarrollado por DivX Inc. Es un códec de compresión avanzado, basado en técnicas de compresión MPEG, que ofrece mucha calidad. Aunque empezó a utilizarse para la transmisión de televisión digital de alta definición debido al gran tamaño de sus ficheros quedó relegado por otros formatos [7].
- **XviD** [25]. Este códec ha sido desarrollado como un software libre en un proyecto de I + D liderado por Michael Militzer en 2001. Está basado en MPEG-4, además, está especialmente optimizado para compresión off-line para almacenamiento y archivo [7].

2.1.2.- Degradaciones en el proceso de compresión de vídeo

Durante el proceso de digitalización y codificación de los vídeos se cuantifican valores. Esto genera ruido de cuantificación que puede degradar la imagen original a niveles perceptibles. Es este “ruido de cuantificación” [26], el que genera las clásicas degradaciones que pueden verse en imágenes y vídeos con alta compresión, entre ellos, el conocido “efecto de bloques”, que hace ver a la imagen como un conjunto de bloques pequeños.

Los algoritmos de compresión utilizados durante el proceso de codificación digital de vídeo introducen varios tipos de degradaciones, se puede establecer una clasificación que será útil para poder comprender las causas de las degradaciones y el impacto que tienen en la calidad percibida, según sus características principales [27] tenemos la siguiente clasificación:

- **Efecto de bloques (blocking)**

El efecto de bloques es, quizás, la más notoria de las degradaciones percibidas en vídeo digital. Este efecto tiene su origen al dividir la imagen en bloques para realizar la transformada DCT (Transformada del Coseno Discreta). El efecto de bloques se presenta como discontinuidades en los bordes de bloques adyacentes al reconstruir la imagen, como se muestra en la figura 4. Dentro de un mismo cuadro, cuanto más “gruesa” sea la cuantificación realizada, más visible es el efecto de bloques.



Figura 4. Efecto bloques

El umbral de cuantificación a partir del cual es percibido el efecto de bloque depende del tipo de imagen y del movimiento, por lo que no es posible definir un valor estándar e independiente de otros factores. Generalmente el efecto es menos perceptible en imágenes con movimiento, o en lugares de mucho o muy poco brillo. Los coeficientes de bajas frecuencias espaciales, y particularmente el coeficiente de DC de la transformada DCT, son los que determinan en mayor grado la visualización del efecto de bloques.

En cuadros predictivos, el efecto se puede dar entre macro-bloques, presentando discontinuidades entre sus bordes, o dentro de un macro-bloque, entre los cuatro bloques que lo componen. Como las compensaciones de movimiento generalmente proveen una buena predicción para los componentes de baja frecuencia, el error de predicción cuantificado se reduce a cero dentro de un macro-bloque, y si éste tiene un contenido uniforme, no se produce el efecto de bloques entre los cuatro bloques internos.

Se han realizado diversos estudios y existen varias propuestas de detección y corrección del efecto de bloques. Idealmente, estos procesos deberían mejorar el efecto de bloques, y a la vez mantener los bordes reales y la definición general de la imagen (es decir, no introducir borrosidad). Asimismo, es muy importante minimizar la capacidad de proceso necesario, ya que deben realizarse en tiempo real.

La idea general es detectar discontinuidades en los valores de bajas frecuencias espaciales entre bloques adyacentes, que no se correspondan con cambios o bordes reales en la imagen. Se han propuesto técnicas basadas en métodos estadísticos, (asumiendo un modelo probabilístico de los coeficientes DCT) [28] [29], y utilizar las teorías de BPOCS (Block Projection Onto Convex Sets) [30]. Adicionalmente, han sido propuestas técnicas que también utilizan transformadas de Wavelets [31], obteniendo buenos resultados.

Las técnicas utilizadas para video pueden ser las mismas que las usadas para imágenes fijas, ya que este efecto se presenta en ambos casos. Sin embargo, en video puede ser utilizada la información temporal [32] para mejorar los algoritmos de detección y eliminación del efecto de bloques.

- **Efecto de imagen de base** (basis image)

En casos en los que uno de los coeficientes de la DCT es muy prominente respecto a los otros, al utilizar cuantizaciones “gruesas”, es posible que quede como resultado un

único coeficiente que se traduce, al decodificar, como uno de los 64 posibles patrones de imágenes base de la DCT, la base de patrones se muestra en la figura 5.

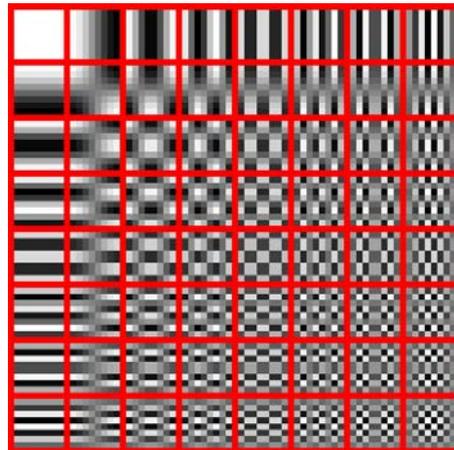


Figura 5. Bloques base de la transformada DCT bidimensional [32]

Este efecto tiene, a su vez, efectos colaterales. Un bloque que ha sufrido el efecto de imagen base, seguramente no se corresponderá con sus bloques adyacentes, acentuando el efecto de bloques, y el efecto de mosaico, que se detalla más adelante.

- **Desenfoque o falta de definición (Blurring)**

El desenfoque o falta de definición se manifiesta como una pérdida de los detalles de la imagen, un ejemplo se muestra en la figura 6. Si bien esto puede deberse a imágenes tomadas fuera de foco, también puede ser un efecto introducido por el proceso de digitalización. Este caso se da cuando se suprimen los coeficientes DCT de mayor orden, que son los que aportan los detalles finos dentro de sus bloques. Esta degradación también puede aportar al efecto de bloques y al de mosaico.



Figura 6. Efecto desenfoque o falta de definición

Varios métodos se han propuesto para estimar la definición (o borrosidad) general de una imagen, los que pueden aportar a métricas de la calidad percibida. En [33] se presenta un método sencillo, que califica con un porcentaje entre 0 y 100 la definición general de cada cuadro, basado en el análisis de los coeficientes DCT.

Alternativamente se han propuesto métodos que utilizan una medida directa, basada en el análisis y clasificación de los bordes detectados en la imagen, y estimando en base a ellos la definición (o borrosidad) general [34].

- **Desplazamiento de color (Color bleeding)**

La falta de definición de la información de luminancia reduce la difusión de los detalles en un área visible. El mismo concepto aplicado a la crominancia, produce “manchas” de colores sobre áreas de colores contrastantes. Al igual que en el caso anterior, este efecto se debe a la supresión de los coeficientes de alta frecuencia de los componentes de crominancia. Dado que la crominancia es sub-muestreada, el efecto se propaga en todo el macro-bloque. La figura 7 muestra un ejemplo de desplazamiento de color.



Figura 7. Efecto desplazamiento de color

Se han propuesto técnicas para detectar y corregir el efecto de corrimiento de color. En [35] y [36] se presentan algoritmos de corrección de corrimiento de color, y se realiza una comparación con la métrica PSNR (ver sección III.3) entre la imagen de referencia y la degradada, y entre la imagen de referencia y la degradada luego de aplicar la corrección. Se observa una leve mejora en esta métrica antes y después de aplicar el algoritmo de corrección. Sin embargo, es muy difícil deducir la mejora en la calidad percibida de forma objetiva.

- **Efecto escalera (staircase effect)**

Cuando la imagen contiene bordes diagonales respecto a los ejes verticales u horizontales, se puede presentar el “efecto escalera”. Las imágenes base de la DCT no están adaptadas a la representación de bordes diagonales. Por lo tanto, son necesarias imágenes base de muy alta frecuencia para representar adecuadamente bordes o características diagonales en las imágenes. Tras una cuantificación agresiva, el truncamiento de las contribuciones hechas por los coeficientes de mayor orden impide contrarrestar las contribuciones de las imágenes base de menor orden en el bloque reconstruido. Esto provoca que un borde diagonal orientado hacia la horizontal se reconstruya con un borde horizontal, y viceversa para los bordes orientados hacia la vertical. El efecto escalera se da al representar un borde diagonal como una concatenación de bloques horizontales y/o verticales.

- **Ringing**

Cuando una diagonal se distribuye entre varios bloques, se forma un patrón del tipo “escalera”. Cuando las secciones adyacentes al borde tienen alto contraste, el efecto es especialmente notorio, y toma el nombre de “Ringing”. La representación de un bloque puede considerarse una combinación ponderada de cada imagen base DCT, de forma que las contribuciones de una imagen base se acentúan o se contrarrestan

con las contribuciones de otras imágenes base. Por lo tanto, la cuantificación de un coeficiente individual da como resultado un error en la contribución de la imagen base correspondiente. Al tener las imágenes de alta frecuencia una importancia mayor en la representación de bordes, la reconstrucción de bloques cuantificados incluirá irregularidades de alta frecuencia.

El efecto de ringing es más evidente en bordes de alto contraste presentes en texturas lisas; aparece un ruido en alta frecuencia desde el borde hasta el límite del bloque que lo contiene. Cuanto mayor es el contraste del borde, mayor es el nivel de los picos. La figura 8 muestra un ejemplo de ringing.



Figura 8. Efecto ringing

- **Patrones de mosaicos (Mosaic Patterns)**

La consecuencia general del efecto de patrones de mosaico es la aparente discordancia entre todos, o entre una parte de los bloques adyacentes en una imagen. Tiene un efecto similar al producido al usar piezas cuadradas que no corresponden en un mosaico. El patrón de mosaico generalmente coincide con el efecto de bloques. Se produce a causa de un bloque con un cierto contorno o textura muy distinta a los bloques vecinos.

El efecto “mosaico” se presenta cuando parecen no coincidir los bordes de todos o gran parte de los bloques de una imagen. Este efecto, está muy relacionado al efecto de bloques.

- **Falso contorno (false contouring)**

El efecto de cuantización de los valores de luminancia de los píxeles supone que, en zonas de transiciones graduales se generen falsos contornos, en los lugares de transición de un valor cuantizado a otro. Este efecto es apreciable si la cantidad de niveles de cuantización es insuficiente.

Algo similar sucede con la cuantización de los valores de DC y de baja frecuencia de los coeficientes de DCT, en éste tipo de imágenes. El efecto se aprecia como saltos de luminancia o tonalidad en lugares donde debería haber una transición gradual. Puede resultar especialmente visible en monitores o televisores grandes.

Detectar y corregir los contornos falsos no es sencillo, ya que, además de detectar los contornos, se debe decidir si corresponden a un borde real, o a un efecto del proceso

de digitalización. Adicionalmente, al intentar corregir los contornos falsos, no se deben introducir otras degradaciones, como borrosidad o disminución de la definición general de la imagen. El método publicado en [37] presenta éstas características.

- **Bordes falsos**

Esta degradación se presenta como consecuencia de transportar el efecto de bloques hacia cuadros predictivos con compensación de movimiento. Si se produce el efecto de bloques en una imagen tomada como referencia para próximos cuadros, estas discontinuidades producidas entre los bloques, se pueden convertir en bordes falsos dentro de bloques predictivos, debido a la estimación de movimiento. El origen de este efecto se esquematiza en la figura 9. Allí se puede ver como los bordes de los bloques se trasladan en cuadros predictivos (B, P) a regiones que quedan dentro de los bloques, produciendo el efecto de bordes falsos.

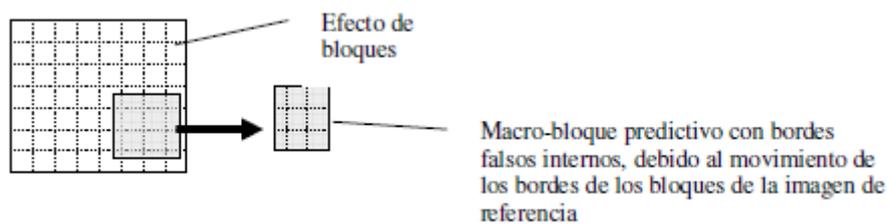


Figura 9. Efecto bordes falsos [32]

- **Errores de Compensaciones de Movimiento (MC mismatch)**

La estimación de movimiento de un macro-bloque se realiza en el codificador, comparando el macro-bloque de una imagen con todos las posibles secciones de tamaño igual al macro-bloque (dentro de cierto rango espacial) de la(s) imagen(es) siguiente(s).

La comparación se realiza generalmente buscando el mínimo valor de la diferencia absoluta de la luminancia (SAD) entre el macro-bloque y la sección evaluada.

Este procedimiento (simple, pero de gran consumo de procesamiento), se basa en la hipótesis de que todos los píxeles del macro-bloque tendrán un mismo desplazamiento, o sea, que corresponden a la misma figura en la imagen. Esto no es así cuando el macro-bloque contiene partes de diferentes figuras, o cuando contiene el borde entre una figura y un fondo fijo. En estos casos, la estimación de movimiento no será adecuada para una o quizás para ninguna de las figuras dentro del macro-bloque.

En estos casos, al reconstruir un macro-bloque basado en una mala estimación de movimiento, se puede ver un efecto de bloque, con componentes de alta frecuencia espacial, que es el que generalmente se aprecia sobre los bordes de figuras en movimiento.

- **Efecto mosquito**

Se llama "efecto mosquito" a la fluctuación de la luminancia o crominancia alrededor de áreas de alto contraste o de figuras en movimiento. Este efecto está relacionado con los efectos de "ringnig" y de errores de compensación de movimiento, vistos anteriormente. Es la consecuencia de tener diferentes codificaciones en cuadros

consecutivos para una misma sección de la imagen (las que pueden darse por cambios en el tipo de predicción – hacia delante, hacia atrás, bidireccional - , niveles de cuantización, vectores de movimiento, etc.).

- **Fluctuaciones en áreas estacionarias**

Fluctuaciones similares a las del efecto mosquito pueden verse también en áreas sin movimiento pero con gran contenido de altas frecuencias espaciales (por ejemplo fondos con detalles pequeños, mucha textura, etc.).

De manera similar a lo explicado anteriormente, las fluctuaciones son consecuencia de los diferentes tipos de predicciones y niveles de cuantización utilizados entre cuadros. Estos efectos se ven enmascarados en áreas con movimiento, y por lo tanto solo se perciben en imágenes estáticas.

- **Errores de crominancia**

Como se mencionó al explicar los errores de compensación de movimiento, la elección de los vectores de movimiento se basa en estimar el movimiento con el objetivo de minimizar las diferencias de la luminancia entre cuadros. Generalmente, la crominancia no es tenida en cuenta en esta estimación, aunque luego los valores estimados del movimiento son utilizados para los tres componentes de video. Esto puede llevar a que la estimación de movimiento no se adecue a la realidad, teniendo como consecuencia la aparición de macro-bloques de colores equivocados. La figura 10 es ejemplo de errores de crominancia.



Figura 10. Efecto errores de crominancia

2.2.- Calidad de Vídeo

Para diversos tipos de aplicaciones es necesario disponer de herramientas que permitan estimar y cuantificar la calidad percibida por los usuarios en el video, de la manera más confiable posible. De entre ellos podemos destacar:

- **Monitorización.** Los prestadores de servicios están interesados en conocer la calidad de las aplicaciones utilizadas por sus usuarios. Específicamente en aplicaciones de audio y video, es deseable poder medir la calidad percibida por los usuarios, a los efectos de optimizar la red. En estos casos, pueden realizarse medidas controladas, utilizando señales de prueba, y contrastando la señal recibida contra la original. Si bien esto puede realizarse con pruebas subjetivas, disponer de modelos objetivos puede sistematizar las medidas, logrando

monitorizar el estado de la red de forma periódica, de manera sencilla y controlada. En este caso, los modelos utilizados pueden basarse en señales de prueba conocidas (modelos “Full Reference”, como veremos en el apartado 2.2.2).

- **Control de calidad y administración.** Una medida objetiva y “en línea” de la calidad perceptual puede ser utilizada a los efectos de control y administración. Esta información puede ser realimentada desde el receptor al emisor, de manera que este último tome acciones inmediatas para mantener la calidad perceptual constante (por ejemplo, aumentar o disminuir en línea el ancho de banda del video enviado). Estas técnicas deberían estimar la calidad perceptual inspeccionando únicamente la señal recibida, o eventualmente, los parámetros de la red, ya que no se dispone en este caso de la señal de referencia.
- **Control de Admisión y administración de recursos.** Cuando los usuarios pagan por aplicaciones con cierta calidad (por ejemplo, en video bajo demanda en IPTV), es necesario medir la calidad percibida por todos los usuarios, y estimar como ésta se verá afectada al incluir nuevos usuarios en el sistema. Es posible que se disponga de políticas de admisión de nuevos usuarios en función del nivel de calidad percibido por otros usuarios, y/o requerido por el nuevo usuario.
- **Precios en base a la calidad.** Algunos servicios pueden tener precios diferenciales según la calidad del mismo. En este caso, es necesario medir la calidad percibida, a los efectos de controlar que se está entregando la calidad por la que el usuario está pagando.
- **Nuevos Desarrollos.** Las medidas objetivas de calidad percibida son una herramienta necesaria para la evaluación y desarrollo de nuevos sistemas o algoritmos. Disponer de una medida que se pueda realizar de forma automática de la calidad percibida evita tener que realizar largas y costosas pruebas subjetivas, en el diseño de nuevos codificadores y decodificadores (codecs), algoritmos de realce del video, etc.

Un sistema de medida ideal debería dar un resultado semejante al promedio obtenido mediante pruebas subjetivas realizadas sobre un gran grupo de individuos.

La calidad de vídeo se evalúa habitualmente de forma subjetiva mediante MOS (Mean Opinion Score) o de forma objetiva mediante VQM (Video Quality Metric). Los métodos subjetivos de la evaluación de la calidad son más costosos, requieren mayor cantidad de tiempo e instalaciones especiales para producir unos resultados reproducibles y fiables. Los métodos objetivos son más útiles para realizar la supervisión y gestión de la calidad del servicio, como también lo son tanto para la selección y optimización del códec como para el diseño de las redes y terminales.

Hay autores como Cha y otros [38] que estiman la QoE debe ser valorada en términos de calidad subjetiva.

Los métodos de evaluación subjetiva se utilizan para determinar el rendimiento de los sistemas de televisión, estos emplean mediciones que anticipan directamente las percepciones de los usuarios. Para evaluar estas percepciones, un grupo de personas ven el vídeo y dan una puntuación de calidad. Los resultados de las pruebas se tratan de forma estática y la salida es a menudo un promedio de MOS [39]. Las puntuaciones de vídeo y voz MOS se clasifican generalmente en una escala de 1 a 5, donde 5 es la mejor puntuación. Este método es muy exacto, pero presenta entre otros problemas, su alto coste en recursos y tiempo, ya que requiere de espectadores humanos que

trabajen durante un largo período [40] y es complicado saber qué factores afectan a la resolución del usuario final. [41] Sin embargo, la escala psicológica puede representar la subjetividad humana con mayor precisión que MOS [42].

En el método subjetivo la determinación de la calidad de vídeo se basa en la combinación de las dos clases de medidas subjetivas, cuantitativas y cualitativas, las primeras miden la calidad del vídeo mediante una escala numérica (MOS), mientras las segundas atienden a factores sociológicos.

Para poder medir la calidad de forma subjetiva deberemos seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Elegir una secuencia de vídeo representativa de lo que se quiere medir. Por ejemplo, si se quiere determinar la repercusión de las pérdidas, deberemos escoger secuencias típicas en las que se producen pérdidas.
- Paso 2. Se convoca al grupo de observadores para evaluar la secuencia utilizando una escala numérica, habitualmente de 1(mala) a 5 (excelente).
- Paso3. Se eliminan mediante criterios estadísticos los observadores que obtienen resultados inconsistentes con el resto del grupo.
- Paso 4. Obtenemos el valor de la calidad del vídeo, mediante el valor medio de la evaluación de los observadores, que generalmente denominamos MOS.

Generalmente, en los métodos objetivos aunque se utilizan las mismas escalas que en los métodos subjetivos las medidas para extraer las escalas son diferentes.

Las principales medidas utilizadas en los métodos objetivos son:

- Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)
- ITS' Video Quality Metric (VQM)
- EPFL's Moving Picture Quality Metric (MPQM)
- Color Moving Picture Quality Metric (CMPQM)
- Normalization Video Fidelity Metric (NVFM)

Los parámetros objetivos son unos indicadores que pueden predecir la calidad percibida del vídeo de forma automática. El Grupo de Expertos en Calidad de Vídeo (VQEG) [43] propone tres modelos, utilizando la referencia completa de vídeo, utilizando información de referencia reducida y no utilizar señal de referencia.

En los siguientes subapartados pasamos a describir los diferentes métodos.

2.2.1.- MOS (Mean Option Score)

Es habitual medir la QoE mediante MOS (Mean Opinion Score), consistente en un método subjetivo basado en la satisfacción del usuario final. La escala MOS se define en la Recomendación BT 500 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [44]. La recomendación de la UIT-R BT.500-11 [45] define el método de evaluación subjetivo estandarizado para aplicaciones de televisión.

UIT también presenta un marco de medición de calidad de la experiencia que puede ser trazada en diferentes puntos de medición específicos en la Recomendación UIT J.144 [46].

El método subjetivo es un método muy costoso, pues requiere la presencia de evaluadores, estos serán individuos que juzgan la calidad del vídeo basándose en su percepción y experiencia previa.

MOS (Mean Opinion Score), proporciona una medida subjetiva que medirá desde el punto de vista del usuario la presencia de fallos en el servicio, dichos fallos pueden ser establecidos mediante otras métricas de QoE como la cantidad de errores por segundo, la duración de los fallos en el servicio, etc.

La recomendación UIT-R BT.500-11 detalla cuatro métodos de evaluación:

- Escala de degradación con doble estímulo DSIS
- Escala de calidad continua de doble estímulo DSCQS
- Evaluación de calidad continua de estímulo único SSCQE
- Método de doble estímulo simultáneo para evaluación continua SDSCE

DSIS (Double Stimulus Impairment Scale)

Su método consiste en comparar la señal original (sin degradar) con la señal degradada. La secuencia se debe repetir dos veces en cada prueba y los evaluadores deben esperar al final de las secuencias de cada prueba para realizar la calificación.

Los evaluadores deben seleccionar entre cinco opciones según muestra la tabla 1:

ESCALA MOS		
Valor	Calidad Visual	Deterioro de la calidad
5	Excelente	Imperceptible
4	Buena	Perceptible pero no molesto
3	Razonable	Ligeramente molesto
2	Pobre	Molesto
1	Mala	Muy molesto

Tabla 1. Tabla de escala MOS para DSIS

DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale)

En este método también se comparan dos señales, pero los evaluadores deben calificar su calidad, no su degradación.

Se debe calificar la señal de referencia A y la señal degradada B. Esta calificación se hace mediante una plantilla impresa de 10 cm de longitud, similar a la mostrada en la figura 11.



Figura 11. Plantilla de calificación para evaluación DSCQS

Al ser una escala continua permite dar unas diferencias más precisas entre las señales, incluso permitiría calificar a la señal degradada con una mayor calidad que la original, hecho que puede producirse si se utilizan algoritmos para mejorar la calidad de vídeo.

SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation)

En este método se evalúa una única secuencia con o sin degradaciones. Además se realiza una evaluación continua, no una calificación global. Se lleva a cabo mediante un cursor móvil conectado a un ordenador que registra de forma continua las calificaciones.

Se utiliza la misma escala que en el método DSCQS.

SDSCE (Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation)

En este método se observan dos secuencias, referencia y degradada, de forma simultánea. Se pueden visualizar en un mismo monitor o en dos monitores alineados y los evaluadores deben calificar la fidelidad de una secuencia contra la otra moviendo un cursor para obtener una cuestación manual. Cuando la fidelidad es perfecta se codifica con un valor 100 y cuando es nula con un 0. La figura 12 muestra las imágenes que observarían los evaluadores de forma simultánea.

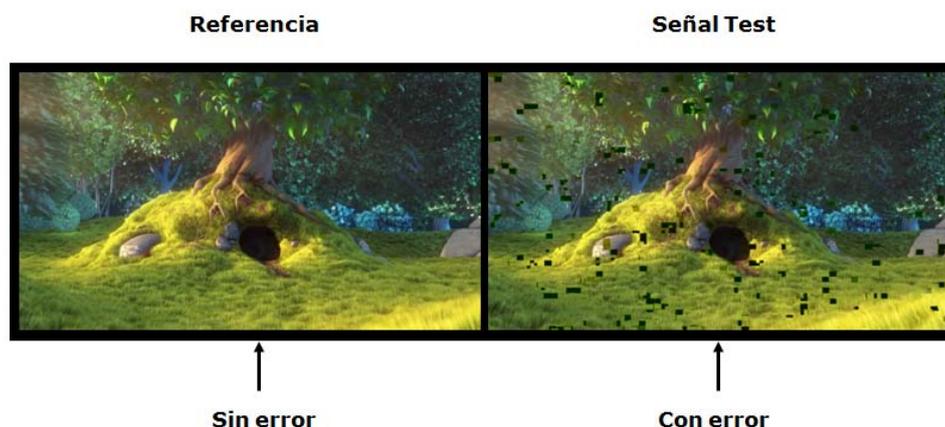


Figura 12. Imágenes simultáneas para calificación de evaluación SDSCE

2.2.2.- VQM (Video Quality Metric)

VQM [47] fue desarrollado por el Institute for Telecommunication Science (ITS) para proporcionar una medición objetiva de la calidad percibida del vídeo.

Según Wang [48] y Lu [49] VQM mide todos los fallos de la calidad de vídeo como visión borrosa, movimientos espasmódicos / artificiales, ruido, distorsión de bloque, distorsión de color, etc. y los combina en una única métrica de calidad. En primer lugar contraste, brillo, etc. se calibran y se comparan con el vídeo original, entonces, se extraen las diferencias. El siguiente paso compara las características extraídas del vídeo original y del vídeo procesado y, finalmente, se hace el cálculo de VQM. A continuación, se calcula utilizando una combinación lineal de los parámetros calculados y la puntuación final se escala a un valor objetivo de MOS.

Para avanzar en el campo de la evaluación de la calidad de vídeo, Video Quality Expert Group (VQEG) realiza experimentos subjetivos de calidad de vídeo, valida modelos objetivos de calidad de vídeo, y de forma colaborativa desarrolla nuevas técnicas. Algunos de los modelos obtenidos son trasladados a la UIT que al final los incluye en algunas de sus recomendaciones.

El documento temporal 36.J.OVQ "Methodologies for video quality assessment on networks in operation" de UIT-T SG9 [50] ha definido tres clases que representan distintas estrategias de medición para la evaluación de la calidad de vídeo; éstas han sido adoptadas por el GMT 10-11Q de Radiocomunicaciones:

- **Metodología utilizando la referencia completa de vídeo (FR).** El vídeo de origen se compara con el vídeo recibido en destino. Se debe alinear el vídeo y se comparan fotograma a fotograma. La recomendación UIT J.143 muestra diferentes técnicas de transmisión.
- **Metodología utilizando información de referencia reducida (RR).** Solo se comparan algunos de los parámetros en origen y destino; por ejemplo, pérdidas de paquetes, retardo y jitter; existen otras técnicas que miden la calidad en base a la relación entre señal y ruido.
- **Metodología que no utiliza señal de referencia (NR).** Se utiliza solamente la señal en destino para determinar la calidad.

La figura 13 muestra de forma esquemática como actúan las metodologías FR, RR y NR.

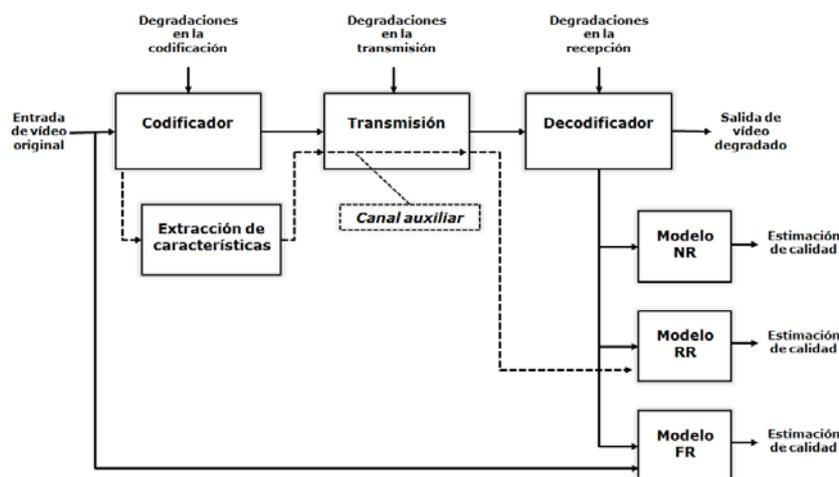


Figura 13. Diagrama de bloques de actuación de metodologías FR, RR y NR

Cada una de estas metodologías ofrece un enfoque específico para su utilización operacional y se adapta a un campo específico de aplicaciones. Esto se debe a las limitaciones de su implementación técnica:

- relevancia de los datos medidos
- disponibilidad de la referencia
- sincronización de las señales o datos originales y degradados
- canal de transmisión para los datos de referencia
- implementación en tiempo real
- utilización en servicio, etc

2.2.3.- Otros sistemas propuestos

Simoens y otros [51], proponen el diseño de una arquitectura con un componente de inteligencia autónoma en el nodo de acceso que determina las acciones requeridas que mejoran la QoE, como ajustar la velocidad de bits de vídeo, teniendo en cuenta las características específicas de la red doméstica y los servicios solicitados.

Siller y otros [52] creen que se puede mejorar la QoE cuando la QoS y su interacción con las capas de red y aplicación se consideran como una única entidad. Definen la relación entre QoE y la capa como una función de factores de la red (NQoS) y de la aplicación (AQoS), entre los factores encontramos latencia, jitter y pérdida de paquetes. Utilizan un mecanismo de arbitraje de red para gestionar los mecanismos de QoS.

2.3.- QoS

QoS es la capacidad de la red para ofrecer un servicio mejor o especial a un conjunto de usuarios o de aplicaciones o a ambos, en detrimento de otros usuarios o aplicaciones, o ambas cosas.

Una red convergente debe admitir diferentes tipos de aplicaciones, como voz, vídeo y datos, trabajando simultáneamente sobre una infraestructura común. Manejar dichas aplicaciones, que tienen diferentes necesidades, es una tarea difícil.

A modo de ejemplo, la latencia aceptable de extremo a extremo para los paquetes de una aplicación de voz sobre IP (VoIP), se encuentra entre 150 a 200 milisegundos (ms). Además, la variación de la latencia o fluctuación con la que llegan los paquetes de VoIP a su destino, denominada jitter, debe estar limitada y controlada, de modo que los buffers en el extremo receptor no se saturan, ni se vacíen completamente, causando la ruptura en el flujo de audio y la pérdida de la conversación de voz.

En contraste, una aplicación de datos, tales como la descarga de un archivo desde un sitio FTP no tiene tales necesidades y requisitos sobre la latencia, y el jitter no supone un problema para este tipo de aplicación. Cuando conviven numerosas comunicaciones de multimedia junto a aplicaciones de datos, deberán utilizarse los

mecanismos necesarios para que las aplicaciones críticas y sensibles a la latencia puedan funcionar correctamente, de manera que, un número considerable de aplicaciones multimedia pueden trabajar con buena calidad (con baja demora y jitter controlado) y, simultáneamente, las aplicaciones de datos basadas en TCP, también puedan completar con éxito sus conexiones de datos.

2.3.1.- Parámetros que Afectan al QoS

En base a la información presentada en el punto anterior sobre el funcionamiento de la red, ya podemos concluir que las cuatro variables principales que afectan a QoS son:

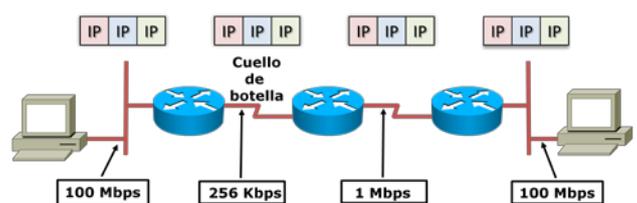
- **Ancho de Banda Disponible.** Muchas aplicaciones de datos, voz, y vídeo compiten de forma simultánea por el ancho de banda limitado de los enlaces dentro de las redes corporativas.
- **Latencia de extremo a extremo.** Muchos procesos y factores contribuyen al tiempo total necesario para que los paquetes de datos o de voz lleguen a su destino. Por ejemplo, la compresión, *paquetización*, espera en buffers o colas, *serialización*, propagación, transformación y descompresión, contribuyen a la latencia total en la transmisión de VoIP.
- **Variación de la latencia (jitter).** Teniendo en cuenta la cantidad de conexiones concurrentes y la actividad de tráfico, además de las condiciones de la red, los paquetes de un mismo flujo de datos podrían experimentar una latencia diferente en su viaje a través de la red.
- **Pérdida de paquetes.** El volumen de tráfico puede saturar la capacidad de un interfaz o de un dispositivo, y los paquetes pueden ser eliminados. Ráfagas repentinas o fallos de red suelen ser los responsables de esta situación.

2.3.1.1.- Ancho de banda

Se define como la capacidad del canal para transmitir datos binarios. La unidad de medida del ancho de banda viene dada en Bits Por Segundo (bps).

Un flujo de paquetes, normalmente, utilizará el mejor camino para atravesar la red hasta llegar a su destino. El ancho de banda máximo para un camino dado (ruta) será equivalente al ancho de banda del enlace con el menor ancho de banda disponible.

Por ejemplo, en la figura 14 se muestra cual es el mejor camino que existe para la comunicación entre un cliente y el servidor. En este camino el mínimo ancho de banda equivalente se corresponde con el enlace de 256 kbps, porque es el ancho de banda más lento del conjunto de enlaces que se deben atravesar.



$$\text{Bandwidth}_{\max} = \min(100 \text{ Mbps}, 256 \text{ Kbps}, 1 \text{ Mbps}, 100 \text{ Mbps})$$

$$\text{Bandwidth}_{\text{disp}} = \text{Bandwidth}_{\max} / \text{Flujos}$$

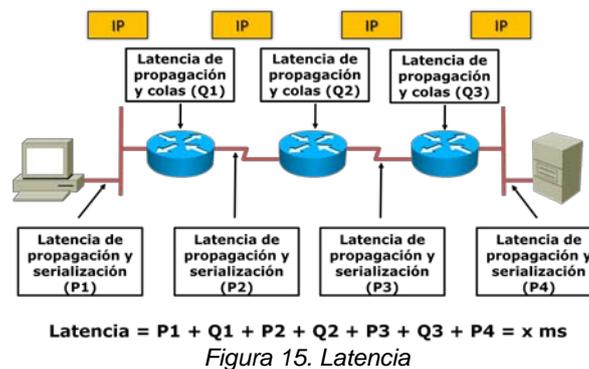
Figura 14. Ancho de banda

Para calcular el ancho de banda disponible para un flujo de datos, también debe tenerse en cuenta el número total de flujos que comparten un mismo enlace, de modo que, salvo que se apliquen técnicas de QoS, el ancho de banda disponible para un flujo de tráfico determinado, será el ancho de banda del enlace más lento dividido por el número total de flujos sobre dicho enlace.

2.3.1.2.- Latencia

La latencia de la red también es conocida como retardo, y se define como el intervalo de tiempo necesario para que un paquete de información viaje desde la fuente hasta su destino.

Podemos calcular la latencia de una red informática realizando la suma de retardos temporales dentro de una red. Para ello deben contabilizarse la contribución de cada uno de los saltos que el paquete de información realiza en la red a través de los diferentes dispositivos de la capa de enlace de datos (switches, por ejemplo) y de la capa de red (routers). La figura 15 muestra un ejemplo simple del cálculo de la latencia.



La latencia y el ancho de banda, juntos, definen la capacidad de la red.

Las principales dificultades que aparecen con el aumento de la latencia se producen en:

- Las comunicaciones en tiempo real, como por ejemplo IPTV, ya que son muy sensibles a la latencia de red.
- Comunicaciones bidireccionales que utilizan el mismo canal físico tanto para la transmisión como la recepción.

2.3.1.3.- Jitter

Se define como la variación a lo largo del tiempo en el ritmo de llegada de los paquetes, causada por congestión de red, pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino.

El Jitter va unido al valor de la latencia y representa las diferencias individuales entre las latencias de los paquetes, considerados de forma individual, y dentro de una misma comunicación.

Las comunicaciones en tiempo real, como por ejemplo las comunicaciones de IPTV, son especialmente sensibles al efecto del Jitter.

2.3.1.1.- Pérdida de paquetes

Se produce la pérdida de un paquete cuando no es procesado por el destino bien porque se ha dañado durante su transporte en el medio físico, bien porque ha sido descartado por alguno de los dispositivos de la red o bien porque ha llegado fuera de tiempo o de secuencia al destino.

2.4.- QoE

La UIT define QoE [53] como la aceptabilidad global de una aplicación o servicio tal y como se percibe subjetivamente por el usuario final. Incluye la totalidad de efectos del sistema extremo a extremo (cliente, terminal, red, servicios de infraestructura...) y puede verse influenciada por las expectativas de los usuarios y el contexto. Esto tiene como consecuencia que la QoE se mida subjetivamente y pueda diferir de un usuario a otro.

La European Telecommunications Standards Institute Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (ETSI TISPAN) también define QoE en su norma TR 102 479 [54] como la experiencia que tiene el usuario en el momento de hacer uso de servicios de comunicaciones ó de aplicaciones proporcionadas por los CSP (Communication Service Provider), describiendo como le parece el servicio y si este satisface sus expectativas.

EL IPTV Focus Group de la UIT indica, respecto a QoE, que el desempeño del servicio de extremo a extremo debe ser neutro independientemente de la tecnología utilizada.

Allan y Thorne [55] dicen que QoE es la visión que tienen los usuarios sobre el rendimiento del sistema, la calidad de la experiencia es una medida del rendimiento de los niveles de servicio del sistema IPTV bajo la perspectiva del usuario e indica de que manera el sistema puede conocer la opinión del usuario sobre la calidad de los contenidos.

En un entorno de servicio de IPTV, la monitorización de la calidad de los flujos de vídeo tiene que ser realizada en las diferentes partes de la red, que se muestran en la figura 16 y son:

- **Red de cabecera.** Es la red de contenido de vídeo del proveedor de servicios.
- **Red core.** Es la parte de red que distribuye los flujos de vídeo desde la cabecera hasta la red de distribución.
- **Red de distribución.** Va desde el final de la red troncal hasta los routers de agregación, a partir de los cuales comienza la red de acceso.
- **Red de acceso.** Está formada por todos los elementos encargados de llevar los contenidos multimedia hasta el usuario y atender las peticiones de este por el canal de retorno.

- **Red del cliente.** Se puede definir como la red residencial, que nos permite la comunicación entre los ordenadores conectados a ella y el paso de información de unos a otros, así como el acceso a los diferentes recursos disponibles en la red desde diferentes puestos de trabajo.

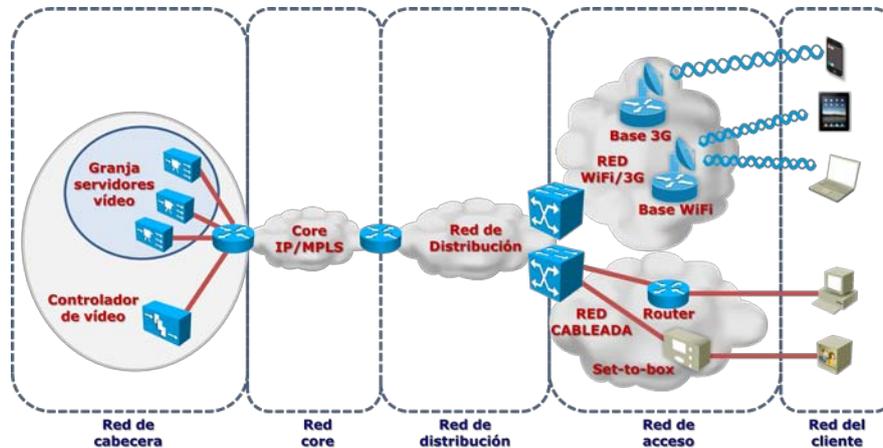


Figura 16. Topología de una red IPTV

La monitorización se convierte en una tarea compleja ya que existen requisitos rigurosos en relación a pérdidas de paquetes y retardos, es difícil aislar los problemas de IPTV del resto de servicios. La degradación de los flujos de vídeo puede afectar sólo a un grupo de clientes en un segmento particular de la red y podría darse el caso que fuera necesario un elevado tiempo medio para solucionar el problema.

El documento WT-126 del fórum DSL, es una guía para implementar una planificación de test y los pasos a seguir para el uso de métricas de calidad de vídeo subjetivo, proponiendo las métricas de QoE de vídeo sobre las siguientes capas [7]:

- Capa de aplicación:
 - Plano de datos (bitrates de vídeo/audio)
 - Plano de control (canal Zapping Rate)
- Capa de servicio:
 - Test subjetivo de servicio
- Capa de transporte:
 - Plano de datos (Proporción de pérdidas de paquetes para STDV y HDTV)
 - Plano de control (Procesamiento IGMP)

La pérdida de paquetes se puede dar debido a varias razones. Por un lado, la red puede estar congestionada o podría haber un fallo en un enlace o disponer de un ancho de banda insuficiente. Por otro lado, el servidor podría ser medido cuando acceden un bajo número de clientes, por lo que podría aparecer la congestión cuando hay demasiados usuarios. El efecto que producen las pérdidas de paquetes es la aparición de pausas en la reproducción de vídeo.

El tiempo de zapping define lo rápido que un cliente puede cambiar el canal y verificar que se encuentran en el nuevo. Un retardo de 1 segundo se considera aceptable y cuando se encuentran entre 100 ms y 200 ms se considera instantáneo. Con el fin de obtener valores cercanos a un segundo, el retardo entre la salida y unirse a los grupos de multidifusión debe fluctuar entre 10 ms y 200 ms [7].

2.4.1.- Parámetros que afectan al QoE

Los parámetros más utilizados que son tenidos en cuenta cuando tratamos QoE son: ancho de banda, disponibilidad, Round Trip Time, tiempo de zapping, pérdidas de paquetes, jitter, latencia y calidad de vídeo; estos parámetros se pueden testear en cualquier parte de red.

Aunque hemos señalado los parámetros más empleados, existen muchos otros que también se pueden utilizar como: bitrate, códec, resolución de audio y vídeo, tamaño de la imagen, cambio de grupo de multicast y otros basados en el diseño del entorno (disponibilidad de contenidos, facilidad de acceso e indexación de los contenidos disponibles, sincronización de subtítulos, limpieza en el audio, interface de usuario, paleta de colores, diseño ergonómico, diseño de navegación, guía de programación electrónica, descripción de programas, clasificación de géneros, actualizaciones, etc.)

La figura 17 muestra un esquema donde se establece una clasificación de los factores que afectan a QoE de forma objetiva y subjetiva.

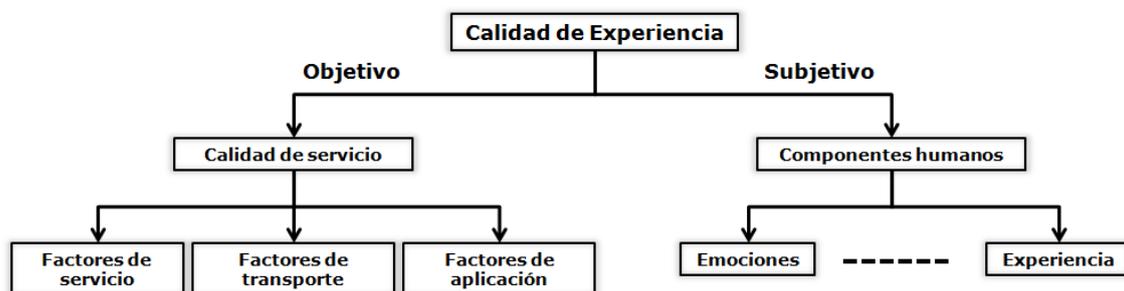


Figura 17. Clasificación de los factores que afectan a QoE

Los parámetros de que afectan a QoE y QoS [56] quedan definidos de la siguiente forma:

- **La degradación media:** Degradación del MOS media en la red según el códec utilizado en una transmisión de voz o video.
- **Retardo:** El tiempo medio de ida y vuelta durante la transmisión de un paquete que se envía a través de la red desde el emisor al receptor y viceversa. Si los paquetes son de video, definiremos el retardo como el tiempo necesario por la red de transporte para entregar dichos paquetes al usuario final. El retardo se utiliza en el cálculo del rendimiento extremo a extremo.
- **Jitter:** La variación en el tiempo de retardo de los paquetes que llegan a su destino. Los paquetes se envían a intervalos regulares desde el emisor al receptor, pero debido a la latencia de la red el intervalo entre los paquetes pueden variar en

el destino. Esta variación puede afectar a la calidad de los medios de comunicación.

- **Promedio de degradación por jitter:** Degradación del MOS media en la red causada por fluctuaciones en la red durante la transmisión. Degradación por fluctuación media es la cantidad de fluctuación que ha contribuido a la degradación media. Mediante este valor se puede determinar si el jitter es el principal contribuyente en la red de la degradación del MOS.
- **La pérdida de paquetes:** Relación entre los paquetes perdidos y el número total de paquetes enviados. La pérdida de paquetes influye en el MOS y por tanto en las características como el rendimiento de la transmisión.
- **Promedio de degradación por paquetes perdidos:** Degradación del MOS media en la red que es causada por la pérdida de paquetes durante la llamada. Degradación por pérdida de paquetes media es la cantidad de pérdida de paquetes que ha contribuido a la degradación media. Mediante este valor se puede determinar si la pérdida de paquetes era el principal contribuyente de la degradación del MOS en la red.
- **Velocidad de bits de vídeo:** Tasa media, en bits por segundo, del proceso de codificación por cada imagen de un video. La tasa de bits de video se utiliza en los contadores de rendimiento.
- **Pérdida de fotogramas de vídeo:** Numero medio de imágenes consecutivas, o fotogramas de video, perdidas durante la transmisión. Debido a que las imágenes de vídeo pueden abarcar varios paquetes, este valor puede ser más útil que la pérdida de paquetes en la evaluación de la calidad de video.
- **Tiempo de zapping:** En transmisiones de video es el tiempo que necesita un abonado para cambiar de canal y recibir el video en un nuevo canal. Un retraso de cambio de canal de 1 seg. se considera un zapping aceptable. Se considera instantáneo entre 100 ms. y 200 ms.
- **Tiempo de retardo Round-Trip (RTT):** Tiempo que tarda un paquete de datos enviado desde un emisor en volver a este mismo emisor habiendo pasado por el receptor de destino.
- **Tasa de fotogramas:** Fotogramas por segundo que se producen en la transmisión.
- **Estimación de ancho de banda:** Ancho de banda estimado disponible en la transmisión.
- **Densidad de ráfaga:** La fracción de paquetes de datos RTP (Real-Time Transport Protocol), en periodos de ráfaga, perdidos o descartados desde el inicio de la recepción. Un periodo de ráfaga es un periodo en el que una alta proporción de paquetes son o bien perdidos o eliminados por la llegada tardía de los mismos.
- **Longitud de ráfaga:** La duración media, expresada en milisegundos, de los periodos de ráfaga que se han producido desde el comienzo de la recepción.
- **Densidad de gap:** La fracción de paquetes de datos RTP entre ráfagas desde el inicio de recepción que se perdieron o descartaron.

- **Espacio entre etiquetas:** La duración media, expresada en milisegundos, de los periodos de carencias que se han producido desde el inicio de la recepción.

2.4.2.- Parámetros para Estimar QoE

Los principales parámetros que se suelen utilizar para estimar QoE en IPTV son:

- Mean Opinion Score (MOS). Proporciona una medida subjetiva que medirá desde el punto de vista del usuario la presencia de fallos en el servicio.
- Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). Sólo proporciona una indicación de la diferencia entre la trama recibida y una señal de referencia [57].
- Video Quality Metric (VQM). Proporciona una medición objetiva de la calidad percibida del video.
- Moving Picture Quality Metric (MPQM). Replica la experiencia de un observador humano y las tasas de envío del flujo IPTV en una escala de 1 a 5. La secuencia de vídeo original y la procesada se descomponen en los canales de percepción, para dar medidas basadas en canal. Se agrupan los datos de todos los canales para calcular la calidad que luego se califica en la escala de 1 a 5 [58].
- Color Moving Picture Quality Metric (CMPQM). CMPQM es una extensión de la métrica MPQM considerando el efecto del color en la calidad [59].
- Normalization Video Fidelity Metric (NVFM). NVFM se implementa sobre la base de una predicción visibilidad que emplea un modo de normalización [58]
- SSIM (Structural Similarity Index). La métrica SSIM se basa en la medición de fotograma a fotograma de tres componentes (similitud de luminancia, similitud de contraste y similitud estructural) y los combina en un único valor, llamado índice. El índice SSIM es un valor decimal entre 0 y 1, donde 0 significa correlación cero con la imagen original, y 1 significa que es exactamente la misma imagen.
- MSE (Mean Squared Error). El error cuadrático medio (MSE) es una forma de evaluar la diferencia entre un estimador y el valor real de la cantidad que se quiere calcular. El MSE mide el promedio del cuadrado del "error", siendo el error el valor en la que el estimador difiere de la cantidad a ser estimada.
- Zapping time. Es el tiempo requerido para obtener un trama adecuada en el STB para comenzar el procesamiento de decodificación de un nuevo canal [60].
- Video-Audio Synchronization.

Capítulo 3: Definición y montaje del Banco de Pruebas

En este apartado definimos las características principales de la red que vamos a utilizar así como las diferentes herramientas empleadas a lo largo del trabajo.

3.1.- Infraestructura de red para transmisión de IPTV

Nuestro objetivo es disponer de una topología de red para realizar la transmisión del flujo de vídeo, en la que en un extremo dispongamos de un servidor de vídeo y por otra parte conectaremos clientes distribuidos en distintas localizaciones.

Los requisitos que debe cumplir nuestra red son los siguientes:

- Diferentes tecnologías (Ethernet, WAN, Wireles...).
- Diferentes anchos de banda (8 Mbps, 54 Mbps, 100 Mbps, ...).
- Debe ser modular y escalable, para permitir ampliarla y observar los efectos producidos.
- Dispositivos que permitan ser configurados acorde a nuestras necesidades.
- Versátil y fácil de configurar, se deben utilizar dispositivos que no cueste configurarlos, en nuestro caso somos expertos en la configuración de dispositivos Cisco.

En el laboratorio, disponemos de un rack en el que encontramos los siguientes dispositivos:

- Routers Cisco de la serie 2800, en concreto modelos 2811
- Switches Cisco de las series Catalyst 2900 y 3600, en concreto modelos 2950 y 3560.

Estos dispositivos nos permitirán crear la topología para simular la interconexión entre diferentes redes que tendrán ámbitos local (LAN) y extenso (WAN).

También disponemos de PCs de sobremesa y portátiles, que actuarán como Servidor de IPTV y clientes.

Además, para realizar la conectividad inalámbrica tenemos los siguientes dispositivos:

- Puntos de acceso Cisco Aironet de la serie 1200
- Clientes inalámbricos USB y PCI, Cisco Aironet y Linksys

3.1.1.- Topología física

La topología física base implementada para el trabajo, está formada por diferentes PCs que se conectan entre sí utilizando switches, puntos de acceso y routers bien mediante líneas serial ISO 3309 [61] e ISO 4335 (HDLC) [62], o FastEthernet IEEE

802.3 (ethernet) [63] o conexiones inalámbricas IEEE 802.11 (WIFI) [64], tal como se muestran en la figura 18.

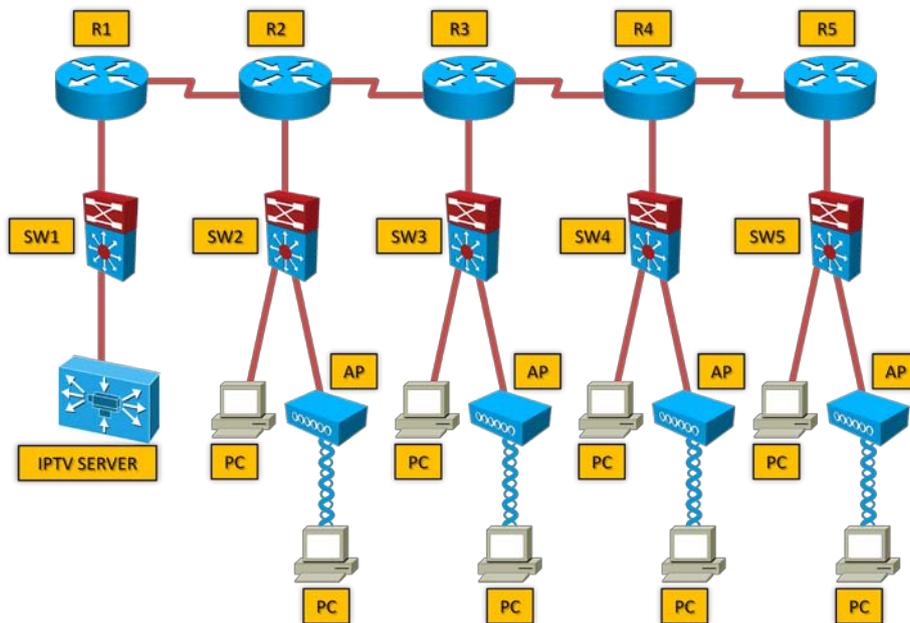


Figura 18. Topología física implementada

3.1.2.- Topología lógica

Desde el punto de vista lógico, la topología se compone de 8 redes. Las redes 0,2,4,6, y 8 se dividen en subredes que han sido asignadas a VLANs, definidas en el estándar IEEE 802.1q [65], según se puede apreciar en la figura 19.

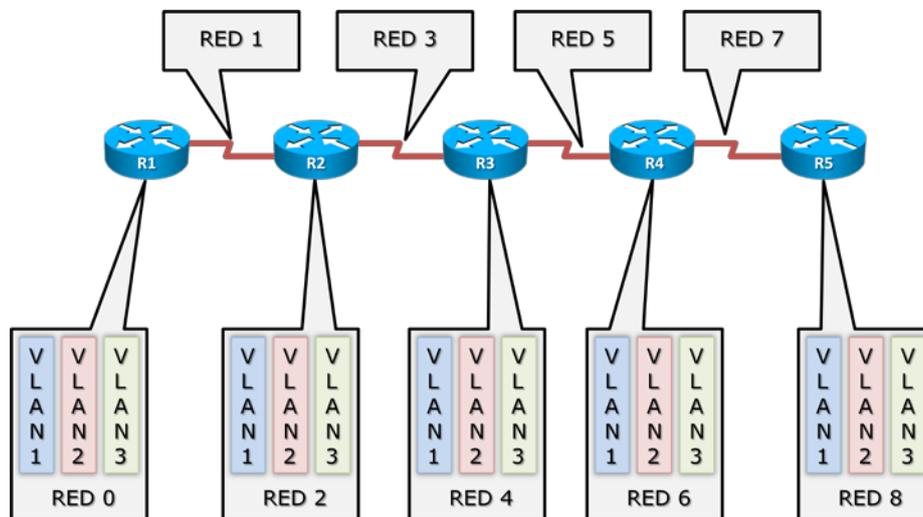


Figura 19. Topología lógica implementada

Aunque el nombre de las VLANs sea idéntico, al conectarse a diferentes routers implica que los dispositivos que se conectan a cada una de ellas pertenecen a una red diferente.

La tabla 2 muestra las diferentes redes y subredes tal como han sido asignadas a los dispositivos empleados en el trabajo.

TOPOLOGIA LOGICA				
Dispositivo	Interface	Red	Subred / VLAN	Función
R1	FA 0/0.1	192.168.0.0/24	192.168.0.0/26	-
R1	FA 0/0.2	192.168.0.0/24	192.168.0.64/26	-
R1	FA 0/0.3	192.168.0.0/24	192.168.0.128/26	-
R1	S 0/0/0	192.168.1.0/24	-	DCE
R2	S 0/0/0	192.168.1.0/24	-	DTE
R2	FA 0/0.1	192.168.2.0/24	192.168.2.0/26	-
R2	FA 0/0.2	192.168.2.0/24	192.168.2.64/26	-
R2	FA 0/0.3	192.168.2.0/24	192.168.2.128/26	-
R2	S 0/0/1	192.168.3.0/24	-	DCE
R3	S 0/0/1	192.168.3.0/24	-	DTE
R3	FA 0/0.1	192.168.4.0/24	192.168.4.0/26	-
R3	FA 0/0.2	192.168.4.0/24	192.168.4.64/26	-
R3	FA 0/0.3	192.168.4.0/24	192.168.4.128/26	-
R3	S 0/0/0	192.168.5.0/24	-	DCE
R4	S 0/0/0	192.168.5.0/24	-	DTE
R4	FA 0/0.1	192.168.6.0/24	192.168.6.0/26	-
R4	FA 0/0.2	192.168.6.0/24	192.168.6.64/26	-
R4	FA 0/0.3	192.168.6.0/24	192.168.6.128/26	-
R4	S 0/0/1	192.168.7.0/24	-	DCE
R5	S 0/0/1	192.168.7.0/24	-	DTE
R5	FA 0/0.1	192.168.8.0/24	192.168.8.0/26	-
R5	FA 0/0.2	192.168.8.0/24	192.168.8.64/26	-
R5	FA 0/0.3	192.168.8.0/24	192.168.8.128/26	-

Tabla 2. Topología lógica implementada

3.2.- Herramientas software utilizadas

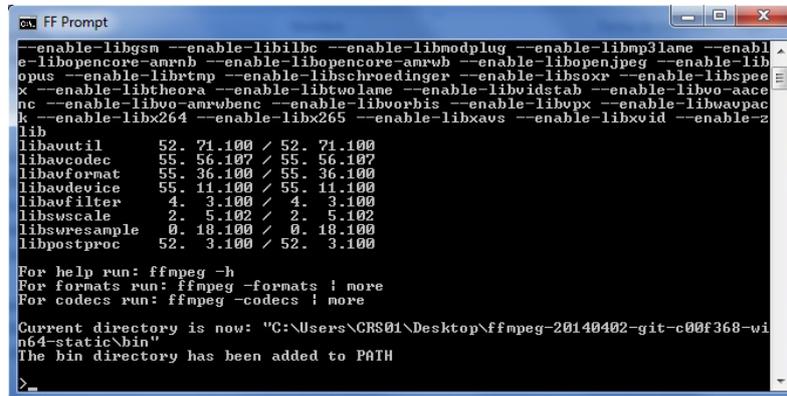
A lo largo de este apartado vamos a describir las herramientas utilizadas para poder montar el banco de pruebas donde realizar las medidas para el trabajo.

3.2.1.- FFmpeg

FFmpeg [66] es un software capaz de codificar, decodificar, transcodificar, multiplexar, demultiplexar, transmitir flujos, filtrar y reproducir casi cualquier formato. Contiene herramientas como ffmpeg, ffserver, ffplay y ffprobe que pueden ser utilizadas por los

usuarios finales para la transcodificación, streaming y reproducción, así como, libavcodec, libavutil, libavformat, libavfilter, libavdevice, libswscale y libswresample que pueden ser utilizadas por las aplicaciones.

El proyecto FFMpeg combina las mejores opciones de software libre disponible, está desarrollado en GNU/Linux, pero puede ser compilado en la mayoría de los sistemas operativos, incluyendo Windows, la figura 20 muestra el prompt de FFMpeg corriendo sobre Windows.



```

--enable-libgsm --enable-libilbc --enable-libmodplug --enable-libmp3lame --enabl
e-libopencore-amrnb --enable-libopencore-amrwb --enable-libopenjpeg --enable-lib
opus --enable-librtmp --enable-lbschroedinger --enable-libsoxr --enable-lbspeec
k --enable-libtheora --enable-libtwolame --enable-libvidstab --enable-libvo-aac
lc --enable-libvo-amrwbenc --enable-libvorbis --enable-libvpx --enable-libvaupac
k --enable-libx264 --enable-libx265 --enable-libxavs --enable-libxvid --enable-z
lib
libavutil      52. 71.100 / 52. 71.100
libavcodec     55. 56.107 / 55. 56.107
libavformat    55. 36.100 / 55. 36.100
libavdevice    55. 11.100 / 55. 11.100
libavfilter     4.  3.100 /  4.  3.100
libswscale     2.  5.102 /  2.  5.102
libswresample  0. 18.100 /  0. 18.100
libpostproc   52.  3.100 / 52.  3.100

For help run:  ffmpeg -h
For formats run:  ffmpeg -formats ? more
For codecs run:  ffmpeg -codecs ? more

Current directory is now: "C:\Users\CRS01\Desktop\ffmpeg-20140402-git-c00f368-wi
n64-static\bin"
The bin directory has been added to PATH

>

```

Figura 20. Prompt de FFMpeg

El proyecto lo inició Gerard Lantau, un seudónimo de Fabrice Bellard, y ahora es mantenido por Michael Niedermayer. Cualquier tipo de contribución es bien recibida, pero siempre se tiene en cuenta la seguridad, pues es una de sus principales prioridades, por eso siempre se tiene en cuenta en las revisiones de código.

FFmpeg proporciona un conjunto variado de herramientas que se describen a continuación:

- ffmpeg es una herramienta de línea de comandos que sirve para convertir en diferentes formatos los archivos multimedia.
- ffmpeg-server es un servidor de streaming multimedia para la transmisión en vivo.
- ffmpeg-play es un sencillo reproductor multimedia basado en SDL y las bibliotecas FFMpeg.
- ffmpeg-probe es un sencillo analizador de flujo multimedia.

y librerías para desarrolladores:

- libavutil es una biblioteca que contiene funciones para simplificar la programación, incluidos generadores de números aleatorios, estructuras de datos, rutinas matemáticas, utilidades multimedia base, y mucho más.
- libavcodec es una biblioteca que contiene los decodificadores y codificadores para códecs de audio / vídeo.
- libavformat es una biblioteca que contiene multiplexores y demultiplexores de formatos contenedores multimedia.

- libavdevice es una biblioteca que contiene dispositivos de entrada y salida para grabar y renderizar en los entornos de trabajo de software multimedia de entrada / salida más comunes, incluyendo Video4Linux, Video4Linux2, Vfw y ALSA.
- libavfilter es una biblioteca que contiene filtros de medios.
- libswscale es una biblioteca que lleva a cabo las operaciones de conversión de formato de espacio / pixel, escalado de imagen y color altamente optimizado.
- libswresample es una biblioteca que lleva a cabo las operaciones de conversión de formato de muestreo, remuestreo y altamente rematrixing optimizado.

3.2.2.- Wireshark

Wireshark es el analizador de protocolos de red más famoso del mundo, permite ver lo que está sucediendo en la red a un nivel microscópico [67]. Es de facto (y a menudo de jure) el estándar en muchas industrias e instituciones educativas.

Wireshark tiene un rico conjunto de características, incluye las siguientes:

- Inspección profunda de cientos de protocolos, con el tiempo cada vez se añaden más
- Captura en vivo y análisis fuera de línea
- Navegador estándar de paquetes dividido en tres ventanas
- Multiplataforma : Se ejecuta en Windows, Linux, OS X , Solaris , FreeBSD , NetBSD , y muchos otros
- Los datos capturados de la red se pueden consultar a través de una interfaz gráfica de usuario , o por medio de la utilidad TShark en modo TTY
- Los más poderosos filtros de visualización en la industria
- Análisis VoIP
- Lee / escribe diversos formatos de archivo de captura diferentes: tcpdump (libpcap), Pcap NG, Catapult DCT2000, Cisco Secure IDS iplog, Microsoft Network Monitor, Network General Sniffer® (compressed and uncompressed), Sniffer® Pro, and NetXray®, Network Instruments Observer, NetScreen snoop, Novell LANalyzer, RADCOW WAN/LAN Analyzer, Shomiti/Finisar Surveyor, Tektronix K12xx, Visual Networks Visual UpTime, WildPackets EtherPeek/TokenPeek/AiroPeek, y muchos otros
- Captura de archivos comprimidos con gzip que pueden ser descomprimidos en el momento
- Los datos en tiempo real se pueden capturar desde Ethernet, IEEE 802.11, PPP / HDLC, ATM, Bluetooth, USB, Token Ring, Frame Relay, FDDI, y otros (dependiendo de la plataforma)

- Soporta el descifrado para muchos protocolos, incluyendo IPsec, ISAKMP, Kerberos, SNMPv3, SSL / TLS, WEP, WPA/WPA2
- Se pueden aplicar reglas que colorean la lista de paquetes para un rápido análisis intuitivo
- La salida se puede exportar a XML, PostScript®, CSV, o texto plano

La figura 21 muestra la interfaz gráfica de Wireshark.

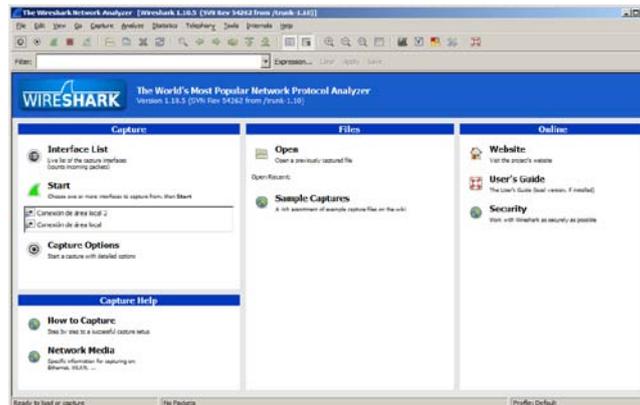


Figura 21. Interfaz gráfica de Wireshark

3.2.3.- Herramienta de inyección de tráfico (Testtool)

Se ha utilizado una herramienta que permite inyectar tráfico en la red, para de esta forma, variar el rendimiento de la topología empleada y poder observar su comportamiento.

La herramienta empleada, que se muestra en la figura 22, ha sido desarrollada por Carlos Barambones Ferrara en el Trabajo Final de Carrera "Desarrollo de una aplicación basada en Java para testear el rendimiento de una red de datos", de la titulación Ingeniero Técnico de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de Valencia, Escuela Politècnica Superior de Gandia [68].

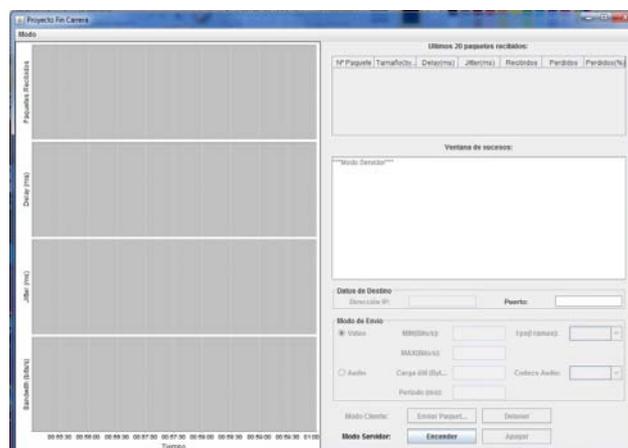


Figura 22. Interface gráfica de la herramienta de inyección de tráfico (Testtool)

Las principales características de la herramienta son:

- Permitir el estudio de los distintos parámetros QoS sobre una topología de red.
- Permitir realizar el estudio de la red en tiempo real, mediante el uso de gráficas, estadísticas o tablas de datos que permitan al usuario ver de manera intuitiva la calidad de servicio en cada momento.
- Medir los distintos parámetros que afectan a la QoS (Jitter, Delay, Paquetes perdidos,...) de una red, soportando el envío tanto de tráfico de Video como el de Audio.
- Dar la posibilidad al usuario de almacenar los datos registrados en las tablas en archivos .XLS de Microsoft Excel, para tener un fácil manejo de ellos en estudios posteriores.

Esta herramienta tiene dos modos fundamentales de trabajo que son: modo servidor y modo cliente. La herramienta cuando se instala en un PC y trabaja en modo servidor, abre un puerto que va a encargarse de recibir el tráfico generado desde un PC que actúe en modo cliente y reenviárselo para realizar los estudios adecuados de QoS. En modo cliente, le debemos indicar la dirección del servidor que es donde se va a enviar el tráfico, el puerto que utilizaremos (que coincidirá con el configurado en el servidor) y el modo de envío que puede ser generando tráfico de vídeo o audio.

3.2.4.- VLC

VLC es la solución de Videolan para realizar transmisión de flujos de vídeo [69].

Diseñado inicialmente, en 1996, por alumnos de la École Centrale Paris, desde 2009 es desarrollado por programadores libres y coordinado por la organización sin ánimo de lucro VideoLan.

VLC Media Player puede ser utilizado, tanto como servidor o como cliente, para transmitir y recibir flujos de vídeo en red, siendo capaz de reproducir la mayoría de los medios y formatos de vídeo existentes. La figura 23 muestra una captura del reproductor multimedia VLC,

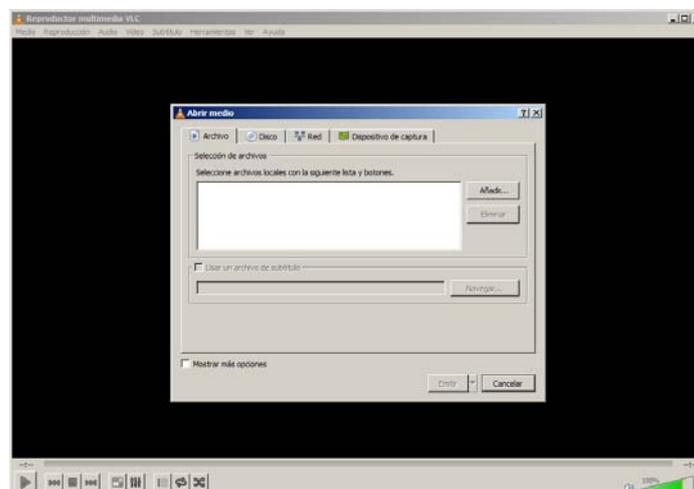


Figura 23. Reproductor multimedia VLC

Capítulo 4: Desarrollo

Para llevar a cabo las pruebas, acometeremos una serie de pasos que nos permitirán hacerlo de una forma ordenada, estos van a ser:

- Instalación de los diferentes programas utilizados
- Implementación de la topología base
- Selección del vídeo de referencia y codificación para su posterior transmisión
- Transmisión del vídeo a través de diferentes casos utilizando la topología implementada.

Cada uno de los diferentes pasos en los que se ha dividido el proceso de pruebas, va a ser desarrollado en los siguientes puntos.

4.1.- Instalación de los programas utilizados

En los PCs que tenemos a nuestra disposición en el laboratorio se han instalado todos los programas que vamos a utilizar para poder llevar a cabo nuestro trabajo.

Hemos decidido instalar todos los programas en todos los equipos, para que en caso de que fallara alguno de ellos, pudiéramos seguir utilizando cualquier otro para sustituirlo.

Como ya se ha comentado en el apartado 3.2, hemos instalado los siguientes programas software:

- **FFmpeg**. Mediante este programa ajustaremos la secuencia de vídeo descargada con un códec y una extensión adecuados, para que pueda ser tratada con mayor facilidad durante la fase de evaluación.
- **Whreshark** (versión 1.10.5). Con esta herramienta software capturaremos el tráfico generado en los puntos de la red apropiados, normalmente realizamos la captura de tráfico en el equipo destino, que es donde está funcionando el cliente VLC y se recibe el flujo de vídeo.
- **Herramienta de generación de tráfico** (Testtool). Gracias a esta herramienta generaremos tráfico que se inyectará en distintos puntos de la topología, según nuestro interés, hasta llegar a saturar los enlaces y producir pérdidas que incidirán tanto en QoS como en QoE.
- **VLC media player**. (versión 2.1.3). Nos va permitir utilizarlo tanto como servidor, como cliente para la transmisión y recepción del vídeo. Hemos tenido que instalar la misma versión de VLC en todos los PCs, pues observamos que en ocasiones al utilizar diferentes versiones de la misma aplicación teníamos problemas.

4.1.1.- Configuración de servidores y clientes VLC

Como ya hemos comentado en el punto 4.1 se instaló VLC que puede actuar tanto como servidor de vídeo, como cliente.

Para poder transmitir el vídeo desde un PC, actuando VLC como servidor se configuró siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

En el menú *Medio*, seleccionamos la opción *Emitir*, según se muestra en la figura 24.

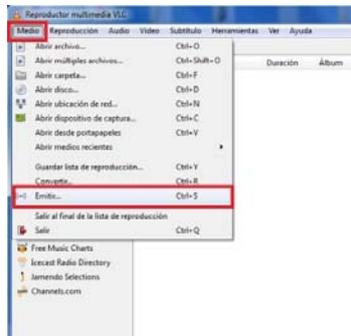


Figura 24. Selección de emisión en VLC

En la ventana *Abrir medio*, dentro de la pestaña *Archivo*, mediante el botón *Añadir* seleccionamos el vídeo que será transmitido. Una vez seleccionado pulsamos sobre el botón *Emitir*, como muestra en la figura 25.

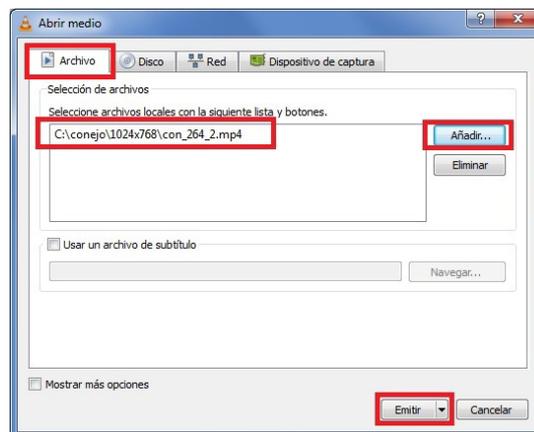


Figura 25. Selección de archivo que se va a emitir en el servidor VLC

Aparecerá la ventana *Salida de emisión - Fuente*, donde podemos configurar las fuentes de medios a transmitir. Observamos que el campo *Fuente* muestra el archivo que se va a enviar, que ya fue seleccionado en el paso anterior. Pulsamos sobre el botón *Next*, como muestra la figura 26

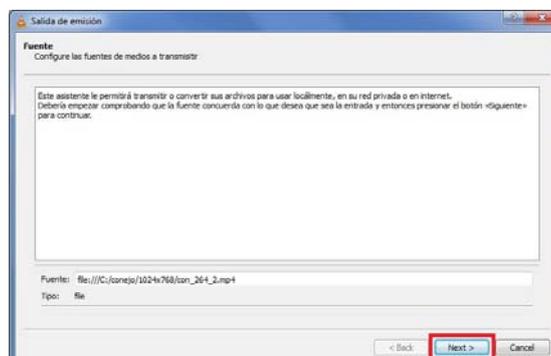


Figura 26. Selección de la fuente que se va a emitir en el servidor VLC

En la ventana *Salida de emisión - Configuración de destino* + seleccionaremos *Mostrar en local* también seleccionaremos la opción *RTP/MPEG Transport Stream* y pulsaremos sobre el botón *Añadir*, como muestra la figura 27.

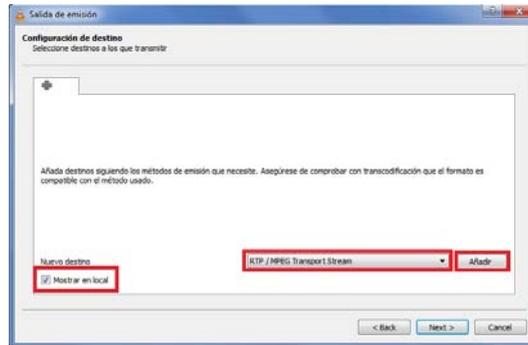


Figura 27. Selección del protocolo utilizado en la transmisión en el servidor VLC

En la ventana *Salida de emisión - Configuración de destino RTP/TS* en el campo *Dirección* configuraremos la dirección IP del equipo donde se encuentra ubicado el cliente que recibirá el vídeo, en el campo *Puerto Base* configuraremos el puerto 5004 que es el que asignamos a RTP y en el campo *Nombre de emisión* le damos el nombre que es el utilizado en esta transmisión, una vez realizado todo esto pulsamos sobre el botón *Next*, como muestra la figura 28.

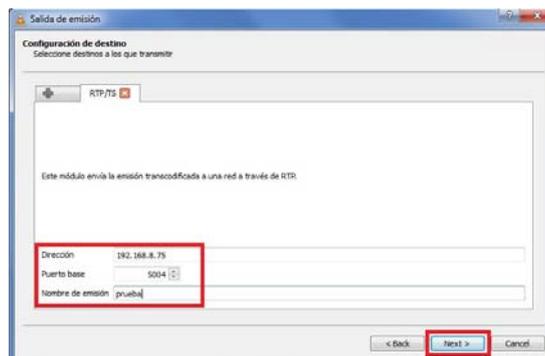


Figura 28. Configuración IP equipo destino y puerto RTP/TS en servidor VLC

En la ventana *Salida de emisión - Opciones de Transcodificación* deshabilitamos la opción *Habilitar transcodificar*, seleccionamos *Video - H.264 + MP3 (MP4)* y pulsamos sobre el botón *Next*, como muestra la figura 29.

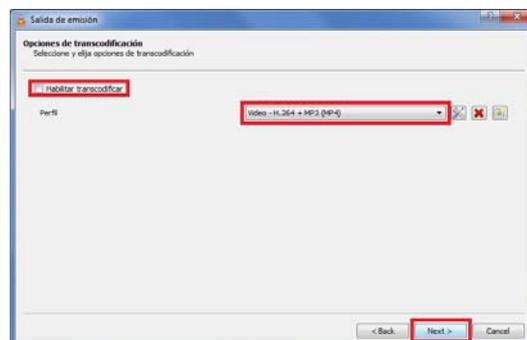


Figura 29. Desactivación de opciones de transcodificación en el servidor VLC

Por último en la ventana *Salida de emisión - Configuración de preferencias* solamente deberemos pulsar sobre el botón *Stream* y comenzará la transmisión del vídeo, como muestra la figura 30.

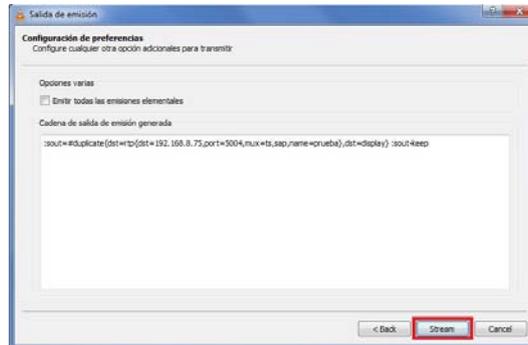


Figura 30. Activación de la emisión en el servidor VLC

De la misma forma, también ha sido muy importante la configuración del cliente, pues era necesario capturar el vídeo recibido para que posteriormente fuera visualizado por diferentes personas para evaluar el MOS.

La configuración del cliente es diferente a la del servidor y se realizó siguiendo los pasos detallados a continuación.

Igual que en caso del servidor en el menú *Medio*, seleccionamos la opción *Emitir*, según se muestra en la figura 24.

En la ventana *Abrir medio* dentro de la pestaña *Red*, en *Introducir una URL* lo que introducimos es el protocolo y el puerto sobre el que se realiza la transmisión *rtsp://@5004*, que es el mismo elegido en el servidor, una vez seleccionado pulsamos sobre el botón *Emitir*, como muestra la figura 31.

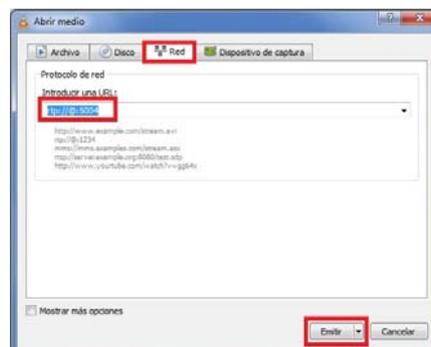


Figura 31. Selección de protocolo y puerto de recepción de vídeo en el cliente VLC

Aparecerá la ventana *Salida de emisión - Fuente* donde deberemos asegurarnos que el campo *Fuente* tenga seleccionado el protocolo y el puerto que se va a utilizar, en este caso *rtsp://:5004*, que es el seleccionado en el paso anterior, pulsamos sobre el botón *Next*, como muestra la figura 32.

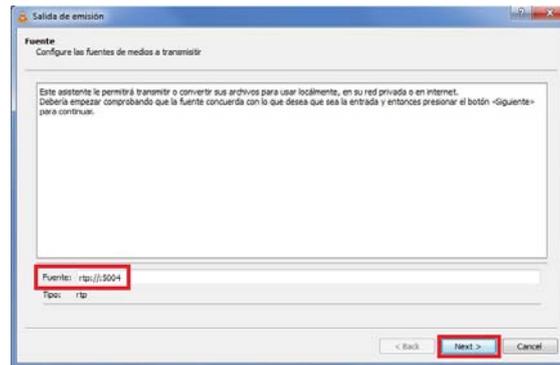


Figura 32. Selección de la fuente que se va a recibir en el cliente VLC

En la ventana *Salida de emisión - Configuración de destino* + seleccionaremos *Mostrar en local* y pulsaremos sobre el botón *Añadir*, como muestra la figura 33.

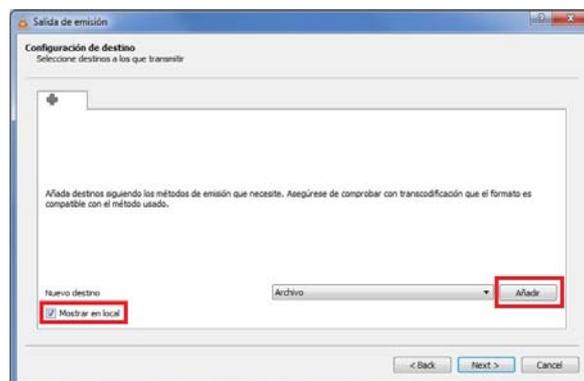


Figura 33. Selección para que muestre en local el vídeo recibido en el cliente VLC

En la ventana *Salida de emisión - Archivo* en el campo *Nombre de archivo* seleccionaremos el nombre y la ubicación con la que queremos guardar el vídeo recibido, una vez realizado todo esto pulsamos sobre el botón *Next*, como muestra la figura 34.

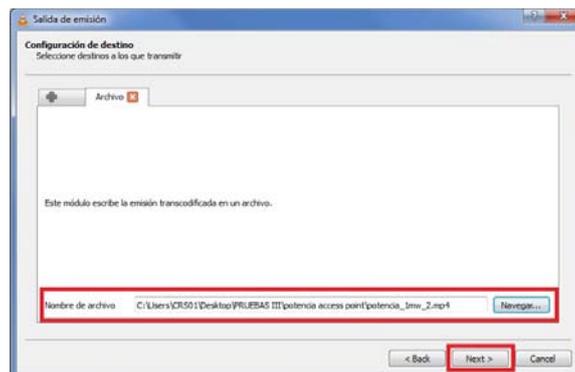


Figura 34. Selección del almacenamiento del vídeo recibido en el cliente VLC

En la ventana *Salida de emisión - Opciones de Transcodificación* deshabilitamos la opción *Habilitar transcodificar*, seleccionamos *Video - H.264 + MP3 (MP4)* y pulsamos sobre el botón *Next*, como muestra la figura 35.

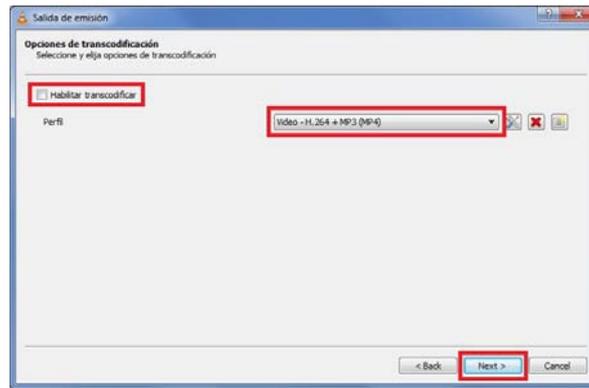


Figura 35. Desactivación de opciones de transcodificación en el cliente VLC

Por último en la ventana *Salida de emisión - Configuración de preferencias* solamente deberemos pulsar sobre el botón *Stream* y comenzará a recibir y almacenar el vídeo que se está transmitiendo desde el servidor, como muestra la figura 36.

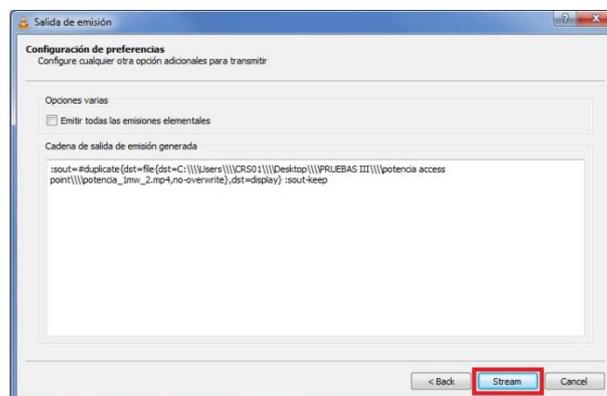


Figura 36. Activación de la recepción y almacenamiento en el cliente VLC

4.1.2.- Configuración de servidor y cliente en la herramienta de inyección de tráfico

Como ya se ha comentado en el punto 3.2.3, se ha utilizado una herramienta que permite inyectar tráfico en la red, para de esta forma variar el rendimiento de la topología empleada y poder observar su comportamiento.

Para que todo funcione de manera correcta se debe instalar al menos en dos equipos de la topología, uno configurado como servidor y otro como cliente, y será entre ellos donde se estará enviado un tráfico que puede llegar a afectar la transmisión de vídeo.

En primer lugar se debe seleccionar la función que va a realizar el PC, o bien actúa como servidor o como cliente, una vez abierta la herramienta pulsamos sobre el menú *Modo* y seleccionamos la opción correspondiente tal como muestra a figura 37.



Figura 37. Selección del modo de funcionamiento en Testool

Si el PC se ha configurado como servidor, en el campo *Puerto* se establecerá el número de puerto por el que se envía el tráfico. Se deberá seleccionar un puerto que

no sea utilizado por cualquier otro servicio o software, además deberemos pulsar sobre el botón *Encender* para que comience a funcionar, tal como se muestra en la figura 38.

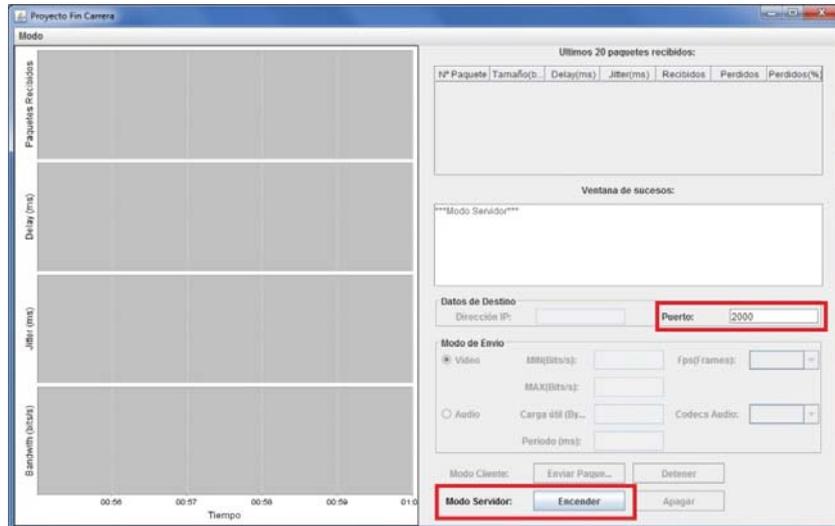


Figura 38. Configuración del servidor en Testool

Si el PC se ha configurado como cliente, en el campo *Dirección IP* se establecerá la dirección IP del servidor al que se envía el tráfico, el campo *Puerto* se establecerá con el mismo número de puerto configurado en el servidor, en *Modo de Envío* seleccionamos el tipo de tráfico y la tasa bits que se va a enviar, y por último deberemos pulsar sobre el botón *Enviar Paquete...* para que comience a enviar tráfico hacia el servidor, tal como se muestra en la figura 39.

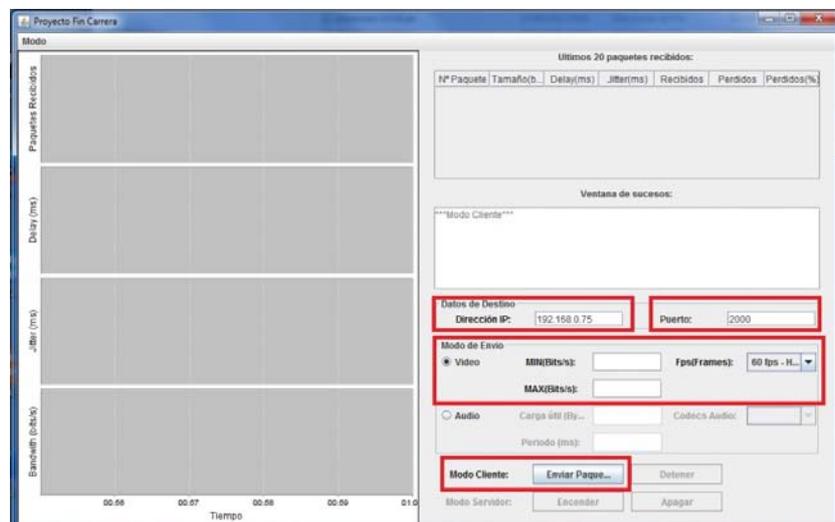


Figura 39. Configuración del cliente en Testool

4.1.3.- Configuración de Whreshark

En el apartado 3.2.2 describimos la funcionalidad de la herramienta Whreshark, entre sus características, destacamos la capacidad de captura de tráfico en los puntos de la red donde nos interesa realizar el estudio.

Su activación resulta muy sencilla, pues solo se debe seleccionar la interfaz desde donde se va a capturar el vídeo, en la figura *Conexión de área local*, y posteriormente se pulsa sobre el botón *Start*, tal como se muestra en la figura 40, y ya comienza a capturar todo en tráfico que atraviesa la interfaz.

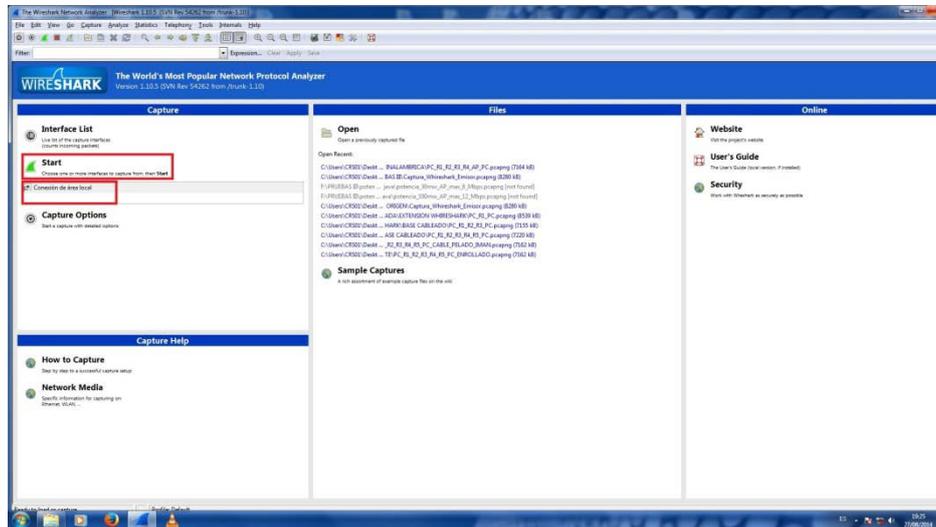


Figura 40. Selección de interfaz y activación de captura en Whireshark

Una vez capturado el tráfico se deberá seleccionar el que interesa en las pruebas, en nuestro caso el tráfico transmitido a través del protocolo RTP, que es el que activamos en la herramienta VLC. Para hacerlo seleccionamos un paquete de la secuencia de vídeo, tal como se muestra en la figura 41.

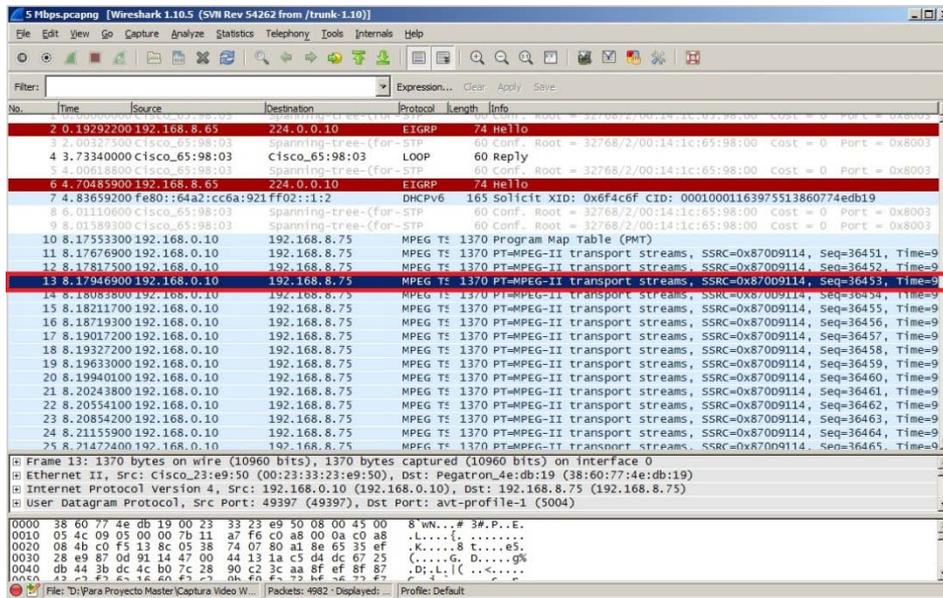


Figura 41. Selección de un paquete de la secuencia de vídeo

El siguiente paso es seleccionar dentro del menú *Analyze* la opción *Decode As*, así se desplegará una ventana en la que deberemos situarnos en la pestaña *Transport* y seleccionar el protocolo *RTP*. Por último pulsamos el botón *OK*, tal como muestra en la figura 42.

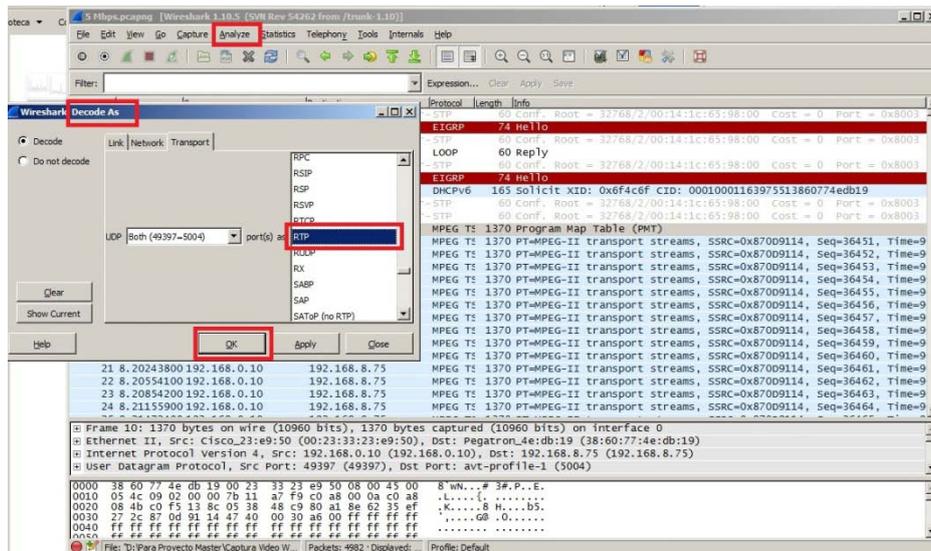


Figura 42. Selección del protocolo de transporte RTP

Para finalizar, si queremos observar los resultados de la captura obtenida con Whireshark, deberemos seleccionar dentro del menú *Statistics* la opción *Gráfica IO*, esto hará que aparezca la ventana de la gráfica, tal como muestra la figura 43.

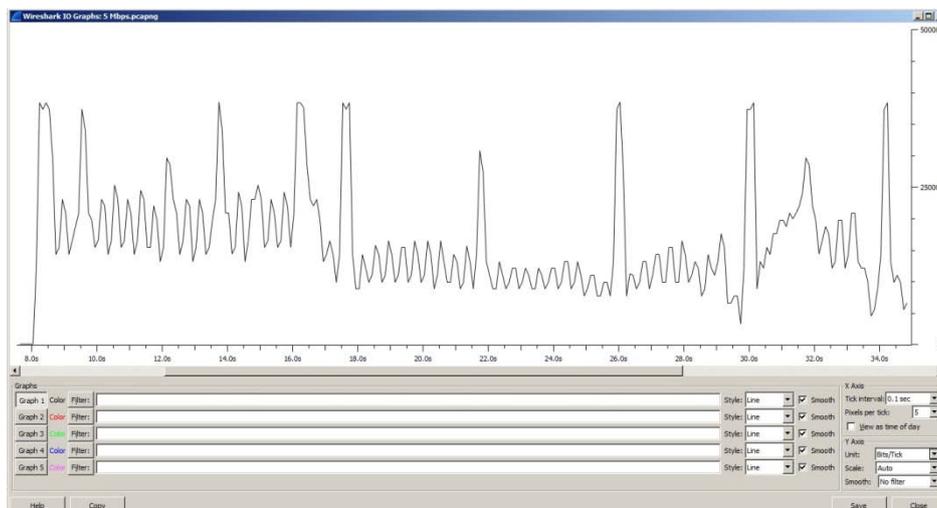


Figura 43. Gráfica de Whireshark del vídeo recibido

4.2.- Implementación de la topología base

Seguidamente hemos pasado a montar la topología física que describimos en el apartado 3.1.1. Una vez montada, hemos comenzado a configurar los diferentes dispositivos de red y equipos hasta que conseguimos disponer de la topología lógica base que describimos en el apartado 3.1.2.

En los siguientes puntos, explicamos la configuración genérica de los dispositivos principales que constituyen la topología.

4.2.1.- Configuración general de Router

Como ya hemos comentado en el punto 3.1.1 nuestra topología física está compuesta por cinco routers Cisco. Los comandos principales empleados para configurar estos dispositivos son los siguientes: nombre del dispositivo, interface Fastethernet con subinterfaces (que es la que conectará al switch local, desde dicho switch alcanzamos los PCs conectados a las VLANs locales), interface serial (WAN) donde alguno de los dos extremos de la conexión se encargará de enviar la señal de reloj al otro router actuando como DCE y por último, el protocolo de enrutamiento que permite que los routers realicen su labor de encaminamiento entre redes.

Un ejemplo de configuración es el siguiente:

```
hostname R1
!  
interface FastEthernet0/0  
no ip address  
duplex auto  
speed auto  
no shutdown  
!  
interface FastEthernet0/0.1  
encapsulation dot1Q 1 native  
ip address 192.168.0.1 255.255.255.192  
!  
interface FastEthernet0/0.2  
encapsulation dot1Q 2  
ip address 192.168.0.65 255.255.255.192  
!  
interface FastEthernet0/0.3  
encapsulation dot1Q 3  
ip address 192.168.0.129 255.255.255.192  
!  
interface Serial0/0/0  
ip address 192.168.1.1 255.255.255.0  
bandwidth 8000000  
no shutdown  
clock rate 8000000  
!  
router eigrp 100  
network 192.168.0.0  
network 192.168.1.0
```

4.2.2.- Configuración general de Switch

Como ya hemos comentado en el punto 3.1.1 nuestra topología física está compuesta por cinco switches Cisco. Los comandos principales empleados para configurar estos dispositivos son los siguientes: nombre del dispositivo, activación de Spanning Tree (en nuestro caso Per VLAN Spanning Tree), asignación de interfaces a VLANs y asignación de interface a puerto troncal (que es el puerto que va a estar conectado con la interface Fastethernet del router).

Un ejemplo de configuración es el siguiente:

```
hostname SW1  
!
```

```
spanning-tree mode pvst
!  
interface FastEthernet0/1  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/2  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/6  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/7  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
!  
!  
interface FastEthernet0/10  
  switchport access vlan 1  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/11  
  switchport access vlan 1  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/12  
  switchport mode trunk
```

4.2.3.- Configuración de Punto de Acceso

Los puntos de acceso Cisco Aironet de la serie 1200 se han configurado empleando comandos para activar sus funciones principales, que son: nombre del dispositivo, identificador (SSID), tipo de autenticación, velocidades de conexión e interface BVI para conectar e identificar el dispositivo dentro de la VLAN correspondiente.

Un ejemplo de configuración es el siguiente:

```
hostname AP  
!  
dot11 ssid CiscoAP  
  authentication open  
  guest-mode  
!  
speed basic-1.0 basic-2.0 basic-5.5 6.0 9.0 basic-11.0 12.0 18.0 24.0  
36.0 48.0 54.0  
!  
ssid CiscoAP  
!  
interface BVI1  
ip address 192.168.8.80 255.255.255.192
```

4.3.- Selección y codificación del vídeo de referencia

Para realizar las medidas seleccionamos un video que se utilizó como referencia, dicho vídeo es Big Buck Bunny, versión Sunflower, este vídeo fue descargado de la página que se muestra en la figura 44 y que se encuentra accesible en el sitio web bigbuckbunny [70], se utiliza ampliamente en el ámbito del estudio de la transmisión de vídeo.



Figura 44. Sitio web de Big Buck Bunny

Como queremos disponer de un vídeo de referencia que luego sea visualizado por un grupo de personas para medir la QoE mediante MOS, hemos decidido recortar la duración inicial del vídeo que era de 10 minutos con 34 segundos a una duración de 37 segundos.

Los segundos que vamos a utilizar los hemos seleccionado porque se observan cambios de planos y tamaños de forma constante, ya que presuponemos que en ellos es más probable la aparición de errores.

Las características del vídeo de referencia que vamos a generar, partiendo del que se ha descargado del sitio web, son las siguientes:

- Ancho fotograma: 1024
- Alto fotograma: 768
- Códec: H264
- Fotogramas/segundo: 60
- Duración: 37 segundos
- Tasa de bits final: 1496 Kbps

El tamaño 1024x768, elegido para el vídeo, se ha utilizado porque después de realizar pruebas de transmisión a través de los enlaces serial (WAN) de los routers, era el de mayor tamaño que permitía realizar la emisión del vídeo sin apreciarse errores en el equipo destino.

Para la creación de este vídeo utilizamos la herramienta FFmpeg, según se muestra en la figura 45.

```

C:\> FF Prompt
>ffmpeg -i C:\Conejo\conejo.mp4 -filter:v scale=1024x768 -vcodec libx264 -r 60 -
ss 30 -t 38 -an -acodec copy C:\Conejo\1024x768\con_264_prueba_60fps.mp4

```

Figura 45. Prompt de FFmpeg para codificación del vídeo de referencia

Todas las características se han configurado mediante los siguientes parámetros:

Vídeo origen: C:\Conejo\conejo.mp4
 Ancho y alto del fotograma: -filter:v scale=1024x768

Códec: -vcodec libx264
 Fotogramas/segundo: -r 60
 Duración, desde el segundo 30 del original hasta el 38: -ss 30 -t 38
 Vídeo final: C:\Conejo\1024x768\con_264_prueba_60fps.mp4

4.4.- Transmisión del vídeo a través de diferentes casos

A partir del momento en el que disponemos del vídeo de referencia, de los servidores y de los clientes para la transmisión de vídeo, del software de captura de tráfico y del software de generación de tráfico, vamos a plantear diferentes casos para observar lo que ocurre cuando transmitimos nuestro vídeo de referencia en cada uno de ellos.

Los casos de estudio que se han tratado son los siguientes:

- Caso 1. Transmisión de la línea base cableada e inalámbrica
- Caso 2. Modificación de la señal de reloj en los enlaces WAN de los routers
- Caso 3. Inyección de tráfico con diferentes anchos de banda y transmisión y recepción cableada
- Caso 4. Transmisión al cliente inalámbrica modificando la potencia del punto de acceso y del cliente inalámbrico
- Caso 5. Inyección de tráfico con diferentes anchos de banda a través de dos clientes inalámbricos variando la potencia del punto de acceso

En los siguientes puntos describimos cada uno de los casos tratados.

4.4.1.- Caso 1. Transmisión de la línea base cableada e inalámbrica

En la primera transmisión realizada, que se denominó línea base pues nos servirá de referencia en la calidad del vídeo recibido para el resto de los casos ya que no existe ningún factor que afecte a la transmisión, utilizamos la topología que se muestra en la figura 46. Entre el servidor IPTV y el cliente, que podía ser tanto cableado como inalámbrico, se tenían que atravesar cinco routers y dos switches, además en el caso del cliente inalámbrico debía atravesar un punto de acceso.

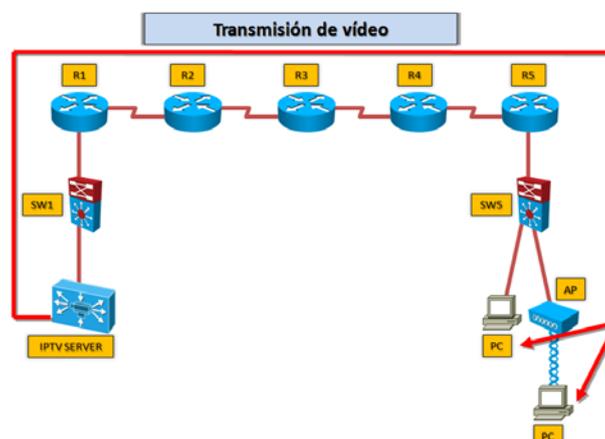


Figura 46. Topología física para el Caso 1

Se realizaron las siguientes acciones:

- Comprobación del funcionamiento correcto de equipos, dispositivos de red y cableado
- Comprobación de la comunicación correcta mediante pings entre los equipos.
- Transmisión del vídeo desde el equipo Servidor IPTV, mediante VLC actuando como servidor , hasta el equipo cliente, donde VLC actúa como cliente y se captura el vídeo recibido, a la vez que se capturan todos los datos necesarios mediante Whreshark.

Estas acciones se repitieron en todos los casos que se estudiaron y que se detallan en los siguientes puntos.

4.4.2.- Caso 2. Modificación de la señal de reloj en enlaces WAN de routers

En este caso se empleó la misma topología que se muestra en la figura 43, que es la utilizada en el caso 1.

La diferencia con el caso 1 es que para este supuesto se modificó el clock rate de los enlaces WAN entre los routers, de esta forma conseguimos que en el vídeo recibido según se disminuye el valor del clock rate se vaya deteriorando. Los valores que se seleccionaron para la variación del clock rate son: 5.3 Mbps, 4 Mbps y 2 Mbps.

Para establecer el clock rate de los routers desde su valor inicial, que era 8 Mbps, a los valores seleccionamos, debemos cambiar el parámetro de velocidad en los comandos *bandwith* y *clock rate*. La tabla 3 muestra un ejemplo del cambio para establecer los parámetros a 5.3 MBPS.

Configuración original a 8 Mbps	Configuración a 5.3 Mbps
<pre>interface Serial0/0/0 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0 bandwidth 8000000 no shutdown clock rate 8000000</pre>	<pre>interface Serial0/0/0 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0 bandwidth 5300000 no shutdown clock rate 5300000</pre>

Tabla 3. Variación de clock rate en interfaces serial

La modificación se ejecuta en los en las interfaces serial de los routers 1, 2, 3 y 4 que son los que actúan como DCE tal como se muestra en la figura 47.

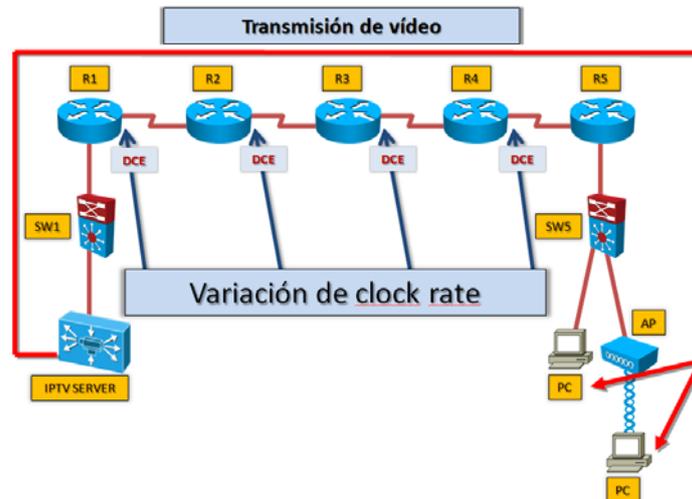


Figura 47. Puntos de variación del clock rate en la topología física para el Caso 2

4.4.3.- Caso 3. Inyección de tráfico con diferentes anchos de banda y transmisión y recepción cableada

Para este caso, se decidió inyectar tráfico en la ruta que sigue la transmisión del vídeo para observar cuando llegamos a estresar su calidad. Se conectó un PC, con la herramienta testtool activada como servidor, al Switch 2 que está conectado al Router 2, también se conectó un PC, con la herramienta testtool activada como cliente, al Switch 4 que está conectado al Router 4, tal como se muestra en la figura 48. En este caso volvemos a configurar el clock rate de los enlaces WAN entre los routers a 8 Mbps.



Figura 48. Inyección de tráfico en la topología física para el Caso 3

Desde la herramienta testtool, que genera patrones de tráfico, inyectamos a 1 Mbps, 1,5 Mbps, 2 Mbps, 3 Mbps, 4 Mbps y 5 Mbps, a la vez que se transmitía el vídeo de referencia para observar si la calidad del vídeo disminuía en la recepción.

4.4.4.- Caso 4. Transmisión al cliente inalámbrica modificando la potencia del punto de acceso y del cliente VLC

En este caso, de nuevo utilizamos una topología similar a la empleada en el caso 1, aunque en esta ocasión el cliente final cableado no se emplea, la diferencia

fundamental es que se va a modificar la potencia de transmisión del punto de acceso, tal como se muestra en la figura 46.

Al modificar la potencia de transmisión del punto de acceso, lo que se consigue es reducir su velocidad de transmisión, lo que podría llevar aparejado una disminución en la calidad de vídeo en la recepción.

Las potencias de transmisión empleadas en el punto de acceso han sido 100 mW, 50 mW, 20 mW, 10 mW, 5 mW y 1 mW.

Una vez realizada la primera tanda de pruebas se volvió a realizar la transmisión manteniendo la potencia del punto de acceso a 100 mW, mientras que se modificó la potencia en el cliente VLC a los valores de 100 mW, 20 mW, 10 mW, 5 mW y 1 mW, tal como se muestra en la figura 49.

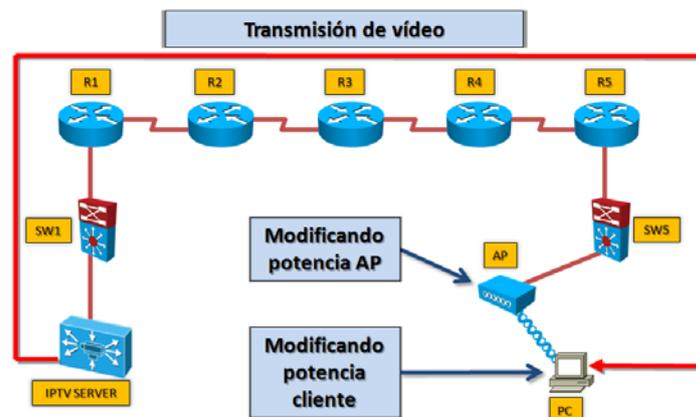


Figura 49. Variación de la potencia en el AP y cliente VLC para el Caso 4

4.4.5.- Caso 5. Inyección de tráfico con diferentes anchos de banda a través de dos clientes inalámbricos variando la potencia del punto de acceso

En este caso se incorporaron unos PCs que tenían instalados clientes inalámbricos, uno con la herramienta testtool configurada como servidor y otro como cliente, y se conectaron al punto de acceso donde también está conectado el PC con el cliente VLC que recibe el vídeo, tal como muestra la figura 50.

Las pruebas se realizaron con el PC donde se instaló el cliente VLC transmitiendo a la máxima potencia permitida (100mW), a la vez que el punto de acceso variaba la potencia de transmisión a 100 mW, 30 mW, 10 mW, 5 mW y 1 mW, mientras los otros dos clientes inalámbricos inyectaban tráfico a 6 Mbps, 8 Mbps, 10 Mbps, 12 Mbps.

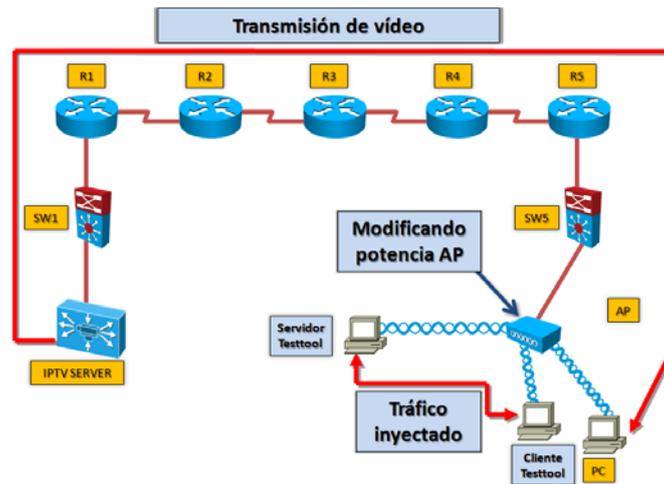


Figura 50. Inyección de tráfico y variación de potencia en AP para Caso 5

Capítulo 5: Resultado de las pruebas

En este capítulo se muestra la información capturada durante las pruebas realizadas para cada uno de los casos descritos en el capítulo 4. Información capturada mediante la herramienta Whireshark instalada en el PC donde también se instaló el cliente VLC, destino de la transmisión del vídeo de referencia. Además, sobre las gráficas se adjuntan capturas de fotogramas donde se observan algunas de las degradaciones que se han producido durante la transmisión, en caso de que se hubieran producido.

La gráfica de la captura del vídeo de referencia consecuentemente sin errores, al ser el vídeo original, se muestra en la figura 51.

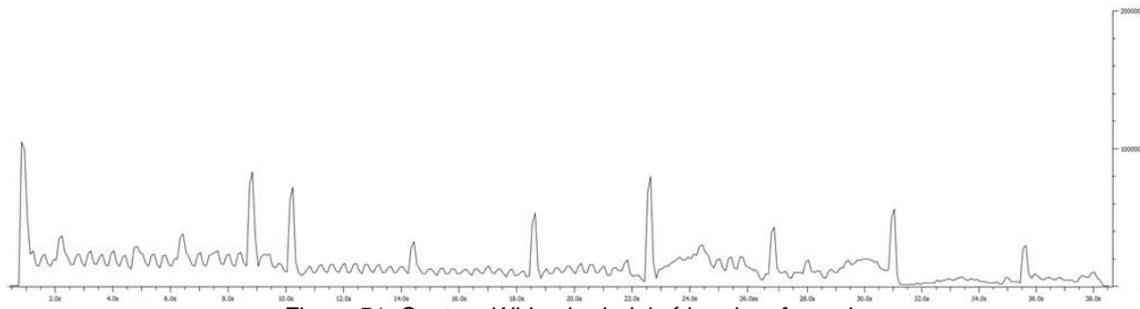


Figura 51. Captura Whireshark del vídeo de referencia

En los siguientes apartados se va a mostrar la información obtenida a lo largo de las pruebas realizadas para cada uno de los casos.

5.1.- Resultados obtenidos en Caso 1

La gráfica obtenida en este primer caso, tanto para las capturas realizadas cuando se produjo la transmisión a través de la topología en la que la red era la totalmente cableada, como cuando se utilizó el cliente inalámbrico, son idénticas a la gráfica del vídeo de referencia, se muestra en la figura 52. Además no se observó ningún tipo de degradación en el vídeo recibido.

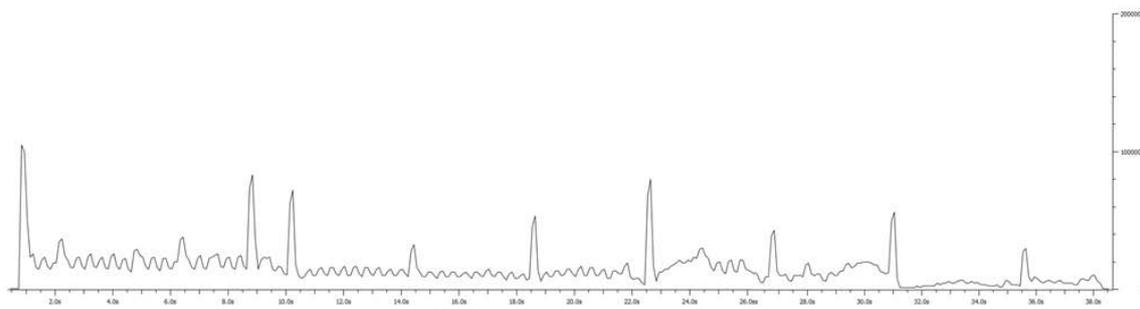


Figura 52. Captura Whireshark del caso 1

5.2.- Resultados obtenidos en Caso 2

En este segundo caso podemos dividir las gráficas en dos grupos genéricamente, un grupo en el que no se observó ninguna anomalía en el vídeo recibido y otro en el que se observaron errores en el vídeo recibido.

La gráfica que asociamos a todas las pruebas realizadas con una recepción sin errores, son aquellas en las que el clock rate de las interfaces WAN de los routers se configuró

a 5.3 Mbps y 4 Mbps, tanto en la topología cableada como inalámbrica. Siendo la misma que la obtenida para el caso 1 que se muestra en la figura 52.

La gráficas asociadas al segundo grupo, video recibido con errores, son las obtenidas con el clock rate configurado a 2 Mbps, tanto cableada como inalámbricamente. La gráfica de la recepción del vídeo de referencia mediante la red cableada se muestra en la figura 53. A partir del segundo 17 el vídeo no presentó ningún error.

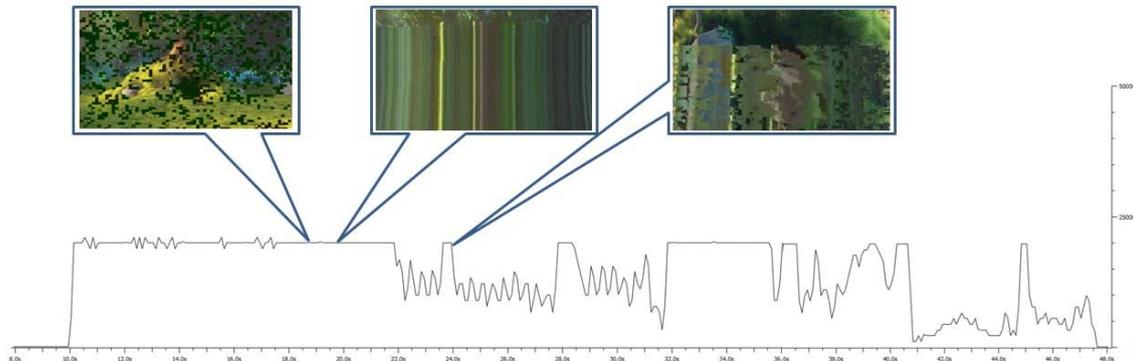


Figura 53. Gráfica de recepción cableada a 2 Mbps

La grafica de la recepción del vídeo de referencia mediante la red inalámbrica se muestra en la figura 54. A partir del segundo 17 el vídeo no presentó ningún error.

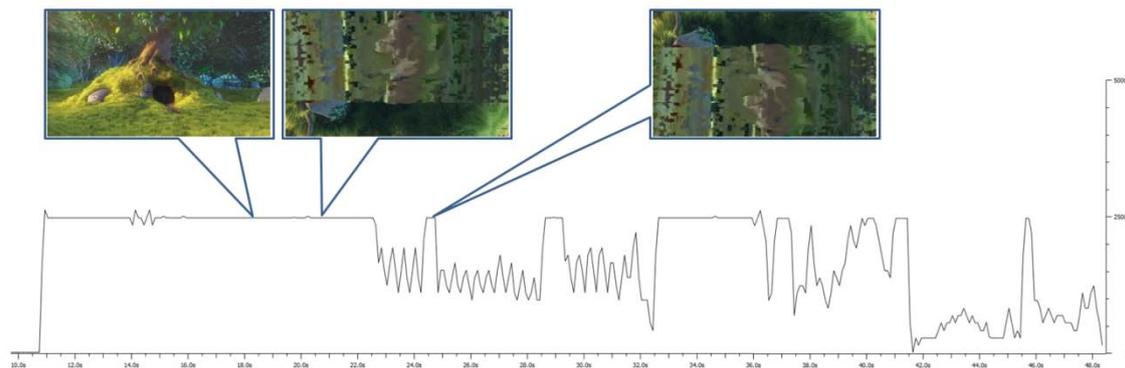


Figura 54. Gráfica de recepción inalámbrica a 2 Mbps

5.3.- Resultados obtenidos en Caso 3

En el tercer caso también podemos dividir las gráficas en dos grupos, el grupo en el que no se observó ninguna anomalía en el vídeo recibido y otro en el que se observaron errores.

Las gráficas del equipo donde se recibió el vídeo de referencia que no presentaron errores corresponden a las obtenidas cuando se inyectó tráfico mediante la herramienta Testtool, entre los PCs donde se instaló su cliente y su servidor, a 1 Mbps y 2 Mbps. Estas gráficas se corresponden la obtenida para el caso 1 que se muestra en la figura 52.

Cuando se inyectó tráfico a 3 Mbps sí que se apreciaron errores en la recepción, aunque a partir del segundo 10 el vídeo no presentó ningún error. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 55.

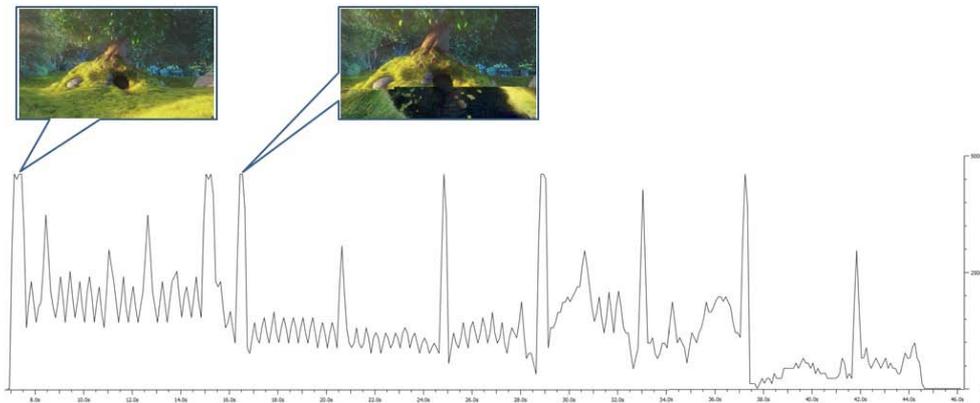


Figura 55. Gráfica de recepción con inyección de tráfico a 3 Mbps

Cuando se inyectó tráfico a 4 Mbps también se apreciaron errores, aunque a partir del segundo 30 el vídeo no presentó ningún error. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 56.

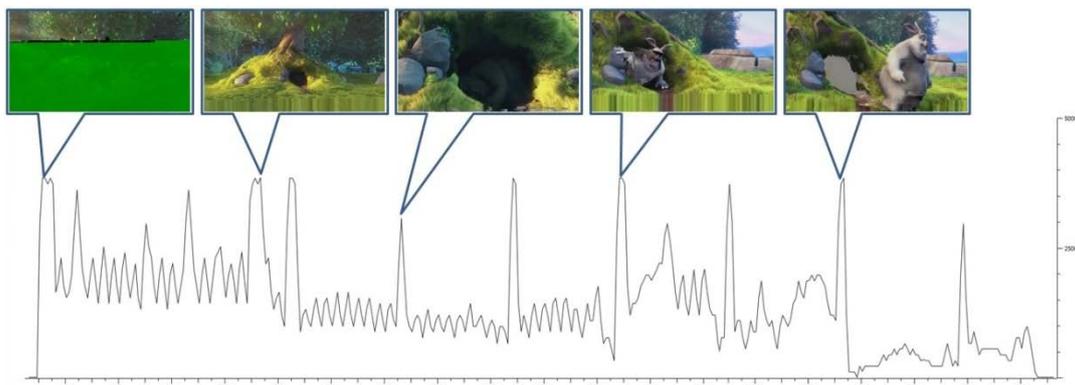


Figura 56. Gráfica de recepción con inyección de tráfico a 4 Mbps

Cuando se inyectó tráfico a 5 Mbps también se apreciaron errores, aunque a partir del segundo 30 el vídeo no presentó ningún error. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 57.

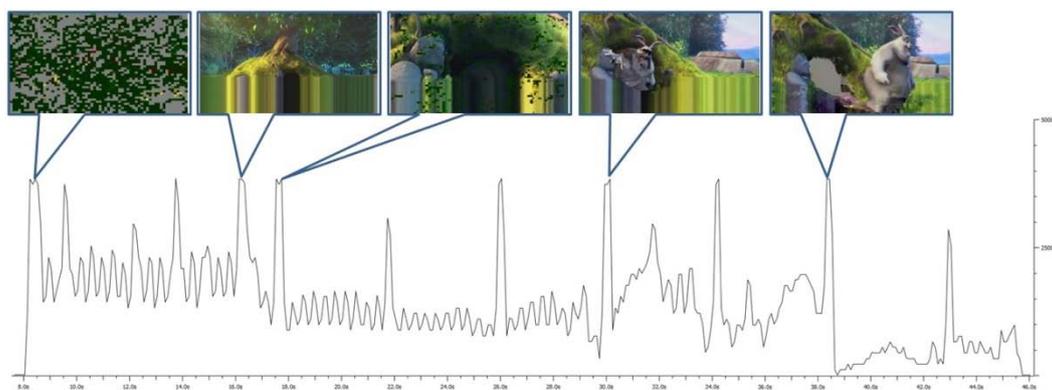


Figura 57. Gráfica de recepción con inyección de tráfico a 5 Mbps

5.4.- Resultados obtenidos en Caso 4

En el cuarto caso no se observaron errores en el vídeo recibido. Las graficas obtenidas cuando se varia la potencia, en el punto de acceso a 100 mW, 50 mW, 20 mW, 10 mW ,5 mW y 1 mW y en el cliente a 100 mW, 20 mW, 10 mW, 5 mW y 1 mW, son idénticas a la gráfica obtenida al recibir el vídeo de referencia original, que se muestra en la figura 52.

5.5.- Resultados obtenidos en Caso 5

En el quinto caso también podemos dividir las gráficas en dos grupos, el grupo en el que no se observó ninguna anomalía en el vídeo recibido y otro en el que se observaron errores.

La recepción del vídeo sin errores se obtuvo cuando se varió la potencia de transmisión en el punto de acceso a la vez que se realizó la inyección de tráfico mediante la herramienta Testtool, desde los PCs donde se instaló un cliente inalámbrico. La configuración de los dispositivos y equipos fue la siguiente:

- potencia del punto de acceso 100 mW e inyección de tráfico a 6 Mbps, 8 Mbps y 10 Mbps
- potencia del punto de acceso 30 mW e inyección de tráfico a 6 Mbps, 8 Mbps y 10 Mbps
- potencia del punto de acceso 10 mW e inyección de tráfico a 6 Mbps, 8 Mbps y 10 Mbps
- potencia del punto de acceso 5 mW e inyección de tráfico a 6 Mbps y 8 Mbps
- potencia del punto de acceso 1 mW e inyección de tráfico a 6 Mbps y 8 Mbps

Las gráficas de las pruebas con los equipos y dispositivos mencionados anteriormente se corresponden con la gráfica obtenida para el caso 1 que se muestra en la figura 52.

Cuando se inyectó tráfico a 12 Mbps mientras que la potencia del punto de acceso estaba configurada a 30 mW sí que se apreciaron errores en la recepción, aunque a partir del segundo 27 el vídeo se recibió sin errores. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 58.

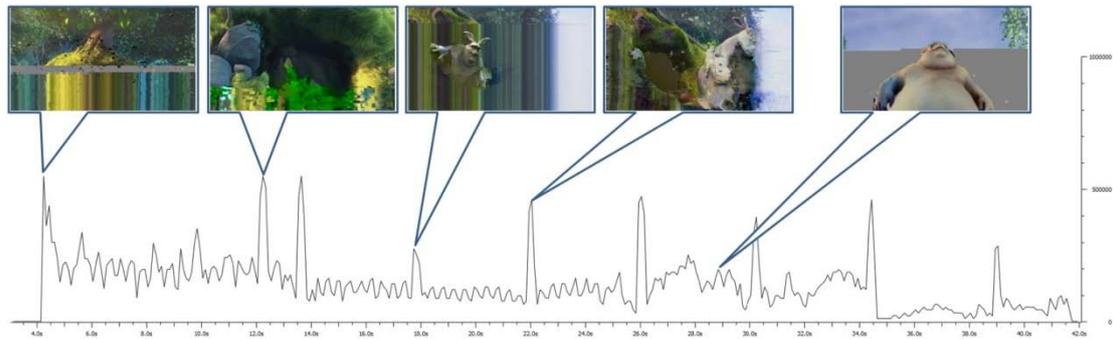


Figura 58. Gráfica de recepción con AP a 30 mW e inyección de tráfico a 12 Mbps

Cuando se inyectó tráfico a 12 Mbps mientras que la potencia del punto de acceso estaba configurada a 10 mW sí que se apreciaron errores en la recepción, aunque a partir del segundo 21 el vídeo se recibió sin errores. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 59.

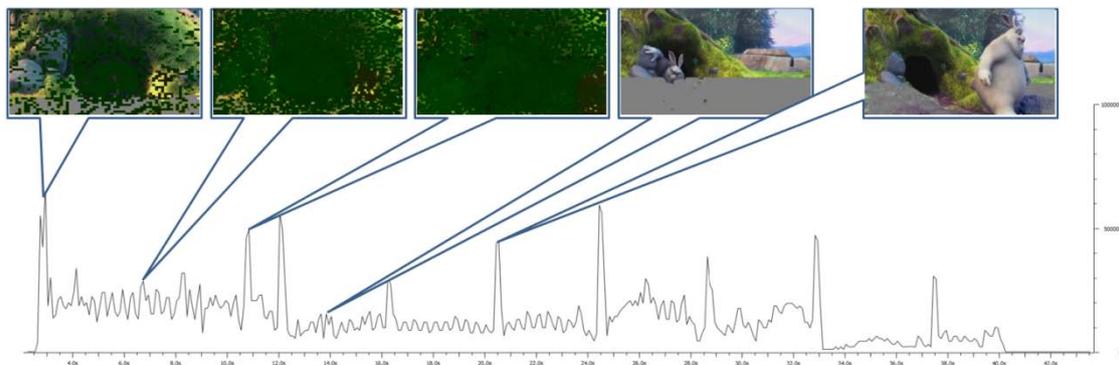


Figura 59. Gráfica de recepción con AP a 10 mW e inyección de tráfico a 12 Mbps

Cuando se inyectó tráfico a 10 Mbps mientras que la potencia del punto de acceso estaba configurada a 5 mW sí que se apreciaron errores en la recepción, aunque a partir del segundo 2 el vídeo se recibió sin errores. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 60.

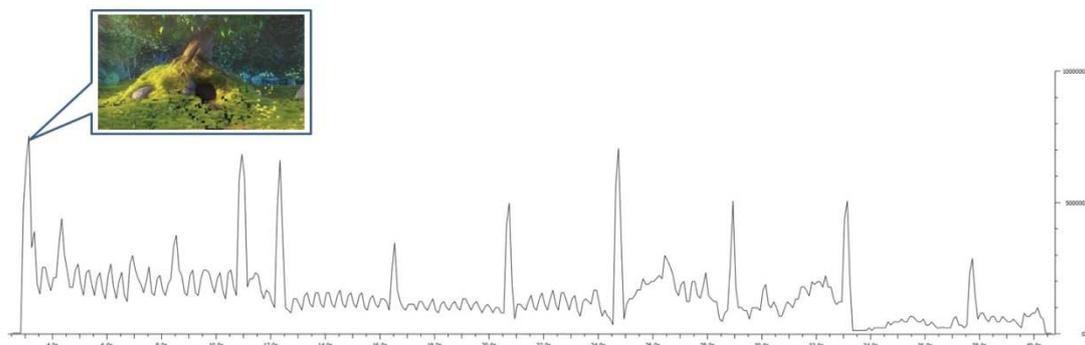


Figura 60. Gráfica de recepción con AP a 5mW e inyección de tráfico a 10 Mbps

Cuando se inyectó tráfico a 12 Mbps mientras que la potencia del punto de acceso estaba configurada a 5 mW sí que se apreciaron errores en la recepción, aunque a

partir del segundo 27 el vídeo se recibió sin errores. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 61.

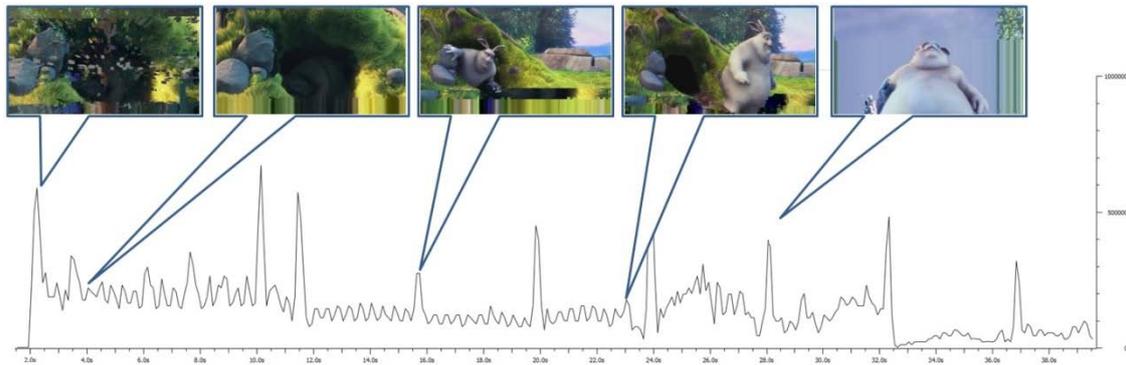


Figura 61. Gráfica de recepción con AP a 5mW e inyección de tráfico a 12 Mbps

Cuando se inyectó tráfico a 10 Mbps mientras que la potencia del punto de acceso estaba configurada a 1 mW sí que se apreciaron errores en la recepción, aunque a partir del segundo 2 el vídeo se recibió sin errores. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 62.

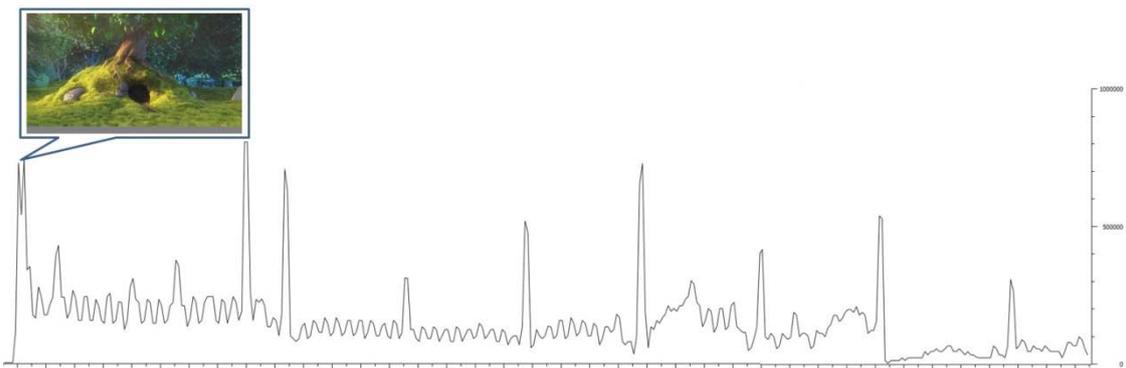


Figura 62. Gráfica de recepción con AP a 1mW e inyección de tráfico a 10 Mbps

Cuando se inyectó tráfico a 12 Mbps mientras que la potencia del punto de acceso estaba configurada a 1 mW sí que se apreciaron errores en la recepción, aunque a partir del segundo 27 el vídeo se recibió sin errores. La gráfica correspondiente a esta prueba es la que se muestra en la figura 63.

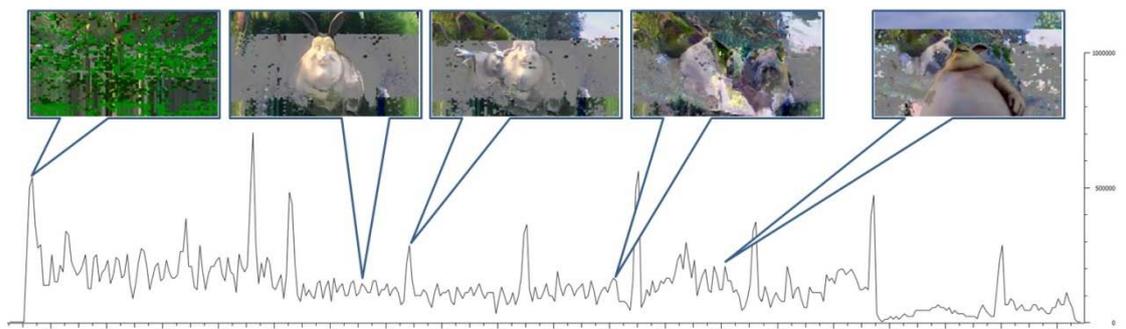


Figura 63. Gráfica de recepción con AP a 1mW e inyección de tráfico a 12Mbps

Capítulo 6: Evaluación subjetiva de la calidad de vídeo mediante MOS

En este capítulo abordaremos la evaluación de la calidad del vídeo recibido. Para ello utilizaremos la escala DSIS (Double Stimulus Impairment Scale) MOS que se ha descrito en el punto 2.2.1.

Un grupo de 20 personas, que a partir de este momento denominaremos evaluadores, se han encargado de visualizar y comparar el vídeo de referencia con el vídeo recibido. Los vídeos se han visto de forma completa dos veces y seguidamente han sido evaluados.

Para obtener las evaluaciones se prepararon unos formularios de encuesta, como el que muestra la figura 61, que es el preparado para el caso 1, en el que los evaluadores debían indicar su percepción de la calidad del vídeo en escala MOS y además debían indicar su sexo, edad y grado de conocimiento respecto a IPTV y edición de vídeo.

EVALUACIÓN SUBJETIVA DE CALIDAD DE VÍDEO - MOS

CASO DE ESTUDIO 1

Edad

Sexo

Grado de conocimiento de IPTV, edición de vídeo (marca con una X la casilla correspondiente)

Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo

Después de visualizar el vídeo de referencia y el vídeo a evaluar, marca con una X en la columna *Apreciación* el valor que estimes oportuno respecto a la calidad del vídeo observado.

CABLEADA - 8 MBPS

CABLEADA - 8 MBPS		
Valor	Calidad Visual	Apreciación
5	Excelente	
4	Buena	
3	Razonable	
2	Pobre	
1	Mala	

INALÁMBRICA - 8 MBPS

INALÁMBRICA - 8 MBPS		
Valor	Calidad Visual	Apreciación
5	Excelente	
4	Buena	
3	Razonable	
2	Pobre	
1	Mala	

Figura 64. Hoja de evaluación de calidad de vídeo MOS

6.1.- Caracterización de los evaluadores

En este punto vamos a describir las características fundamentales de los evaluadores como son la edad, sexo y su grado de conocimiento de IPTV y edición de vídeo, la tabla 4 muestra la caracterización de los evaluadores.

Caracterización		Evaluadores
Número		20
Edad		
	25 - 29 años	4
	30 - 39 años	5
	40 - 49 años	7
	> 50 años	4
Sexo		
	Hombre	13
	Mujer	7
Conocimiento IPTP / Edición de video		
	Muy Alto	3
	Alto	4
	Medio	3
	Bajo	5
	Muy bajo	5

Tabla 4. Caracterización de los evaluadores

6.2.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 1

En el caso 1, en el que se transmitió el vídeo de referencia a través de la red cableada e inalámbrica, estableciendo el ancho de banda de los enlaces WAN entre los routers a su máxima capacidad, no presentaremos ningún tipo de gráfica. Todos los evaluadores han visionado el vídeo correctamente y han coincidido en el valor de evaluación, un 5. Consideramos que la gráfica no aporta mayor información al estudio.

6.3.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 2

En este punto, vamos a mostrar los valores estadísticos extraídos del formulario empleado para evaluar el MOS en el caso 2.

La figura 65 muestra la evaluación del vídeo recibido. En ella podemos apreciar como los evaluadores coinciden en valorar con un 5, excelente, las transmisiones en las que el clock rate de los enlaces WAN entre los routers se mantuvo a 5,3 Mbps y 4 Mbps, tanto en la topología cableada como inalámbrica. En todos estos casos, se disponía de ancho de banda suficiente para transmitir el vídeo correctamente.

Sin embargo, podemos observar como ante la transmisión cuando los enlaces WAN entre los routers, en las topologías cableada e inalámbrica, se configuraron a 2 Mbps,

las calificaciones disminuyen notablemente, ya que al comprimir el vídeo con una tasa de bits variable, cuando los picos de transmisión sobrepasaban los 2 Mbps ya que no disponían de ancho de banda suficiente, por lo tanto se produce una pérdida de paquetes y esto hace que el vídeo se reciba degradado.

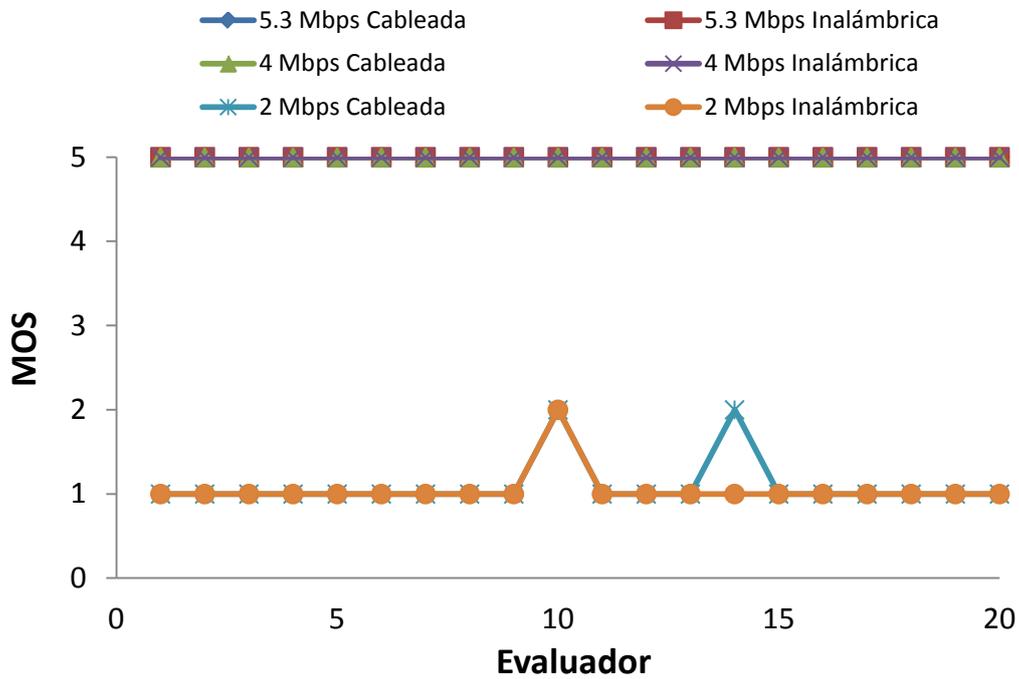


Figura 65. Evaluación del vídeo recibido en el Caso 2

La tabla 5 muestra las medidas de estadística descriptiva de los datos observados en el caso 2. Como se puede observar, solo existen valores diferentes para 2 Mb cableada e inalámbrica.

CASO 2	5.3 Mbps Cableada	5.3 Mbps Inalámbrica	4 Mbps Cableada	4 Mbps Inalámbrica	2 Mbps Cableada	2 Mbps Inalámbrica
Media (Esperanza)	5	5	5	5	1,072	1,036
Moda	5	5	5	5	1	1
Mediana	5	5	5	5	1	1
Varianza	0	0	0	0	0,09	0,05
Desviación Estándar (típica)	0	0	0	0	1,8	0,95

Tabla 5. Estadísticas descriptivas del Caso 2

6.4.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 3

En este punto, vamos a mostrar los valores estadísticos extraídos del formulario empleado para evaluar el MOS en el caso 3.

La figura 66 muestra la evaluación del vídeo recibido. En ella podemos apreciar como los evaluadores coinciden en valorar con un 5, excelente, las transmisiones en las que se inyectó tráfico, a 1 Mbps y 2 Mbps, entre las redes LAN que se conectaban a los routers R2 y R4, a la vez que se transmitía el vídeo entre redes LAN conectadas a los routers R1 y R5.

También, podemos observar que cuando se inyectó tráfico a 3 Mbps, 4 Mbps y 5 Mbps, las calificaciones disminuyen notablemente, ya que al comprimir el vídeo con una tasa de bits variable, cuando hay picos de transmisión y no se dispone del ancho de banda suficiente, pues las dos transmisiones compiten por él, se pierden paquetes y esto hace que el vídeo se reciba degradado.

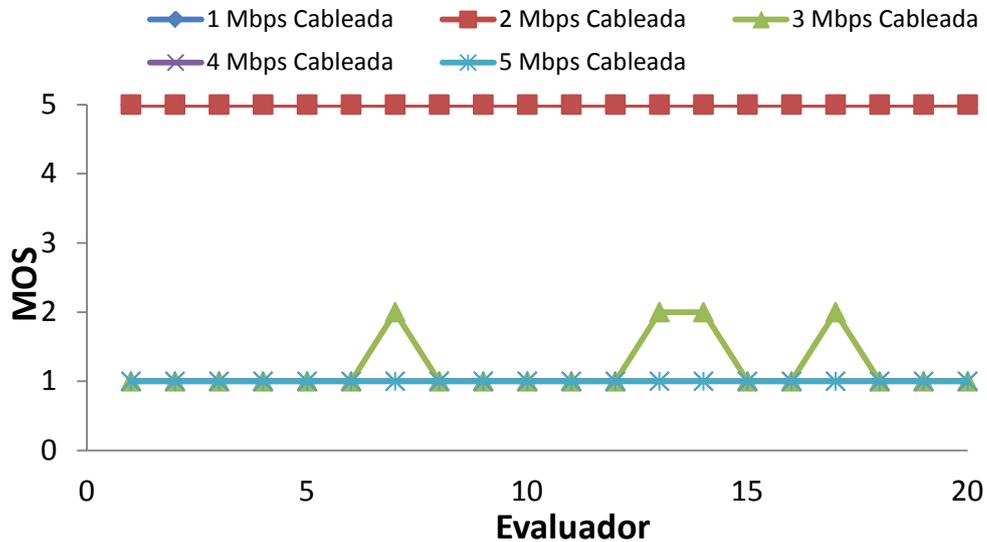


Figura 66. Evaluación del vídeo recibido en el Caso 3

La tabla 6 muestra las medidas de estadística descriptiva de los datos observados en el caso 3. La tabla muestra claramente que a partir de inyectar 3 Mbps de tráfico o más, la calidad del vídeo se ve seriamente afectada.

CASO 3	1 Mbps Cableada	2 Mbps Cableada	3 Mbps Cableada	4 Mbps Cableada	5 Mbps Cableada
Media (Esperanza)	5	5	1,149	1	1
Moda	5	5	1	1	1
Mediana	5	5	1	1	1
Varianza	0	0	0,167	0	0
Desviación Estándar (típica)	0	0	3,2	0	0

Tabla 6. Estadísticas descriptivas del Caso 3

6.5.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 4

En el caso 4, donde se disminuyó la potencia de transmisión del punto de acceso y del cliente inalámbrico, de forma independiente, no presentaremos ningún tipo de gráfica. Todos los evaluadores han visionado el vídeo correctamente y han coincidido en el valor de evaluación, un 5. Consideramos que la gráfica no aporta mayor información al estudio.

6.6.- Evaluación MOS de los vídeos del caso 5

En este punto, vamos a mostrar los valores estadísticos extraídos del formulario empleado para evaluar el MOS en el caso 5.

La figura 67 muestra la evaluación del vídeo recibido por el cliente VLC, cuando se transmitió en la topología que disponía de una red LAN inalámbrica en destino, conectada al router R5. Como ya describimos anteriormente en el punto 4.4.5, la potencia de transmisión del punto de acceso se varió, 100 mW, 30 mW, 10 mW, 5 mW y 1 mW, a la vez que se inyectó tráfico entre otros dos PCs, 6 Mbps, 8 Mbps, 10 Mbps y 12 Mbps, que disponían de cliente inalámbrico y pertenecían a la misma LAN.

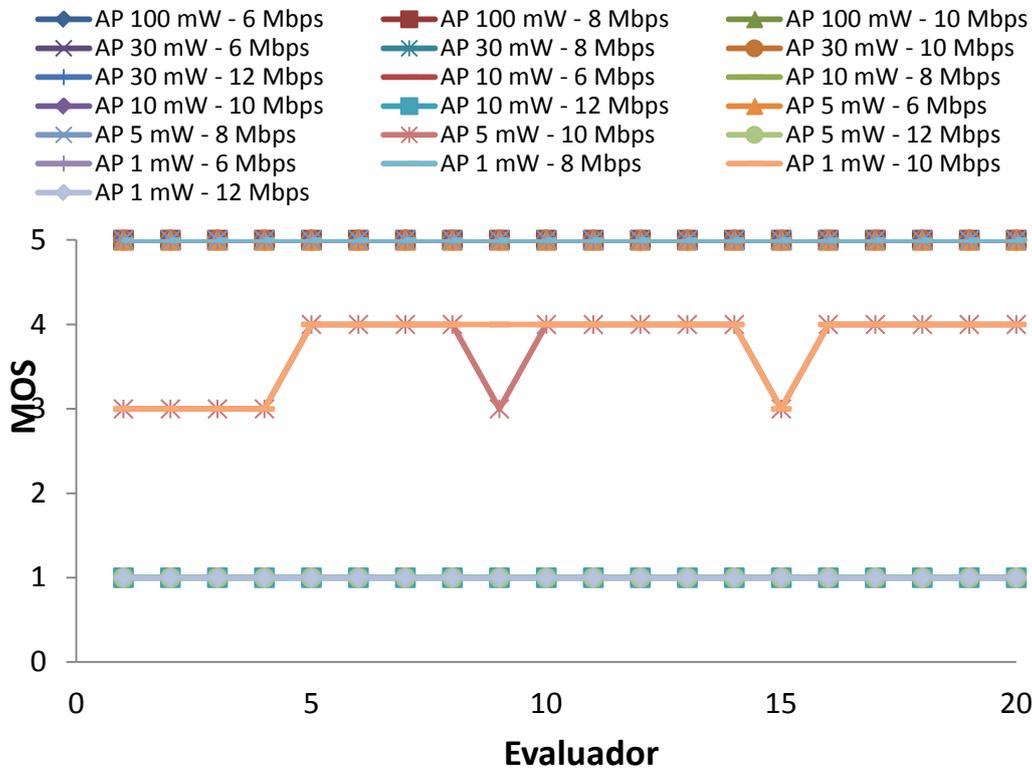


Figura 67. Evaluación del vídeo recibido en el Caso 5

Podemos observar que no importa la potencia de transmisión a la que se configuró el punto de acceso cuando se inyectó tráfico a 6 Mbps y 8 Mbps, los evaluadores siempre lo calificaron con un 5, excelente.

Cuando se inyectó tráfico a 10 Mbps, observamos que si la potencia de transmisión del punto de acceso estaba configurada a 100 mW, 30 mW y 10 mW, todos los evaluadores coincidieron con la calificación 5, excelente. Cuando la potencia se configuró a 5 mW y 1 mW, el ancho de banda fue insuficiente para soportar todas las transmisiones de forma simultánea y por lo tanto se produjeron pérdidas de paquetes, se degradó el vídeo recibido y los evaluadores disminuyeron sus calificaciones a 3 y 4, buena y razonable.

Cuando se inyectó tráfico a 12 Mbps, el ancho de banda fue insuficiente para soportar todas las transmisiones de forma simultánea y por lo tanto se produjeron pérdidas de paquetes, se degradó el vídeo recibido. Observamos que en todos los casos los evaluadores coincidían en su calificación que fue 1, mala.

Las tablas 7, 8, 9 y 10 muestran las medidas de estadística descriptiva de los datos observados en el caso 5. No se ha incluido la tabla correspondiente al caso en que la potencia de transmisión del punto de acceso se configuró a 100 mW, todos los evaluadores coincidían en la calificación y no aportaba información concluyente.

Para la tabla 7 y 8 (potencia del punto de acceso, 30 mW y 10 mW, respectivamente), según los evaluadores, la calidad de vídeo sólo se ve afectada a partir de inyectar 12 Mbps. Sin embargo, cuando el punto de acceso tiene una potencia de 5 mW y 1 mW (tablas 9 y 10 respectivamente), según los evaluadores, la calidad se ve seriamente afectada a partir de 10 mW y 12 mW.

CASO 5 (AP 30 mW)	Iny. 6 Mbps	Iny. 8 Mbps	Iny. 10 Mbps	Iny. 12 Mbps
Media (Esperanza)	5	5	5	1
Moda	5	5	5	1
Mediana	5	5	5	1
Varianza	0	0	0	0
Desviación Estándar (típica)	0	0	0	0

Tabla 7. Estadísticas descriptivas para AP a 30 mW en Caso 5

CASO 5 (AP 10 mW)	Iny. 6 Mbps	Iny. 8 Mbps	Iny. 10 Mbps	Iny.12 Mbps
Media (Esperanza)	5	5	5	1
Moda	5	5	5	1
Mediana	5	5	5	1
Varianza	0	0	0	0
Desviación Estándar (típica)	0	0	0	0

Tabla 8. Estadísticas descriptivas para AP a 10 mW en Caso 5

CASO 5 (AP 5 mW)	Iny. 6 Mbps	Iny. 8 Mbps	Iny. 10 Mbps	Iny.12 Mbps
Media (Esperanza)	5	5	3,669	1
Moda	5	5	4	1
Mediana	5	5	4	1
Varianza	0	0	0,221	0
Desviación Estándar (típica)	0	0	4,2	0

Tabla 9. Estadísticas descriptivas para AP a 5 mW en Caso 5

CASO 5 (AP 1 mW)	Iny. 6 Mbps	Iny. 8 Mbps	Iny. 10 Mbps	Iny. 12 Mbps
Media (Esperanza)	5	5	3,722	1
Moda	5	5	4	1
Mediana	5	5	4	1
Varianza	0	0	0,197	0
Desviación Estándar (típica)	0	0	3,75	0

Tabla 10. Estadísticas descriptivas para AP a 1 mW en Caso 5

Capítulo 7: Propuesta de sistema para la mejora de la QoE del usuario final

Después de haber realizado todas las pruebas y estudiado los resultados, podemos asegurar que el principal problema que se puede presentar en la distribución de vídeo es la necesidad de disponer de un gran ancho de banda para que se transmita y reciba correctamente.

Consideramos que la forma en la que un proveedor puede controlar el ancho de banda para realizar una transmisión, en la que la QoE del usuario final sea satisfactoria, es aquella en la que previamente se haga una adecuada codificación de la información a transmitir.

Los operadores, como consecuencia del tipo de contrato que han pactado con los clientes, deberían clasificar a los clientes en función del ancho de banda del que van a disponer, estableciéndose diferentes niveles o grupos. Este trabajo nos permite tener esta selección mejor documentada.

Una vez clasificados los clientes, se deberían crear tantos niveles de codificación como grupos de clientes tenemos disponibles, y se pasaría a codificar el vídeo con las características acorde a cada uno de ellos. Con la finalidad de conseguir la máxima satisfacción de QoE.

Por otra parte, un proveedor de servicio de IPTV podría tener clientes con diferentes dispositivos receptores. Cada uno con diferente tamaño de pantalla, diferente hardware de procesamiento e incluso diferente sistema operativo. Por tanto, para cada tipo de acceso, se debería tener en cuenta diferentes perfiles de dispositivos receptores. Además, dependiendo del tipo de conexión local (cableada o inalámbrica), los parámetros de calidad asociados, tal como hemos comprobado en los diferentes casos, son distintos. Teniendo en cuenta estas premisas, nuestro algoritmo de selección, debería considerar no sólo las características hardware del dispositivo, sino también su tipo de conexión y las características de calidad de servicio de ésta, que es lo que nosotros hemos estudiado en este trabajo.

Dado que los canales IPTV son enviados a través de grupos IP multicast [71], los clientes que pertenecen a un determinado grupo, de los mencionados anteriormente, se podrían asociar a un grupo multicast. Este grupo multicast debería tener asegurado el ancho de banda necesario para la transmisión de los archivos, esto haría que la recepción del vídeo cumpliera las expectativas de QoE y por lo tanto la plena satisfacción del cliente. Además, se podría tener subgrupos multicast atendiendo al tipo de dispositivo utilizado por el usuario para la recepción.

El protocolo de comunicación diseñado para la correcta selección del canal de televisión es el que se muestra en la figura 68.

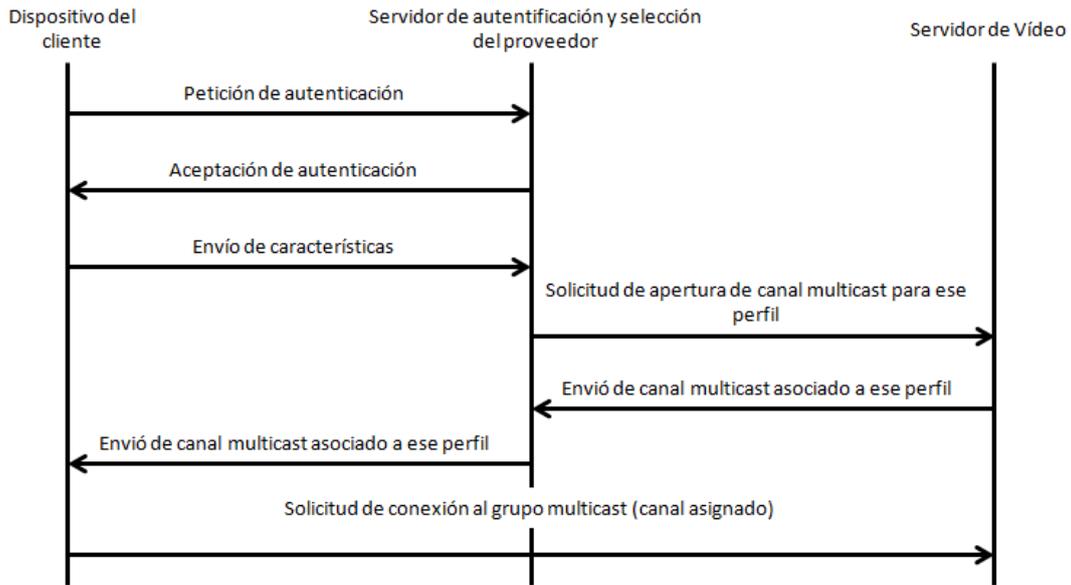


Figura 68. Protocolo de comunicación para correcta selección del canal

El algoritmo de funcionamiento diseñado para que el cliente se asocie al canal adecuado es el que se muestra en la figura 69.

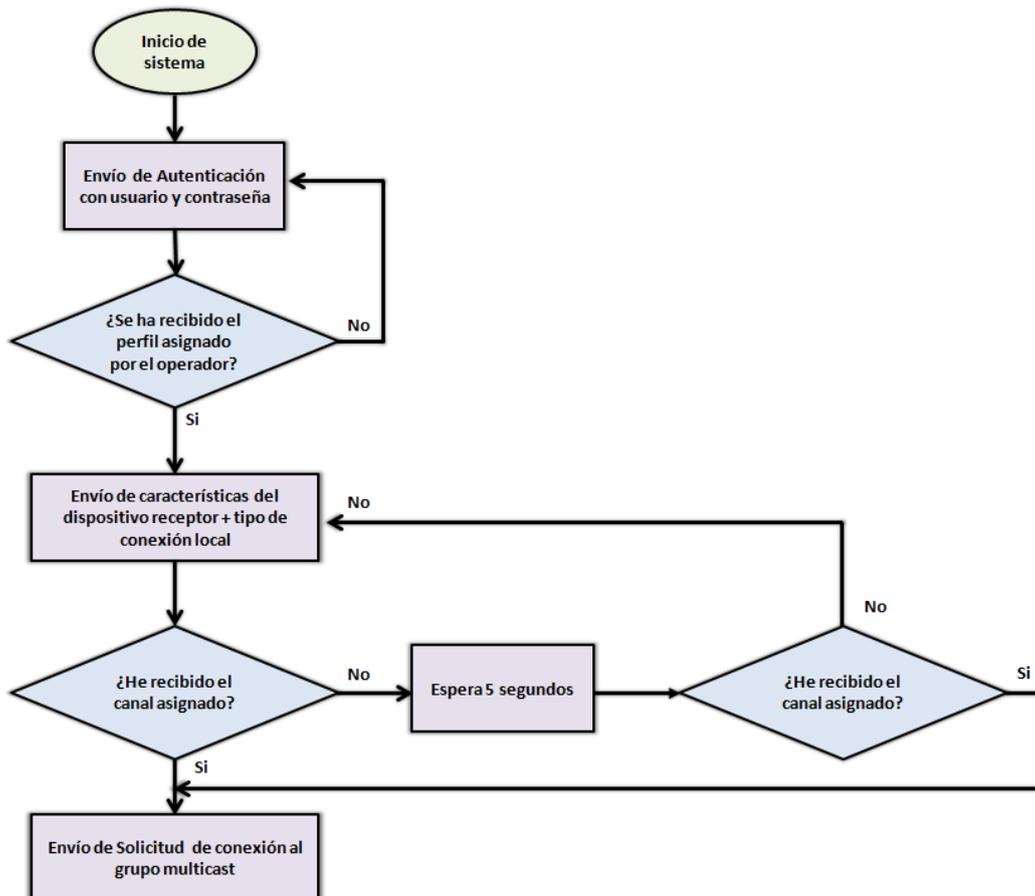


Figura 69. Algoritmo de asociación del cliente al canal adecuado

Los operadores en todo momento deben gestionar sus redes y controlar que los parámetros establecidos para que la transmisión se produzca correctamente no se deterioran, en caso de producirse cualquier incidencia debería ser corregida

inmediatamente, para que no se altere el vídeo en la recepción y que por lo tanto se malogre la QoE.

Pueden aparecer casos especiales en los que el operador no pueda corregir directamente los problemas de recepción en los equipos finales de la ubicación del cliente, por ejemplo, cuando un cliente comparte la conexión con varios dispositivos de forma inalámbrica y todos ellos transmiten a la vez, puede llevar a una saturación del ancho de banda y que el vídeo no se perciba con la QoE deseada, como ocurrió en las pruebas realizadas en nuestro caso 5. La solución para estos casos son todavía objeto de estudio, que pretendemos solucionar en un futuro.

Capítulo 8: Conclusiones

8.1.- Cumplimiento del objetivo

Podemos asegurar que se han cumplido los objetivos que se propusieron inicialmente, objetivos que se detallaron en el punto 1.2 del trabajo.

En el capítulo 2 se ha identificado y estudiado la QoS y la QoE. A lo largo de los puntos 2.2 y 2.3 se han definido y detallado los parámetros que afectan tanto a la QoS como a la QoE, además de los parámetros que se utilizan habitualmente para estimarlos.

Según se explica en el capítulo 3, se montó un banco de pruebas para realizar todas las necesarias. Se definieron las topologías física y lógica en los puntos 3.1.1 y 3.1.2, se definieron las herramientas que se han utilizado en el punto 3.2, y a lo largo de los puntos 4.1, 4.2, y 4.3 se ha explicado cómo se utilizaron.

Una vez implementada la topología se transmitió el vídeo de referencia, tal como se detalla en el punto 4.4, en base a cinco casos diferentes que se han utilizado para variar las condiciones de QoS y por lo tanto de QoE.

Se extrajo información de los vídeos recibidos para analizarla y estudiar el efecto que había producido. Estudio desarrollado en los capítulos 5 y 6.

Por último, en el capítulo 7, se ha propuesto un sistema, basado en el diseño de un protocolo de comunicación y un algoritmo de funcionamiento en el dispositivo del cliente, para mejorar la QoE del usuario final.

8.2.- Conclusiones sobre el trabajo

A lo largo de la memoria, hemos descrito qué es el proceso de codificación de vídeo y sus principales estándares, como son la familia MPEG y las series UIT H-200, entre otros, y se han descrito las principales degradaciones que pueden aparecer en un vídeo al ser codificado. También se ha descrito que es calidad de vídeo y los métodos que se emplean para poder evaluarla, tanto subjetivos como objetivos, y se han explicado dos de los métodos de evaluación más utilizados como son MOS y VQM; también se ha descrito la QoS y QoE con todos los parámetros que les afectan, así como en el caso de QoE los parámetros que se utilizan para evaluarla.

Hemos creado una topología con equipos y dispositivos de red reales que se han configurado para realizar pruebas, pues creemos, que al realizar las pruebas sobre equipos reales pueden aparecer errores que no se apreciarían o no se tendrían en cuenta si trabajáramos en un entorno simulado. Se ha utilizado en todo momento software libre, como FFmpeg, Whirehawk, VLC y Testtool, herramientas que se pueden descargar y emplear sin pagar por su utilización.

Partiendo de un vídeo, que es ampliamente utilizado en los estudios transmisión y codificación de vídeo, mediante la herramienta FFmpeg se recortó en duración y se codificó, con la precaución de que en el vídeo generado no se apreciaran las degradaciones habituales que pueden aparecer durante este proceso. El vídeo generado se empleó como vídeo de referencia durante todas las pruebas.

Hemos realizado pruebas basándonos en cinco casos de estudio, y hemos observado los resultados obtenidos mediante Wireshark y el cliente VLC. De ellos se deduce que el principal problema que se presenta en transmisión de vídeo, cuando previamente se ha tenido en cuenta evitar errores de codificación, es la insuficiencia de ancho de banda en la transmisión.

Hemos estudiado el resultado de la transmisión del vídeo de referencia variando el ancho de banda disponible en las conexiones WAN entre los routers. Nos ha permitido descubrir que aunque la tasa media de bits del vídeo de referencia era de 1496 Kbps, al ser variable, si el tráfico enviado superaba el ancho de banda configurado se producían pérdidas de paquetes, esto llevaba aparejado la degradación del vídeo recibido.

También se estudió el resultado de la transmisión del vídeo de referencia a la vez que se inyectó tráfico en la red, tanto en los enlaces WAN entre los routers, como en la LAN local del equipo destino cuando se utilizaban clientes inalámbricos y un punto de acceso para enlazarlos. Igualmente, descubrimos que aunque la tasa media de bits del vídeo de referencia era de 1496 Kbps, en enlaces WAN (caso 2) configurados con un ancho de banda de 2 Mbps o inferior ya se degrada enormemente la calidad del vídeo recibido. En el caso 3, donde el enlace WAN entre los routers es de 8 Mbps, a partir de inyectar 3 Mbps de tráfico en la red junto con el vídeo de referencia, a pesar de que teóricamente no supera el ancho de banda disponible, al ser variable la tasa de envío del vídeo, se producían pérdidas de paquetes, y se degradaba enormemente el vídeo recibido. También se ha podido comprobar, en el caso 5, que la calidad del vídeo recibido se ve más afectada cuando disminuimos la potencia de transmisión del punto de acceso cuando se está inyectando tráfico.

Se han estudiado los parámetros de calidad de servicio que pueden afectar a la transferencia de tráfico unidireccional en tiempo real definidos por la UIT-R M.1079-2 [72]. Se comprobó que solamente cuando se producen pérdidas de paquetes superiores al 1 % el vídeo recibido se deteriora, estas pérdidas se originan por la insuficiencia de ancho de banda. El retardo máximo permitido, así como el jitter que está íntimamente relacionado, se establece en un tiempo inferior a 10 segundos que se cumple en todos los casos.

Partiendo de los vídeos obtenidos durante las pruebas, hemos buscado un grupo de evaluadores y hemos evaluado la calidad de vídeo de forma subjetiva, se empleó el método de evaluación DSIS (Double Stimulus Impairment Scale) de MOS. Los análisis de los resultados muestran en qué casos el vídeo recibido se puede ver con una calidad aceptable u óptima y en qué casos es inaceptable.

Por último, hemos propuesto un sistema que incluye un protocolo de comunicación y un algoritmo de funcionamiento para la mejora de la QoE del usuario final. Proponemos que cuando un cliente se conecte, envíe sus características al operador, y éste se encargará de seleccionar un perfil, que estará asociado a un canal apropiado para el cliente. A partir de ese instante el cliente debería conectarse al canal propuesto para recibir el vídeo con unas características de codificación adecuadas como serían el ancho de banda contratado, tamaño de pantalla, hardware de procesamiento e incluso sistema operativo.

8.3.- Problemas encontrados y cómo se han solucionado

A lo largo del trabajo se han presentado algunos problemas, de entre ellos, podemos destacar los siguientes:

- **Asociados a la codificación.** Inicialmente intentamos codificar nuestro vídeo empleando múltiple software comercial, por ejemplo, Free Video Converter y VirtualDub, pero observamos que aparecían muchos de los errores descritos en el punto 2.1.2. Esto nos llevó a tomar la decisión de utilizar FFmpeg para codificar. Debido a este motivo perdimos una gran cantidad de tiempo codificando archivos con diverso software que no llega a verse reflejado en el trabajo.
- **Asociados a los dispositivos.** Durante la realización de las pruebas, en la fase inicial, se utilizaron puntos de acceso del fabricante DLINK. Como posteriormente se descubrió, estos dispositivos no funcionaban correctamente, es más, llegó un momento en el dejaron de funcionar. Se tomó la decisión de emplear otros dispositivos y volver a realizar todas las medidas de nuevo para evitar cualquier anomalía en los resultados. También se perdió tiempo durante la realización de esta fase del trabajo.
- **Asociados a la transmisión.** Al llevar a cabo la fase de pruebas inalámbricas descubrimos que en ocasiones los resultados obtenidos no concordaban con la respuesta esperada, por ejemplo, si se transmitía el archivo y el punto de acceso o el cliente se configuraban a una determinada potencia y se observaba una correcta recepción, posteriormente, cuando se aumentaba la potencia de transmisión de los dispositivos, que debía llevar lógicamente aparejada una recepción correcta, ya que se aumenta el ancho de banda, se observaba la aparición de errores. Esto también ocurría cuando se inyectaba tráfico entre clientes inalámbricos. Es decir, aparecieron anomalías en la fase de pruebas de los casos 4 y 5. Lo que ocurría era que debido a la generación de interferencias en los canales de transmisión de otros usuarios inalámbricos, que trabajaban en la zona de cobertura del punto de acceso, había periodos en los que en las pruebas aparecían anomalías producidas por elementos externos al trabajo. Por este motivo, se tomó la decisión de hacer las pruebas en los periodos en los que no había otros usuarios próximos que estuvieran ocupando nuestra zona de cobertura. Indudablemente esto hizo que de nuevo se perdiera tiempo.
- **Asociados a la evaluación.** Ha resultado complejo conseguir un grupo numeroso de personas que puedan visualizar los vídeos, también ha resultado complejo la posterior coordinación de todos ellos para la visualización.

8.4.- Aportaciones personales

A lo largo de la realización del trabajo he utilizado software que habitualmente no empleo, como FFmpeg y Testtool. Esto me ha permitido descubrir las grandes posibilidades para aplicarlos tanto en mi ámbito privado, como para un entorno de investigación. A partir de este momento conozco las múltiples posibilidades que me brinda su empleo.

También he conocido una gran cantidad de diferentes tipos de errores que se pueden producir durante la codificación del vídeo, y que antes de iniciar el trabajo eran desconocidos para mí.

He experimentado con los diferentes bitrates que se pueden utilizar dependiendo del tipo de acceso en la red, WAN y local, para saturar los enlaces WAN de 8 Mbps, 5,3 Mbps, 4MB y 2 Mbps, y los enlaces inalámbricos locales de 54 Mbps.

He estudiado cuales son los anchos de banda que limitan la transmisión de vídeo con calidad.

8.5.- Futuras líneas de trabajo

A partir del estudio realizado, se han encontrado varias líneas de investigación que pueden derivarse de éste. Ésta son las siguientes:

- Encontrar los umbrales exactos donde se recibe el video con la máxima calidad, para poder cuantificar con más exactitud los requerimientos de ancho de banda (en este trabajo sólo se tuvieron en cuenta los anchos de banda permitidos por los dispositivos utilizados).
- Desarrollar el algoritmo y protocolo diseñados para la mejora del QoE del usuario final.
- Realizar más pruebas sobre los dispositivos receptores según sus características hardware.
- Estudiar otros algoritmos de compresión y su comportamiento, con diferentes topologías de conexión de red y tipos de dispositivos finales.
- Hacer el test de rendimiento de los sistemas propuestos.

Bibliografía.

- [1] L. Ciangiulli, R. Mestric, 2007. Transformar la red para Triple Play. Enriching Communications. Volumen 1, numero 1. pp 50 - 55.
- [2] IPTV Standardization on Track Say Industry Experts. ITU-T Newslog. 2006-10-27. [Consulta 16-06-2014].
- [3] <<http://www.oipf.tv/>> [Consulta 16-06-2014].
- [4] <<http://www.cisco.com/web/ES/about/press/2013/2013-05-29-mitad-poblacion-mundial-conectada-a-internet-en-2017.html>> [Consulta 16-06-2014].
- [5] <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/vni-service-adoption-forecast/Cisco_VNI_SA_Forecast_WP.pdf> [Consulta 16-06-2014].
- [6] Estudio sobre la dimensión socioeconómica de la utilización no autorizada de señales: Parte I: Actuales tendencias del mercado y la tecnología en el sector de la radiodifusión. OMPI. Comité Permanente de Derechos de Autor y Derechos Conexos. Decimonovena sesión. Ginebra. 2009, páginas 14 - 15.
- [7] Lloret Mauri, J., García Pineda, M., Boronat Seguí, F., 2008. IPTV: LA TELEVISIÓN POR INTERNET. Editorial Vértice. ISBN: 978-84-92647-22-4.
- [8] Pratt, W. K., 1991. Digital Image Processing, John Wiley & Sons Inc.,
- [9] González, R. C., Woods, R., 1993. Digital Image Processing, Addison Wesley.
- [10] Bovik, A., 2000. Handbook of Image and Video Processing, Academic Press., ISBN-10: 0121197905.
- [11] <http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=45316> [Consulta 16-06-2014].
- [12] <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=22412> [Consulta 16-06-2014].
- [13] <http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=62074> [Consulta 16-06-2014].
- [14] <<https://imt.rz.tu-ilmenau.de/iavas/intern/papers/w2201.pdf>> [Consulta 16-06-2014].
- [15] <http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=61490> [Consulta 16-06-2014].
- [16] <<http://www.itu.int/rec/T-REC-H.261/e>> [Consulta 16-06-2014].
- [17] <<https://www.itu.int/rec/T-REC-H.263/es>> [Consulta 16-06-2014].
- [18] <<https://www.itu.int/rec/T-REC-H.264/es>> [Consulta 16-06-2014].
- [19] <<http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/fdd000063.shtml>> [Consulta 16-06-2014].

- [20] <<http://www.fourcc.org/>> [Consulta 16-06-2014].
- [21] <<http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=6191>> [Consulta 16-06-2014].
- [22] <http://es.wikipedia.org/wiki/Windows_Media_Video> [Consulta 16-06-2014].
- [23] <<http://standards.smpte.org/content/978-1-61482-556-2/st-421-A1-2006/SEC1.body.pdf+html?sid=b1db8b03-6e21-4927-afcc-3af306857719>> [Consulta 16-06-2014].
- [24] <<http://www.divx.com/>> [Consulta 16-06-2014].
- [25] <<https://www.xvid.org/>> [Consulta 16-06-2014].
- [26] Robertson, Mark A.; Stevenson, Robert L.; 2005. DCT Quantization Noise in Compressed Image, IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology, Vol. 15, No. 1.
- [27] Wu, H.R., Rao, K.R., 2006. Digital Video Image Quality and Perceptual Coding, CRC Press.
- [28] Triantafyllidis, G.A.; Tzovaras, D.; Strintzis, M.G.; 2002. Blocking artifact detection and reduction in compressed data; IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 12, No.10.
- [29] Ci Wang, Wen-Jun Zhang, Xiang-Zhong Fang; 2004. Adaptive reduction of blocking artifacts in DCT domain for highly compressed images; IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol 50. Issue 2, pp 647-654.
- [30] Hai-Feng X. U., Song-Yu Y.U. and Ci W.A.N.G.; 2006. De-Blocking Artifacts in DCT Domain Using Projection onto Convex Sets Algorithm; IEICE Transactions on Information and Systems 2006, Vol E89-D, pp 2460-2463.
- [31] Liew A. C., Yan, H.; 2004. Blocking artifacts suppression in block-coded images using overcomplete wavelet representation; IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, Vol 14, No 4, pp 450-461.
- [32] Gunturk, B.K. Altunbasak, Y. Mersereau, R.M.; 2002. Multiframe blocking-artifact reduction for transform-coded video; IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol 12, Issue 4, pp 276-282.
- [33] Marichal, X.; Ma W. Y.; Zhang, H.; 1999. Blur determination in the compressed domain using DCT information; IEEE International conference on Image Processing ICIP 1999, Vol 2, pp 386-390.
- [34] Tong, H.; Li, M.; Zhang, H.; Zhang, C.; 2004. Blur detection for digital images using wavelet transform; ICME IEEE International Conference on Multimedia.
- [35] Coudoux, F. X.; Gazalet, M.; Corlay, P.; 2004. An adaptive postprocessing technique for the reduction of color bleeding in DCT-coded images; IEEE Transactions on circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14, No 1, pp 114-121.
- [36] Coudoux, F. X.; Gazalet, M.; Corlay, P.; 2005. Reduction of color bleeding for 4:1:1 compressed video; IEEE Transaction on Broadcasting, Vol. 51, No 4. pp 538-542.

- [37] Lee, J. W.; Lim, B. R.; Park R. H.; Kim J. S.; Ahn, W.; 2006. Two-stage false contour detection using directional contrast and its application to adaptive false contour reduction; IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 52, No. 1, pp 179-188.
- [38] M. Cha, K. Gummadi, P. Rodriguez; 2008. Channel selection problem in live IPTV systems; Channel selection problem in live IPTV systems. Proc. of ACM SIGCOMM Poster.
- [39] Takahashi, D. Hands, V. Barriac; 2008. Standardization activities in the ITU for a QoE assessment of IPTV; IEEE Communications Magazine; Vol. 46, n.2, pp.78-84.
- [40] Gao, X.; Lu, W.; Tao, D.; Li, X.; 2010. Image quality assessment and human visual system; Visual Communications and Image Processing 2010. International Society for Optics and Photonics, 2010. p. 77440Z-77440Z-10.
- [41] Ramos, Cruz. 2012. Contribución a los Modelos y Metodologías para la Estimación de la Calidad Percibida por los Usuarios (QoE) a partir de Parámetros de Calidad de Red/Servicio (QoS) en Servicios Convergentes Multimedia (Triple-Play). Tesis Doctoral. E. T. S. I. Telecomunicación. UPM
- [42] Tasaka, S., Yoshimi, H., Hirashima, A., Nunome, T.; 2008. The effectiveness of a QoE-based video output scheme for audio-video ip transmission; Proceedings of the 16th ACM international conference on Multimedia. p. 259-268.
- [43] <http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/vqeg-home.aspx> [Consulta 16-06-2014].
- [44] ITU-R, 2002. Recommendation BT.500: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, June 2002. Disponible en <<http://www.itu.int/rec/R-REC-BT/en>> [Consulta 16-06-2014].
- [45] <http://www.itu.int/rec/R-REC-BT.500/en> [Consulta 16-06-2014].
- [46] ITU-T, 2004. Recommendation J.144: Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference, < <http://www.itu.int/rec/T-REC-J/e>> [Consulta 16-06-2014].
- [47] M. Pinson; S. Wolf; 2004. A New Standardized Method for Objectively Measuring Video Quality; IEEE Transactions on Broadcasting; VOL. 50, NO.3, pp. 312-322
- [48] Wang, Y; 2006. Survey of Objective Video Quality Measurements; Tech report, Worcester Polytechnic Institute.
- [49] Lu, Y.; Fallica, B.; Kuipers, F. A.; Kooij; R. E., Mieghem, P. V.; 2009. Assessing the quality of experience of sopcast; International Journal of Internet Protocol Technology; Vol. 4, No 1, p. 11-23.
- [50] <<http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/09/Pages/default.aspx>> [Consulta 16-06-2014].
- [51] P. Simoens; S. Latre; B. De Vleeschauwer; W. Van de Meerssche; F. De Turck; B. Dhoedt; P. Demeester; S. Van Den Berghe; E. Gilon; 2008. Design of an Autonomic QoE Reasoner for Improving Access Network Performance; ICAS 2008. Fourth International Conference on. IEEE, p. 233-240.

- [52] M. Siller, J. Woods, 2003. Improving quality of experience for multimedia services by QoS arbitration on a QoE framework; 13th Packed Video Workshop 2003.
- [53] <<http://www.itu.int/md/T05-FG.IPTV-IL-0050/es>> [Consulta 16-06-2014].
- [54]<http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102400_102499/102479/01.01.01_60/tr_102479_v010101p.pdf> [Consulta 16-06-2014].
- [55] Allan, D.; Thorne, D.; 2006. DSL Forum Technical Report TR-126: Triple Play Services Quality of experience (QoE) Requirements.
- [56] Lloret, J.; Canovas, A.; Rodrigues, Joel, J.P.C.; Lin, K.; 2013. A network algorithm for 3D/2D IPTV distribution using WiMAX and WLAN technologies; Multimedia tools and applications, Vol. 67, nº 1, p. 7-30.
- [57] Rodrigues, D., Cerqueira, E., Monteiro, E.; 2008. Quality of Service and Quality of Experience in Video Streaming; International Workshop on Traffic Management and Traffic Engineering for the Future Internet (FITraME n2008), EuroNF NoE, Porto, Portugal. p. 11-12.
- [58] C. J. van den Branden Lambrecht. 1996. Perceptual Models and Architectures for Video Coding Applications. PhD thesis, EPFL, Lausanne, Swiss.
- [59] C. J. van den Branden Lambrecht. 1996. Color Moving Picture Quality Metric. In IEEE International Conference on Image Processing.
- [60] Bae, J.; Park,H.; Hahm,J.; 2007. Consideration on Channel Zapping Time in IPTV Performance Monitoring; ITU-T Focus Group on IPTV, 4th FG IPTV Meeting.
- [61] ISO International Standard (IS) 3309:1993. "Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- High-level data link control (HDLC) procedures -- Frame structure", <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=8561> [Consulta 16-06-2014].
- [62] ISO International Standard (IS) 4335:1993. "Information technology --- Telecommunications and information exchange between systems -- High-level data link control (HDLC) procedures -- Elements of procedures", <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=22827> [Consulta 16-06-2014].
- [63] IEEE – “IEEE 802.3 Ethernet Working Group”, <<http://www.ieee802.org/3/>> [Consulta 16-06-2014].
- [64] IEEE Standards Association – About us (IEEE 802.11TM: Wireless LANs”, <<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>> [Consulta 16-06-2014].
- [65] <<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1Q.html>> [Consulta 16-06-2014].
- [66] <<http://www.ffmpeg.org/about.html>> [Consulta 16-06-2014].
- [67] <<http://www.wireshark.org/about.html>> [Consulta 16-06-2014].
- [68] <<http://riunet.upv.es/handle/10251/34143>> [Consulta 16-06-2014].
- [69] <<http://www.videolan.org/vlc/streaming.html>> [Consulta 16-06-2014].

[70] <<http://www.bigbuckbunny.org/>> [Consulta 16-06-2014].

[71] <<http://www.faqs.org/rfcs/rfc1112.html>> [Consulta 16-06-2014].

[72] <<https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1079/es>> [Consulta 16-06-2014].