



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

---

# MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL JITTER EN TRÁFICO DE VIDEO STREAMING

---

TRABAJO DE TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
**INGENIERO EN REDES**

PRESENTA  
**JUAN ALDAIR NUÑEZ MANOHATL**

**DIRECTOR**  
**DR. HOMERO TORAL CRUZ**



**ASESORES**  
**DR. FREDDY IGNACIO CHAN PUC**  
**DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR**

UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
SERVICIOS ESCOLARES  
TITULACIONES



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ  
DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA  
OBTENER EL GRADO DE:**

**INGENIERO EN REDES**

**COMITÉ DE TESIS**



**DIRECTOR:**

  
**DR. HOMERO TORAL CRUZ**

**ASESOR:**

  
**DR. FREDDY IGNACIO CHAN PUC**

**ASESORA:**

  
**DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR**



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2014.

## **Dedicatoria**

El haber terminado mi carrera profesional como ingeniero en redes y la elaboración de esta tesis se la dedico:

A mis padres, Juan Miguel Nuñez Cupil y Nelly Manohatl Pérez, por el apoyo y sacrificio que me han demostrado a lo largo de todos estos años. A mi padre por brindarme los recursos necesarios, por preocuparse de que nunca me faltara nada y por hacer de mí una mejor persona a través de sus grandes consejos. A mi madre, porque desde pequeño ha estado a mi lado dándome su apoyo incondicional, por demostrar lo que es el amor de una madre y porque siempre hizo el mejor esfuerzo para sacarme adelante pese a las adversidades.

A mis hermanas, porque han estado a mi lado en todo momento, por ser unas grandes amigas para mí y por brindándome su cariño y atención.

A mis abuelos, por el tiempo que dedicaron en cuidarme y por demostrarme que puedo contar con ellos en cada momento.

A mis amigos en general, por el apoyo que me brindaron durante las clases y por los buenos momentos, los cuales hicieron que mi etapa como universitario sea muy agradable.

A los profesores que me impartieron clase en la Universidad de Quintana Roo; en especial al cuerpo académico de la DCI. A mi director de tesis, el Dr. Homero Toral Cruz, por confiar en mí, por asesorarme y por brindarme el apoyo necesario cuando lo necesité. A mi tutor escolar, el Dr. Jaime Ortigón, por la motivación que me dio para la correcta culminación de mis estudios profesionales.

## Agradecimientos

Quiero darles las gracias a mis padres, quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y me dieron las facilidades para terminar una carrera profesional. Mis conceptos, mis valores morales y mi superación se las debo a ellos; esta será la mejor de las herencias, lo reconozco y se los agradeceré eternamente.

Al Dr. Homero Toral Cruz, director de tesis, por el tiempo dedicado a la realización de esta tesis, por su asesoramiento, por sus acertadas correcciones, por la amabilidad que me mostró en cada una de las pláticas y por todas las noches de desvelo que ocupó para la finalización de este documento.

Al Dr. Jaime Ortigón, tutor escolar, por llevar a cabo la organización de las materias que cursé a lo largo de la carrera, por resolverme todas mis cuestiones escolares, por darme la oportunidad de impartir el curso de Android junto a él y por ser un amigo para mí.

Al Ing. Rubén Enrique González Elixavide, por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de la carrera.

Al profesor Javier García Guzmán, por las tantas horas de asesorías en matemáticas que invirtió en mí, las cuales me sirvieron de base para las demás materias. Para mí el mejor maestro de matemáticas con el que cuenta la UQRoo.

Gracias a cada uno de los profesores que a lo largo de la carrera me impartieron clases, en especial al cuerpo académico de la DCI.

## Resumen

La importancia del Internet ha crecido considerablemente en los últimos años, a tal punto que se ha convertido en unas de las redes de telecomunicaciones más importantes e indispensables en la vida diaria de las personas.

Debido a la rápida evolución del Internet y al incremento en la demanda de información multimedia, una de las aplicaciones en tiempo real que ha incrementado su popularidad sobre la red IP es la transmisión de video streaming.

Aunque la transmisión de video streaming sobre Internet es un servicio muy atractivo y muy demandado últimamente en la vida diaria, representa grandes desafíos, debido a que Internet no proporciona una garantía en cuanto a la calidad del servicio que el usuario final percibe.

La calidad en la transmisión del video streaming, depende de diversos parámetros, de los cuales el jitter tiene un importante impacto. El análisis y caracterización del jitter permite determinar el correcto dimensionamiento del de-jitter buffer, donde el de-jitter buffer juega un papel muy importante en el desempeño que puede lograr el servicio de video streaming dentro de la red IP.

Por otro lado, las estadísticas de dependencia en el tiempo (estructuras de correlación) son importantes para evaluar el desempeño de las redes IP, puesto que estas estadísticas pueden ser usadas para medir el impacto de desperfectos específicos.

Motivados por los puntos anteriores, en esta tesis se describe la medición y caracterización del jitter sobre una red inalámbrica MIMO con tráfico de video streaming, en la cual, se obtendrán estructuras de correlación en trazas de jitter mediante la estimación del parámetro de Hurst (H).

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X

<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
--------------------------------	----------

1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVO GENERAL	2
1.4 OBJETIVOS PARTICULARES	3
1.5 ALCANCE	3

<b>CAPÍTULO II REDES DE TELECOMUNICACIONES</b>	<b>4</b>
--	----------

2.1 INTRODUCCIÓN	4
2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES POR SU TECNOLOGÍA DE CONMUTACIÓN	5
2.2.1 CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS	6
2.2.2 CONMUTACIÓN DE PAQUETES	8
2.2.2.1 Conmutación de paquetes basado en datagramas	8
2.2.2.2 Conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales	10
2.2.2.2.1 Circuito virtual conmutado (SVC)	10
2.2.2.2.2 Circuito virtual permanente (PVC)	11
2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES POR SU ALCANCE	12
2.3.2 REDES DE ALCANCE LOCAL	12
2.3.2.2 LAN	12
2.3.3 REDES DE GRAN ALCANCE	13
2.3.3.2 MAN	14
2.3.3.3 WAN	14
2.3.3.4 Internet	15
2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES POR SU MEDIO DE TRANSMISIÓN	16
2.4.2 REDES DE TRANSMISIÓN ALÁMBRICA	16
2.4.3 REDES DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICA	16
2.4.3.2 WPAN	17
2.4.3.3 WLAN	17
2.4.3.3.2 Modo de conectividad WLAN	18
2.4.3.3.3 Topologías	19
2.4.3.3.3.1 BSS	19
2.4.3.3.3.2 ESS	19
2.4.3.3.3.3 IBSS	20
2.4.3.3.4 Arquitectura	20
2.4.3.3.5 Capa física	20

2.4.3.3.6	Capa enlace de datos	21
2.4.3.3.7	El estándar IEEE 802.11	22
2.4.3.3.7.1	Estándar 802.11b	22
2.4.3.3.7.2	Estándar 802.11a	23
2.4.3.3.7.3	Estándar 802.11g	23
2.4.3.3.7.4	Estándar 802.11n	23
2.4.3.4	Tecnología Wimax	24
2.4.3.5	Tecnología MIMO	24
2.4.3.6	Redes inalámbricas Ad Hoc	26
<b><u>CAPÍTULO III</u> <u>TECNOLOGÍA Y ARQUITECTURA DE STREAMING</u></b>		<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>CONCEPTOS BÁSICOS</b>	<b>28</b>
3.1.1	TRUE STREAMING	28
3.1.2	DOWNLOAD AND PLAY	30
3.1.3	PROGRESSIVE DOWNLOAD AND PLAY	31
<b>3.2</b>	<b>ARQUITECTURA STREAMING</b>	<b>32</b>
3.2.1	CAPTURA Y CODIFICACIÓN	33
3.2.2	SERVIDOR	34
3.2.3	DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA	34
3.2.4	REPRODUCTOR DE MEDIOS	34
<b>3.3</b>	<b>MÉTODOS DE TRANSMISIÓN STREAMING</b>	<b>35</b>
3.3.1	UNICAST	35
3.3.2	MULTICAST	36
3.3.1	BROADCAST	37
<b>3.4</b>	<b>PROTOCOLOS STREAMING</b>	<b>37</b>
3.4.1	UDP vs. TCP	38
3.4.2	RTP	41
3.4.3	RTCP	44
3.4.4	RTSP	46
<b>3.5</b>	<b>COMPRESIÓN DE DATOS MULTIMEDIA</b>	<b>53</b>
3.5.1	ESTÁNDARES DE COMPRESIÓN EN VIDEO	53
3.5.1.1	MPEG-1	54
3.5.1.2	MPEG-2	55
3.5.1.3	MPEG-4	58
3.5.1.4	H.264	60
<b><u>CAPÍTULO IV</u> <u>CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE TRAFICO IP</u></b>		<b>63</b>
<b>4.1</b>	<b>MODELOS CLÁSICO DE POISSON</b>	<b>64</b>

<b>4.2</b>	<b>PROCESOS AUTOSIMILARES</b>	<b>66</b>
<b>4.3</b>	<b>ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO H: MÉTODO DE LA VARIANZA</b>	<b>69</b>
<b><u>CAPÍTULO V MEDICIÓN DEL PARÁMETRO DE QOS JITTER EN TRÁFICO DE VIDEO STREAMING</u></b>		<b>70</b>
<b>4.1</b>	<b>PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO</b>	<b>70</b>
4.1.1	JITTER	71
<b>4.2</b>	<b>ESCENARIO DE MEDICIÓN</b>	<b>72</b>
4.2.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS	73
4.2.2	DIRECCIONAMIENTO DEL ESCENARIO DE MEDICIÓN	77
4.2.3	SOFTWARE DEL ESCENARIO DE MEDICIÓN	80
<b>4.3</b>	<b>PRUEBAS REALIZADAS</b>	<b>81</b>
<b><u>CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN DEL JITTER EN TRÁFICO DE VIDEO STREAMING</u></b>		<b>91</b>
<b><u>CAPÍTULO VI CONCLUSIONES</u></b>		<b>97</b>
<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>		<b>99</b>

## Índice de figuras

Figura 1. a) Conmutación de Circuitos, b) Conmutación de Paquetes.	7
Figura 2. Enfoque basado en Datagramas.	9
Figura 3. Circuito Virtual Conmutado (SVC).	11
Figura 4. Circuito Virtual Permanente (PVC).	12
Figura 5. Diagrama de un Sistema de Comunicación MIMO.	26
Figura 6. Red Ad Hoc.	27
Figura 7. Tecnología Streaming.	30
Figura 8. Download and Play.	31
Figura 9. Las 4 etapas de Streaming.	32
Figura 10. Codificación y Decodificación.	33
Figura 11. Unicast vs Multicast.	37
Figura 12. Protocolos para la Transferencia de Sesiones Multimedia.	38
Figura 13. TCP vs UDP.	39
Figura 14. Encabezado RTP.	43
Figura 15. Distribución de Protocolos.	46
Figura 16. Protocolos en una Transmisión de Streaming.	48
Figura 17. Peticiones RTSP típicas.	50
Figura 18. Estados del Servidor RTSP.	53
Figura 19. Elementos de una Imagen Natural y de una Sintética.	58
Figura 20. Tráfico Observado en una Red Ethernet.	68
Figura 21. Tráfico Obtenido de un Proceso Poisson.	68
Figura 22. Escenario de Medición.	73
Figura 23. Opciones de Captura en Wireshark.	86
Figura 24. Proceso para Mostrar Todos los Flujos de la Captura.	88
Figura 25. Flujos de RTP.	89
Figura 26. Análisis de Flujos RTP.	89
Figura 27. Guardar Capturas en Formato CSV	90
Figura 28. Parámetro H del flujo de Audio MPEG-1: Sets 1-6.	92
Figura 29. Parámetro H del flujo de Video MPEG-1: Sets 7-12.	92
Figura 30. Valores máximos de jitter del flujo de Audio MPEG-1: Sets 1-6.	93
Figura 31. Valores máximos de jitter del flujo de Video MPEG-1: Sets 7-12.	94
Figura 32. Parámetro H del flujo de Audio MPEG-2: Sets 13-18.	95
Figura 33. Parámetro H del flujo de Video MPEG-2: Sets 19-24.	95

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Descripción de la PC-DCS y PC-CTIC.</i>	74
<i>Tabla 2. Router Inalámbrico Belkin N600 DB.</i>	74
<i>Tabla 3. Antena MIMO Ubiquiti NanoStation M5.</i>	75
<i>Tabla 4. Características Comunes en los Equipos Utilizados.</i>	76
<i>Tabla 5. PC-DCS (Servidor).</i>	78
<i>Tabla 6. Router Belkin N600.</i>	78
<i>Tabla 7. Antena MIMO DCS.</i>	78
<i>Tabla 8. PC-CTIC (Cliente).</i>	79
<i>Tabla 9. Antena MIMO CTIC.</i>	79
<i>Tabla 10. Red WLAN-A (DCS).</i>	80
<i>Tabla 11. Red WLAN-B (DCS).</i>	80
<i>Tabla 12. Conjunto de mediciones obtenidas MPEG-1.</i>	82
<i>Tabla 13. Propiedades del códec implementado MPEG-1.</i>	83
<i>Tabla 14. Conjunto de mediciones obtenidas MPEG-2.</i>	84
<i>Tabla 15. Propiedades del códec implementado MPEG-2.</i>	85

## Capítulo I INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Tradicionalmente las redes de comunicaciones fueron diseñadas para fines específicos. Para el transporte del tráfico de voz se ha utilizado hasta ahora la red telefónica pública conmutada (PSTN), basada en la tecnología de conmutación de circuitos y especialmente adaptada a las características del tráfico de voz. En la conmutación de circuitos durante el tiempo que se desarrolla la comunicación se asignan recursos de comunicación (enlace y conmutación) dedicados. Por otro lado, el tráfico de datos, se caracteriza por su falta de continuidad (tráfico a ráfagas). Es por ello, que la tecnología de conmutación de paquetes, en la cual, los recursos son compartidos, se adapta mucho mejor a este tipo de tráfico. En la conmutación de paquetes, la información a transmitir se fragmenta y cada “fragmento” o paquete se envía de forma independiente con la misma dirección destino.

Por otro lado, la tendencia actual de las comunicaciones es la unificación de redes, es decir que sobre una misma infraestructura se transmitan múltiples medios (voz, datos, video, etc.). Esta tendencia es mejor conocida como convergencia de redes, donde la infraestructura de red convergente es la red IP.

Una de las aplicaciones de gran demanda sobre esta red convergente es la transmisión de video streaming. Sin embargo, la red IP proporciona un servicio de mejor esfuerzo y no garantiza calidad de servicio (QoS). Cuando el tráfico de video streaming es transportado sobre una red IP, la tecnología basada en paquetes puede introducir desperfectos y tener influencia en la QoS percibida por el usuario final. La calidad del video streaming depende de muchos parámetros de QoS, particularmente, el jitter tiene un importante impacto. Para poder hacer frente a los impactos negativos del jitter sobre la QoS en la transmisión de video streaming, el diseño correcto del de-jitter buffer en el receptor juega un papel muy importante. Una técnica para lograr un buen diseño del de-jitter buffer en aplicaciones

multimedia es mediante el uso de modelos representativos de tráfico. Para implementar modelos representativos de tráfico es necesario realizar monitoreo y caracterización de los parámetros de QoS mediante mediciones de red.

En la presente tesis se realiza la medición y caracterización del jitter sobre una red inalámbrica MIMO con tráfico de video streaming.

## 1.2 Justificación

Una de las aplicaciones en tiempo real que ha incrementado su popularidad sobre la red IP es la transmisión de video streaming. Sin embargo, esta aplicación demanda ciertos niveles de QoS para proporcionar un aceptable grado de satisfacción al usuario final. El monitoreo de los parámetros de QoS en las redes IP, juegan un papel muy importante en diversas aplicaciones en tiempo real; pues permite conocer el comportamiento de tales parámetros y la obtención de modelos de tráfico. Dichos modelos de tráfico permiten explicar la relación que existe entre la capacidad de una red de telecomunicaciones, la demanda de servicio que los usuarios le imponen y el nivel de desempeño que la red puede alcanzar.

Motivados por los puntos anteriores en este trabajo se realizó un estudio de medición y caracterización del jitter sobre una red inalámbrica MIMO con tráfico de video streaming. Los resultados obtenidos pueden ser usados para el correcto diseño de un de-jitter buffer en la transmisión de video streaming.

## 1.3 Objetivo General

Realizar un estudio de monitoreo y caracterización del jitter en tráfico de video streaming sobre una red inalámbrica MIMO.

## 1.4 Objetivos Particulares

- Implementar un escenario de medición inalámbrico bajo la tecnología MIMO.
- Generar tráfico de video streaming bajo los esquemas de codificación MPEG1 y MPEG2.
- Capturar el parámetro de QoS jitter en tráfico de video streaming mediante el analizador de protocolos wireshark.
- Filtrar y procesar las trazas de jitter.
- Obtener estructuras de correlación en trazas de jitter mediante el parámetro de Hurst (H).
- Estimar el parámetro de Hurst mediante el método de la varianza.

## 1.5 Alcance

El presente trabajo tiene como alcance, caracterizar el comportamiento del jitter en tráfico de video streaming mediante estructuras de correlación.

## Capítulo II REDES DE TELECOMUNICACIONES

### 2.1 Introducción

Durante las dos primeras décadas de existencia, las computadoras eran sistemas de hardware fuertemente centralizados, normalmente ubicados en un único espacio físico. Las empresas y centros que poseían una computadora hacían que ésta cubriera todas las necesidades computacionales de la institución. A medida que las capacidades de las computadoras crecieron, la centralización se convirtió en un problema tanto de gestión como de recursos. De esta manera, se fue sustituyendo el modelo centralizado por un modelo en el que múltiples computadoras con menos capacidad pero interconectados entre sí eran capaces de realizar las tareas de una computadora centralizada.

La evolución de las tecnologías ha llevado a un crecimiento progresivo del uso de los sistemas en red hasta llegar al modelo de hoy en día, en el que no se puede concebir un sistema informático sin la presencia de los elementos de comunicación [1].

La función básica de una red de telecomunicaciones es conectar usuarios a otros usuarios a través de sus terminales, conectar usuarios a servidores, o terminales a otros terminales. La red establece una conexión entre dos o más terminales haciendo uso de sus direcciones de origen y destino [2].

Las redes actuales están formadas por tres tipos de entidades: los equipos finales (hosts), los equipos intermedios (conmutadores o routers) y los enlaces (links) que unen los equipos finales y los routers entre sí. A la disposición lógica de estas entidades se le conoce como topología de red. Entre las más conocidas están [1]:

- **Bus.** Todos los equipos están conectados a un único medio de transmisión compartido por todas las estaciones de la red, por lo que resulta necesario

establecer un sistema de acceso al medio con el fin de evitar que haya más de una estación transmitiendo en el mismo instante de tiempo y se produzcan colisiones.

- **Anillo.** Una topología en anillo está formada por un enlace que forma un bucle, de manera que cada estación está conectada al anillo a través de dos enlaces, el de entrada y el de salida. Generalmente, cuando la estación emisora recibe su propio paquete lo elimina de la red.
- **Estrella.** Esta topología está formada por un nodo central, que actúa como nodo intermedio de la red (conmutador o router) y es el que gestiona el envío y la recepción de los datos; el resto de las estaciones se conectan a este nodo principal.

Las redes de telecomunicaciones pueden ser de uso privado si pertenecen a una entidad o de uso público si pertenecen a un operador de telecomunicaciones. Se diferencian según el tipo de transmisión que se efectúe y en función del tipo de red (protocolo, técnica de conmutación, circuito permanente, etc.).

La mayoría de las redes de telecomunicación utilizan la técnica de conmutación de paquetes, que permite asignar a cada circuito físico varios circuitos virtuales. Los circuitos virtuales pueden ser permanentes, es decir, se asigna una ruta permanente o ancho de banda para conectar equipos; o pueden ser conmutados, esto es, se establece una asignación dinámica del circuito después del establecimiento de conexión [3].

## 2.2 Clasificación de las redes por su tecnología de conmutación

Una red conmutada consta de una serie de nodos interconectados, denominados conmutadores. Los conmutadores son dispositivos hardware y software capaces de crear conexiones temporales entre dos o más dispositivos conectados al conmutador. En una red conmutada, algunos de estos nodos se conectan a dispositivos de comunicación. El resto se utiliza sólo para realizar el encaminamiento [4].

Esencialmente, esta conmutación se puede dividir en dos clases diferentes: la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes.

### 2.2.1 Conmutación de circuitos

La conmutación de circuitos se basa en establecer un circuito físico entre dos dispositivos de la red. Dicho circuito físico se establece antes de que se pueda transmitir algún tipo de información y está conformado por diferentes enlaces entre los nodos, véase Figura 1 (a). En conmutación de circuitos se distinguen tres fases para el envío de información [1]:

1. **Establecimiento del circuito.** Esta fase se encarga de buscar un camino entre los nodos intermedios que lleven hacia el destino; así la estación origen solicita la creación del circuito al nodo al que está conectada, el cual envía la petición al nodo siguiente. Este otro nodo hará lo mismo hacia el siguiente, y así hasta llegar al destino final. A medida que se va formando el circuito, cada nodo intermedio verifica que haya bastantes recursos para establecerlo, y, en el caso de que no sea así, se aborta la petición de circuito. Por el contrario, en el caso de que el establecimiento sea viable, una vez llegado al destino, éste enviará una señal al origen para hacerle saber que ya puede enviar información.
2. **Transferencia de datos.** En esta fase, las estaciones ya pueden intercambiar la información deseada.
3. **Desconexión.** Una vez que se ha finalizado la comunicación es obligatorio liberar recursos, a fin de que estén disponibles más adelante para otras conexiones.

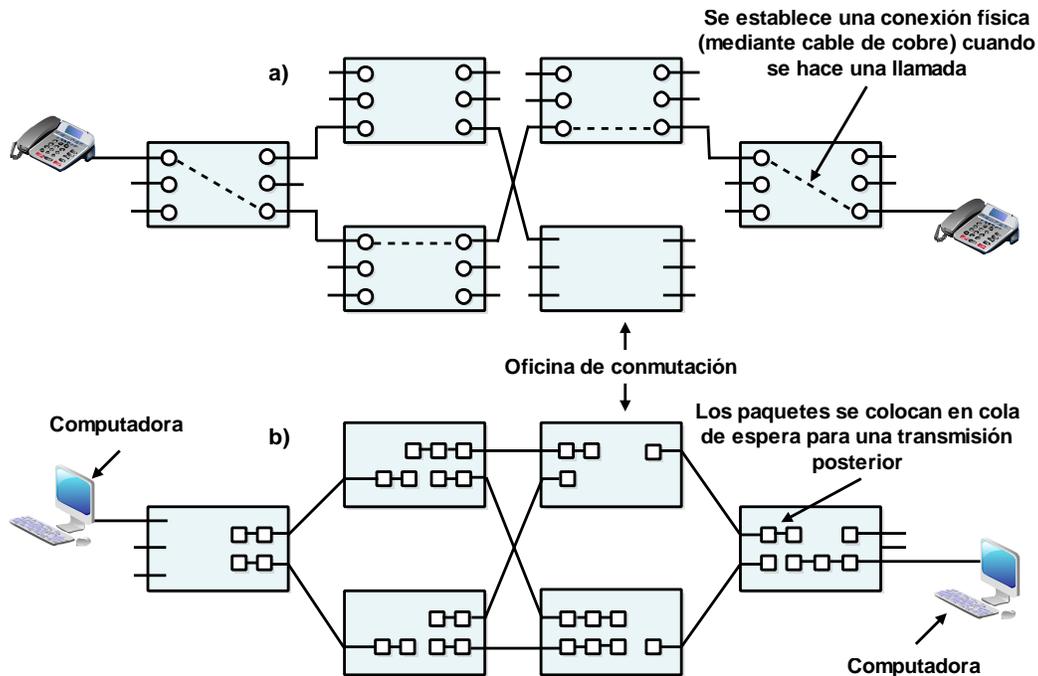


Figura 1. a) Conmutación de Circuitos, b) Conmutación de Paquetes.

La conmutación de circuitos es menos adecuada para datos. La transmisión sin voz tiende a realizarse en ráfagas, lo que significa que la información se envía con intervalos de tiempo de separación entre ellos. Cuando se utiliza un enlace de conmutación de circuitos para la transmisión de datos, la línea permanece inactiva durante esos intervalos, utilizando recursos de una manera no óptima.

Una segunda debilidad de la conmutación de circuitos para la transmisión de datos se encuentra en su velocidad de transmisión. Un enlace de conmutación de circuitos crea el equivalente a un único cable entre dos dispositivos y, por tanto, asume una tasa fija de datos para ambos dispositivos. Esto limita la flexibilidad y utilidad de la conmutación de circuitos para redes que interconectan una gran variedad de dispositivos digitales.

En tercer lugar, la conmutación de circuitos es inflexible. Una vez establecido un circuito, este es el camino utilizado en la transmisión, sea o no el más eficiente o disponible.

Por último, la conmutación de circuitos trata a todas las transmisiones por igual. Cualquier petición es aceptada siempre que haya un enlace disponible. Pero con frecuencia en las transmisiones de datos se quiere la posibilidad de priorizar: por ejemplo, que la transmisión “X” puede llevarse a cabo en cualquier momento, pero la transmisión “Z” que es dependiente del tiempo se efectúe inmediatamente. Una mejor solución para la transmisión de datos es la conmutación por paquetes [4].

### 2.2.2 Conmutación de paquetes

En una red de conmutación de paquetes, los datos son transmitidos en unidades discretas formadas por bloques de longitud potencialmente variable denominados paquetes. La red establece la longitud máxima del paquete. Las transmisiones de datos de longitud grande, se dividen en paquetes. Cada paquete contiene no sólo datos, sino también una cabecera con información de control (como códigos de prioridad y las direcciones de origen y de destino). Los paquetes son enviados por la red de un nodo a otro. En cada nodo, el paquete es almacenado brevemente y encaminado de acuerdo a la información presente en su cabecera [4].

La conmutación de paquetes es más tolerante a fallas que la conmutación de circuitos, esta es la razón por la que se inventó. Si falla la conmutación, todos los circuitos que la están utilizando se cancelan y no pueden enviar nada más a través de ellos. Con la conmutación de paquetes, los paquetes pueden enrutarse evitando conmutadores averiados. La conmutación por paquetes se puede observar en la Figura 1 (b) [5].

Existen dos enfoques tradicionales de la conmutación de paquetes: datagramas y circuitos virtuales.

#### 2.2.2.1 Conmutación de paquetes basado en datagramas

En la conmutación de paquetes basada en datagramas, cada paquete es tratado de forma independiente de los otros. Incluso cuando el paquete representa únicamente un trozo de una transmisión de varios paquetes, la red (y las funciones

del nivel de red) trata al paquete como si sólo existiera él. En esta tecnología a los paquetes se les denomina datagramas.

La Figura 2 muestra cómo se puede utilizar el enfoque basado en datagramas para entregar cuatro paquetes de la estación “A” a la estación “B”. En este ejemplo, los cuatro paquetes (o datagramas) pertenecen al mismo mensaje pero pueden viajar por caminos diferentes para alcanzar su destino.

Este enfoque puede hacer que los datagramas de una transmisión lleguen a su destino desordenados. El nivel de transporte tiene la responsabilidad, en la mayoría de los protocolos, de reordenar los datagramas antes de pasarlos al puerto de destino.

El enlace que comunica cada par de nodos puede contener varios canales. Cada uno de estos canales es capaz, a su vez, de transmitir datagramas de varios orígenes diferentes o del mismo origen. La multiplexación se puede realizar utilizando TDM o FDM [4].

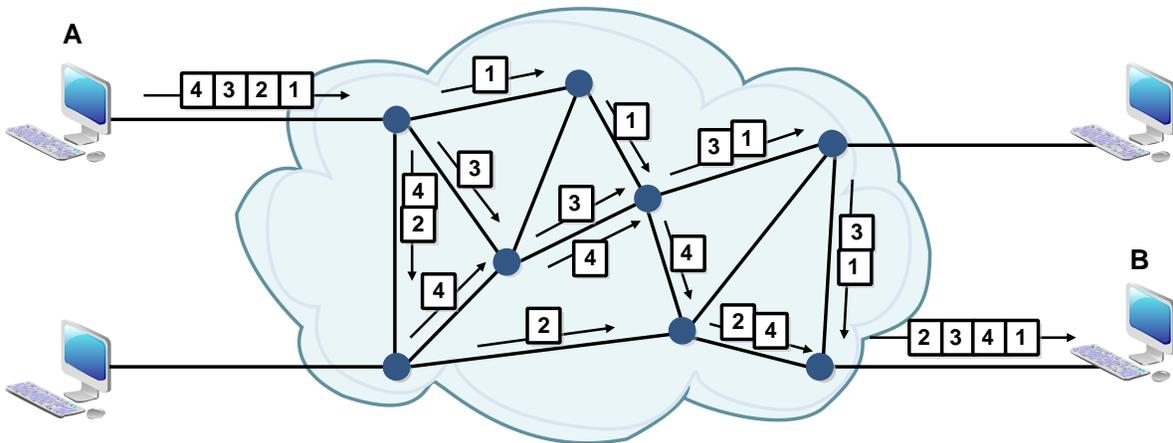


Figura 2. Enfoque basado en Datagramas.

### 2.2.2.2 Conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales

En la conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales, se mantiene la relación que existe entre todos los paquetes que pertenecen a un mismo mensaje o sesión. Se elige al comienzo de la sesión una única ruta entre el emisor y el receptor. Cuando se envían datos, todos los paquetes de la transmisión viajan uno después de otro por la misma ruta.

Hoy en día, la transmisión utilizando circuitos virtuales se implementa de dos formas: circuitos virtuales conmutados (SVC, Switched Virtual Circuit) y circuitos virtuales permanentes (PVC, Permanent Virtual Circuit) [4].

#### 2.2.2.2.1 Circuito virtual conmutado (SVC)

Un circuito virtual conmutado (SVC) es comparable conceptualmente a las líneas de marcación en la conmutación de circuitos. En este método se crea un circuito virtual cuando se necesita y existe solo durante la duración del intercambio específico. Un ejemplo sería el que se muestra en la figura 3, si la estación “A” quiere enviar cuatro paquetes a la estación “D”. En primer lugar, “A” solicita el establecimiento de una conexión con “D”. Una vez establecida la conexión, los paquetes son enviados uno después de otro y en orden secuencial. Cuando el último paquete ha sido recibido y, si es necesario, confirmado, se libera la conexión y el circuito virtual deja de existir. Sólo existe una ruta durante la duración de la transmisión, aunque la red pudiera elegir una ruta distinta en respuesta a un fallo o congestión.

Cada vez que “A” desea comunicarse con “B”, se debe establecer una nueva ruta. La ruta puede ser la misma cada vez o puede ser diferente según las condiciones de la red [4].

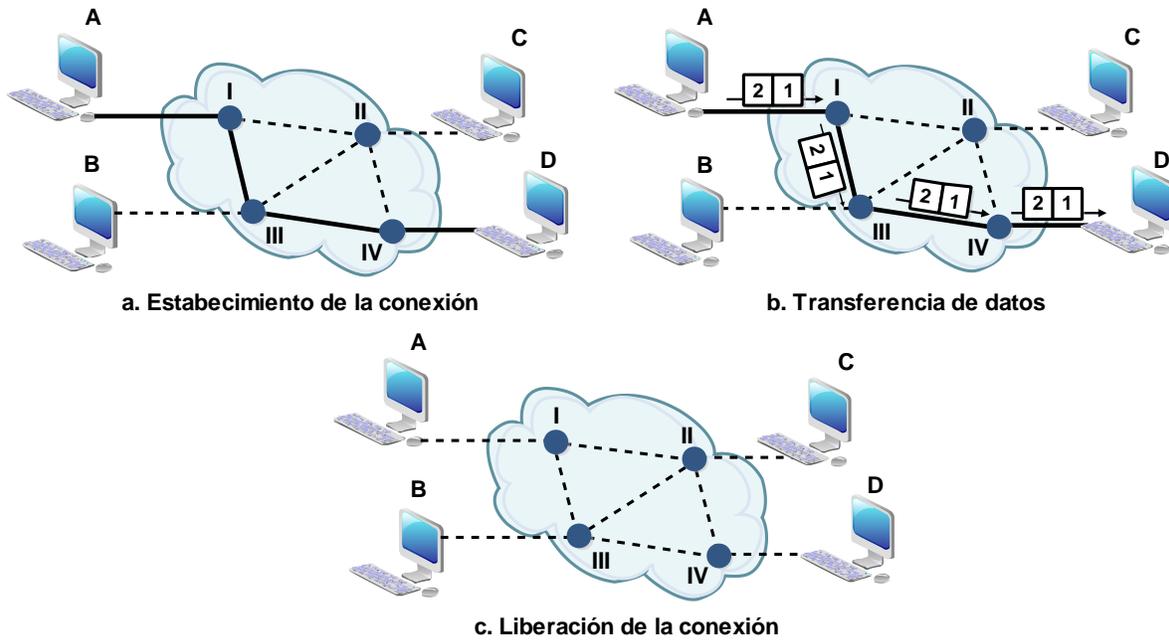


Figura 3. Circuito Virtual Conmutado (SVC).

#### 2.2.2.2.2 Circuito virtual permanente (PVC)

Los circuitos virtuales permanentes (PVC) son comparables a las líneas dedicadas en la conmutación de circuitos. En este método, se establece de forma continua un mismo circuito virtual entre dos usuarios. El circuito está dedicado a los usuarios especificados. Nadie más puede utilizarlo y, debido a que siempre está disponible, se puede usar sin necesidad de establecer ni liberar las conexiones. Mientras que dos usuarios en SVC pueden obtener rutas diferentes cada vez que solicitan una conexión, dos usuarios en PVC siempre obtienen la misma ruta, esto se puede observar en la Figura 4 [4].

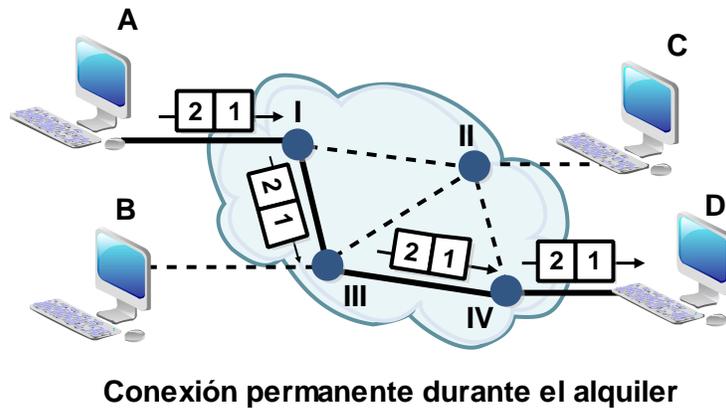


Figura 4. Circuito Virtual Permanente (PVC).

### 2.3 Clasificación de las redes por su alcance

Una clasificación clásica de las redes es la que se hace en función de su alcance, esta clasificación puede cambiar dependiendo de su entorno. Se consideran dos categorías: las de redes de alcance local y las redes de gran alcance.

#### 2.3.2 Redes de alcance local

Las redes de alcance local están diseñadas para tener un alcance más reducido, que puede oscilar entre unos pocos kilómetros y algunos metros (incluso centímetros). En esta categoría se encuentra la tecnología LAN.

##### 2.3.2.2 LAN

Una LAN es el tipo más pequeño en uso general. Consiste principalmente en computadoras personales interconectadas dentro de una oficina o edificio. Las LAN pueden tener un mínimo de 3 a 5 usuarios; sin embargo, la mayoría de los sistemas conectan de 10 a 1000 usuarios.

Una compañía puede usar una LAN pequeña para interconectar varias oficinas en el mismo edificio, caso en que el cableado puede correr entre diferentes pisos del edificio para hacer las conexiones. Las LAN muy grandes pueden interconectar varios edificios dentro de un complejo, por ejemplo, grandes compañías con múltiples edificios, instalaciones militares y colegios y universidades [6].

Además del tamaño, las LAN se distinguen de otros tipos de redes por su medio de transmisión y su topología. En general, una LAN determinada usará un único medio de transmisión. Las topologías más frecuentes de las LAN son el bus, anillo y la estrella.

Tradicionalmente, las LAN tienen tasas de datos en un rango de entre 4 y 16 Mbps. Sin embargo, actualmente las velocidades se han incrementado y pueden alcanzar los 100 Mbps e incluso velocidades de gigabits [4].

### 2.3.3 Redes de gran alcance

En las redes de gran alcance se consideran aquellas que utilizan espacios geográficos extensos. En esta categoría destacan las MAN, WAN y el Internet, que es la interconexión de las LAN y WAN a escala global. Las características de estas redes (definición, alcance, etc.) están definidas en el apartado siguiente.

### 2.3.3.2 MAN

MAN (*Metropolitan Area Network*, Red de Área Metropolitana). Es la red que se sitúa en un barrio, urbanización, ciudad o municipio pequeño (a pocos kilómetros, normalmente oscila entre 1 y 7 km y excepcionalmente puede llegar a decenas de kilómetros con repetidores) [7].

La MAN ha sido diseñada para que se pueda extender a lo largo de una ciudad entera. Puede ser una red única, como una red de televisión de cable, o puede ser una forma de conectar un cierto número de LAN en una red mayor, de forma que los recursos puedan ser compartidos de LAN a LAN y de dispositivo a dispositivo [4].

Una MAN también puede ser una compañía telefónica local o una red especial para una organización gubernamental para comunicar dentro de una ciudad o país [6].

### 2.3.3.3 WAN

Una red de área amplia (WAN, *Wide Area Network*) proporciona un medio de transmisión a larga distancia de datos, voz, imágenes e información de video sobre grandes áreas geográficas que pueden extenderse a un país, un continente o incluso el mundo entero.

Las WAN pueden utilizar dispositivos de comunicación públicos, alquilados o privados, habitualmente combinaciones, y además pueden extenderse a lo largo de un número de kilómetros ilimitado [4].

#### 2.3.3.4 Internet

Internet es una gran red constituida por una infinidad de pequeñas redes interconectadas entre sí, cuya finalidad es permitir el intercambio libre de información entre todos sus usuarios.

El funcionamiento de Internet se basa en tres factores fundamentales [8]:

- 1. Protocolos de comunicación:** un protocolo es un conjunto de normas que determina como debe funcionar algo. Estos hacen posible que distintas computadoras repartidas por todo el mundo puedan intercambiar datos. En un principio, cada fabricante de equipos informáticos establecía sus protocolos de comunicación, pero con el crecimiento de Internet y con la idea de que fuese una red global, se acordó la unificación de los protocolos con independencia del fabricante del equipo. El protocolo que se utiliza en Internet es el TCP/IP (Protocolo de Control de la Transmisión/Protocolo de Internet).
- 2. Dirección IP:** a cada computadora se le asigna una dirección o un nombre que se conoce como dirección IP, y que es única para cada una de ellas. Las direcciones IP están compuestas por cuatro cifras numéricas, separadas por puntos, cada una de ellas puede tomar valores comprendidos entre 0 y 255.
- 3. Servidores:** es necesario que exista alguna computadora que organice un poco la comunicación entre unos equipos y otros, para garantizar de este modo el funcionamiento de la red. A las computadoras que se encargan de prestar algún tipo de servicio al resto de los usuarios se le conoce como servidores.

## 2.4 Clasificación de las redes por su medio de transmisión

Dependiendo el medio de transmisión, las redes se clasifican de dos maneras: redes de transmisión alámbrica y redes de transmisión inalámbrica.

### 2.4.2 Redes de transmisión alámbrica

Los medios alámbricos de transmisión se utilizan en las redes de cómputo para instrumentar lo que se conoce como cableado de la red. Este se refiere al medio físico que se usa para conectar entre si las estaciones de trabajo de los usuarios y con otros dispositivos o nodos de la red para conseguir el intercambio de información entre todos los elementos de la red [9].

Dentro de las redes cableadas, la familia de tecnologías por excelencia es Ethernet (definido en el estándar IEEE 802.3), que empezó como una tecnología a 10 Mbps con una topología en bus, y que ha ido evolucionando a una topología en estrella a 1 Gbps (Gigabit Ethernet) pasando por Fast Ethernet, todavía muy utilizado en la actualidad a 100 Mbps.

A pesar de empezar siendo una tecnología limitada a LAN, Ethernet ha evolucionado tanto, gracias a su bajo costo y a su gran aceptación, que actualmente hay enlaces WAN construidos con esta tecnología [1].

### 2.4.3 Redes de transmisión inalámbrica

Las redes inalámbricas utilizan como medio de transmisión el espacio libre para difundir sus ondas electromagnéticas, las cuales permiten la transmisión de cualquier tipo de información (audio, videos, datos) desde cualquier lugar y en cualquier momento. Las redes inalámbricas que más se usan en la actualidad son la WLAN y la WPAN.

#### 2.4.3.2 WPAN

WPAN (*Wireless Personal Area Network*, Red Inalámbrica de Área Personal). Es la red inalámbrica de interconexión de periféricos que se puede encontrar tanto a unos pocos centímetros como a metros de distancia del emisor. Sus velocidades de transmisión son inferiores al megabit por segundo. El estándar más conocido es el bluetooth, que se utiliza para el intercambio de archivos «Persona a Persona» (Person to Person, Peer-to-Peer o P2P) o «Terminal a Terminal» (Device-to-Device o D2D) [2].

#### 2.4.3.3 WLAN

Una red inalámbrica de área local (WLAN) es aquella en la que una serie de dispositivos (PCs, impresoras, servidores, laptop, etc.) se comunican entre sí mediante emisiones radioeléctricas que se propagan a través del aire, sin necesidad de tendido de cable. Se distinguen distintas tecnologías inalámbricas en función del área de cobertura de la red, de esta manera la tecnología WLAN es aquella con área de cobertura en entorno local [10].

Las redes inalámbricas de área local son un sistema de comunicación de datos flexible, muy utilizado como alternativa a la red LAN cableada. Las ventajas que ofrecen las redes WLAN son las siguientes [11]:

- Movilidad y mayor productividad: Permite el acceso a la información de forma rápida en cualquier lugar de la organización o empresa para todo usuario de la red. Esta movilidad permite un aumento de la productividad.
- Flexibilidad: Las redes WLAN, al ser inalámbricas, permiten llegar a zonas de complicado acceso a través del cableado.
- Escalabilidad: El cambio de topología de red es sencillo. Pudiéndose ampliar o mejorar con gran facilidad una red existente.

- Reducción de costes: La instalación de una red inalámbrica es mucho más barata que la cableada cuanto mayor sea la superficie a cubrir, y permite un período de amortización más corto.
- Facilidad de instalación: Evita obras para tirar cable por muros, suelos y techos.

#### 2.4.3.3.2 Modo de conectividad WLAN

Las redes WLAN pueden ser usadas en dos modos:

- El modo más popular es conectado a clientes, como laptops y smartphones, a otra red, como una intranet de alguna compañía o la Internet.

Las redes LAN inalámbricas que incorporan puntos de acceso suelen denominarse redes LAN inalámbricas de infraestructura, siendo la “infraestructura” los puntos de acceso junto con la infraestructura de Ethernet cableada que interconecta los puntos de acceso y un router [12].

En este modo, cada cliente es asociado a un AP (Punto de Acceso) que es a su vez conectado a la otra red. El cliente manda y recibe sus paquetes a través de la AP [5].

- El otro modo son las redes ad hoc. Este modo es una colección de computadoras que están asociadas de tal manera que puedan enviar directamente tramas una a la otra [8]. En las redes ad hoc los hosts inalámbricos no tienen ninguna infraestructura de ese tipo a la que conectarse. En ausencia de dicha infraestructura, los propios hosts tienen que proporcionar servicios tales como el enrutamiento, la asignación de direcciones, la traducción de nombres de tipo DNS, etc. [12].

#### 2.4.3.3.3 Topologías

Existen tres topologías de red WLAN [16]:

- Grupo de servicio básico (BSS, Basic Service Set): Topología de red formada por un punto de acceso y estaciones inalámbricas.
- Grupo de servicio extendido (ESS, Extended Service Set): Cuando existe más de una BSS interconectadas entre ellas.
- Grupo de servicio independiente (IBSS, Independent Basic Service Set): Cuando una BSS está formada únicamente por estaciones inalámbricas, operando por lo tanto en modo ad-hoc.

##### 2.4.3.3.3.1 BSS

En el modo BSS, el punto de acceso realiza las funciones de coordinación. Todo el tráfico desde y hacia las estaciones inalámbricas tiene que atravesar el punto de acceso, por lo que hay una clara pérdida de eficiencia cuando dos estaciones dentro de un mismo BSS desean comunicarse entre sí.

Es una arquitectura apropiada cuando la mayor parte del tráfico se origina o finaliza en las redes exteriores a las cuales está conectado el punto de acceso. Es el modo que se emplea habitualmente para conectar una red inalámbrica en el hogar con Internet a través del acceso del router/modem de cable o de ADSL. También se emplea en una red de una empresa para conectar las estaciones inalámbricas a la red de área local (LAN) [13].

##### 2.4.3.3.3.2 ESS

El modo ESS es aquel que está formado por un conjunto de BSS asociadas mediante un sistema de distribución formando una subred única. Teniendo en cuenta que la mayoría de las redes WLAN tendrán la necesidad de conectarse a las redes LAN cableadas, éste será el modo de operación generalmente adoptado

en las redes WLAN de empresas con más de un AP y en las redes WLAN públicas [16].

#### 2.4.3.3.3.3 IBSS

El modo conocido como IBSS o ad-hoc es aquel en el cual no hay punto de acceso, las estaciones inalámbricas se comunican entre sí. Las funciones de coordinación son asumidas de forma aleatoria por una de las estaciones inalámbricas presentes. El tráfico de información se lleva a cabo directamente entre los equipos implicados, sin tener que recurrir a una jerarquía superior centralizadora, obteniéndose un aprovechamiento máximo del canal de comunicaciones. Es un modo que puede ser muy útil cuando el tráfico existente se reparte entre todos los equipos cercanos físicamente [13].

#### 2.4.3.3.4 Arquitectura

El punto de acceso (AP) es el elemento que tiene la capacidad de gestionar todo el tráfico de las estaciones inalámbricas y que puede comunicarse con otras celdas o redes.

En su forma más simple es un bridge de dos puertos que comunica los equipos de su celda de cobertura entre sí y con otras redes a las cuales estuviese conectado, haciendo de puente entre las redes cableadas y las inalámbricas [13].

#### 2.4.3.3.5 Capa física

La capa física con 5 técnicas de transmisión, cada una de las cuales posibilita el envío de un paquete de una máquina a otra, sin embargo, difieren en la tecnología que usan y las velocidades que alcanzan.

Las técnicas de transmisión utilizadas son las siguientes [14]:

- Método Infrarrojo: Utiliza en su mayor parte la misma tecnología que los controles remotos de televisión.
- Espectro ensanchado por salto de frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS): Utiliza el radio de corto alcance. Parte del espectro que no necesita licencia (la banda ISM de 2.4 GHz). Utiliza 79 canales, cada uno de los cuales tiene un ancho de banda de 1 MHz, iniciando en el extremo más bajo de la banda ISM de 2.4 GHz.
- Espectro ensanchado por secuencia directa (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS): Está restringido a 1 o 2 Mbps.
- Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM): La primera de las WLANs de alta velocidad, 802.11a, utiliza OFDM (Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonales) para enviar hasta 54 Mbps en la banda ISM más ancha de 5 GHz. Como lo sugiere el término FDM, se utilizan frecuencias diferentes — 52 en total, 48 para datos y 4 para sincronización— al igual que ADSL. Fue introducido en 1999 y 2003. El primero es llamado 802.11a y usa una diferente banda de frecuencia, 5 GHz. La segunda con 2.4 GHz y compatibilidad es llamado 802.11g. Ambos dan velocidades de hasta 54 Mbps.
- MIMO (Multiple Input Multiple Output): La más reciente técnica de transmisión que usa simultáneamente antenas en el transmisor y receptor para un aumento de velocidad, fue finalizada como 802.11n en Octubre 2009.

#### 2.4.3.3.6 [Capa enlace de datos](#)

La capa de enlace de datos está formada por dos subcapas [14]:

- Subcapa MAC (Medium Access Control): determina la asignación del canal para la transmisión, es decir, establece cuál es la estación que transmitirá a continuación.

- Subcapa LLC (Logical Link Control): su trabajo es ocultar las diferencias entre las diferentes variantes de los estándares 802 de modo que sean indistinguibles para las capas superiores.

#### 2.4.3.3.7 El estándar IEEE 802.11

Estándar que fue ratificado en julio de 1997. Funciona en la banda de 2.4 GHz con velocidades de transmisión máximas de 2Mbps. Incluye velocidades de transmisión de 1Mbps y 2Mbps, dependiendo de la distancia entre el punto de acceso y la estación inalámbrica y de las condiciones de utilización del canal. Utiliza las modulaciones FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) y DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) en la capa de enlace y DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) en la capa física. El número de canales ofrecido por el estándar es 11.

La primera barrera que se encontró este estándar, fue el de su baja velocidad de transmisión de datos, no soportaba los requerimientos existentes. En consecuencia el IEEE trabajó en un nuevo estándar, el estándar IEEE 802.11b [13].

##### 2.4.3.3.7.1 Estándar 802.11b

El estándar IEEE 802.11b de la red de área local inalámbrica opera en el rango de los 2.4 GHz (de 2.4 a 2.483 GHz). Fue lanzado en septiembre de 1999, después que se lanzara el IEEE 802.11 en junio de 1997. La capa física del IEEE 802.11b es una extensión de la capa física del IEEE 802.11 que sólo soporta de 1 a 2 Mbps mientras que el 802.11b soporta hasta 11 Mbps o en su modo extendido 22 Mbps. Además, el IEEE 802.11b define una tasa dinámica que permite el ajuste automático de la tasa de datos en función de las condiciones de ruido. Esto significa que los dispositivos del IEEE 802.11b transmitirán a velocidades más bajas 5.5 Mbps, 2 Mbps y 1 Mbps cuando lo requieran las condiciones de ruido.

Cuando los dispositivos se muevan dentro del rango de transmisión de alta velocidad, la conexión se acelerará automáticamente otra vez [13].

#### 2.4.3.3.7.2 Estándar 802.11a

Estándar ratificado en septiembre 1999, pero los primeros equipos en el mercado no aparecieron hasta el año 2001. Una de sus características es que llega a alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps gracias a la utilización de OFDM (ortogonal frequency-division multiplexing) [16]. OFDM divide una portadora de datos de alta velocidad en 52 subportadoras de baja velocidad que se transmiten en paralelo [14].

Las velocidades que permite son: 6, 9, 12, 18, 36, 48 y 54 Mbps [13].

#### 2.4.3.3.7.3 Estándar 802.11g

El estándar IEEE 802.11g define un modo de operación de hasta 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz con compatibilidad con los productos 802.11b y una modulación OFDM [13].

#### 2.4.3.3.7.4 Estándar 802.11n

El estándar IEEE 802.11n es una propuesta de mejora del estándar IEEE 802.11b. 802.11n utiliza antenas de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO, Multiple-Input Multiple-Output); es decir, dos o más antenas en el lado emisor y dos o más antenas en el lado receptor están transmitiendo/recibiendo diferentes señales [13]. Así, con cuatro antenas y mayores canales, el estándar 802.11 ahora define subidas de hasta unos sorprendentes 600 Mbps [14].

#### 2.4.3.4 *Tecnología Wimax*

Es una familia de estándares IEEE 802.16 que trata de suministrar datos inalámbricos a un gran número de usuarios en un área extensa, a velocidades capaces de competir con las de los modems por cable y las redes ADSL. El estándar 802.16d actualiza el estándar anterior 802.16a. El estándar 802.16e pretende soportar la movilidad a velocidades de 70-80 millas por hora, unos 105-120 kilómetros por hora, y tiene una estructura de enlace diferente para dispositivos pequeños y de recursos limitados tales como las PDA, los teléfonos y las computadoras portátiles.

La arquitectura 802.16 está basada en la noción de una estación base que sirve de modo centralizado a un número potencialmente grande de clientes (conocido con el nombre de estaciones de abonado) asociados con dicha estación base. En este sentido, WIMAX es similar tanto a WiFi en modo infraestructura como a las redes de telefonía celular. La estación base coordina la transmisión de los paquetes de la capa de enlace tanto en la dirección de bajada (desde la estación base a las estaciones de abonado) como de subida (desde las estaciones de abonado hacia la estación base) [12].

#### 2.4.3.5 *Tecnología MIMO*

El uso de múltiples antenas en el receptor y transmisor en sistemas inalámbricos, popularmente conocido como tecnología MIMO (multiple-input multiple-output), ha ganado rápidamente popularidad en la última década debido a sus potentes capacidades para mejorar el rendimiento. La comunicación en canales

inalámbricos se ve afectada principalmente por el desvanecimiento multitrayectoria.

La tecnología MIMO constituye un gran avance en el diseño de un sistema de comunicación inalámbrico. Ofrece un número de beneficios que ayudan a resolver los desafíos planteados tanto por los impedimentos en el canal inalámbrico, como las limitaciones de recursos. Además del tiempo y las dimensiones de frecuencia que son explotados en sistemas inalámbricos de antena única convencionales, las ventajas de MIMO son realizadas por la explotación de la dimensión espacial (proporcionada por las múltiples antenas en el transmisor y el receptor) [15].

El esquema de MIMO es la principal tecnología candidata a diversas propuestas estándar para la cuarta generación de sistemas de comunicación inalámbrica. Los principales beneficios de la tecnología MIMO que ayudan a alcanzar tales mejoras significativas de rendimiento son [16]:

- Ganancia de multiplexación espacial, que hace uso de los grados de libertad en el sistema de comunicación mediante la transmisión de flujos de símbolos independientes en paralelo a través de canales espaciales, para mejorar la eficiencia del ancho de banda.
- Ganancia de diversidad, que se puede lograr haciendo un promedio de rendimiento sobre ganancias de rutas múltiples para combatir el desvanecimiento, para mejorar la capacidad del canal y/o tasa de error de bit (BER).

La Figura 5 muestra los elementos básicos que componen un sistema de comunicación MIMO. Los bits de información a ser transmitidos son codificados (usando un codificador convencional) y entrelazados.

El código entrelazado es asignado a símbolos de datos (como modulación de amplitud en cuadratura QAM). Estos símbolos de datos son introducidos a un

codificador de espacio-tiempo que da salida a uno o más flujos de datos espaciales. Los flujos de datos espaciales se asignan a las antenas de transmisión por el bloque de pre codificación espacio-tiempo.

Las señales enviadas desde las antenas de transmisión se propagan a través del canal y llegan a las antenas receptoras. Las antenas receptoras recogen las señales de la antena emisora e invierte las operaciones en orden para decodificar la información: recibe el procesamiento espacio-tiempo, seguido por la decodificación espacio-tiempo, la demodulación de los símbolos de datos, desentrelazado y la decodificación [15].

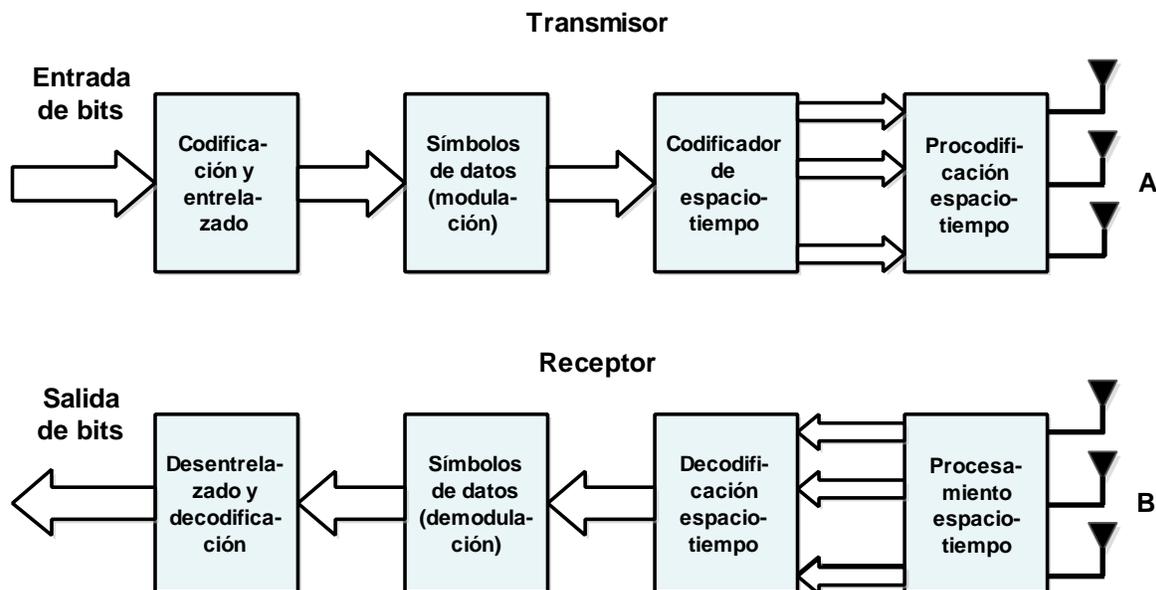


Figura 5. Diagrama de un Sistema de Comunicación MIMO.

#### 2.4.3.6 Redes inalámbricas Ad Hoc

Una red ad hoc es una conexión temporal entre equipos y dispositivos usada para un fin específico, como compartir documentos durante una reunión o participar en juegos informáticos de varios jugadores. Además, puede compartir temporalmente una conexión a internet con otros usuarios de la red ad hoc, de modo que dichos usuarios no tengan que configurar sus propias conexiones a internet. Las redes ad

hoc sólo pueden ser inalámbricas; por tanto, se deberá tener un adaptador de red inalámbrico instalado en el equipo para configurar una red ad hoc o para unirse a ella [17].

En una red de este tipo, cada nodo actúa como un router, así como un punto final de la comunicación. Este tipo de redes son útiles en cualquier situación donde se requiere la conectividad de una red temporal.

Debido a que los nodos de una red ad hoc suelen ser alimentados por baterías de pequeños dispositivos, como los de una PC portátil, PDA. etc., la gestión de la energía es uno de los temas más críticos para la implementación práctica de estas redes.

La topología de las redes ad hoc depende de factores incontrolables, tales como la movilidad de nodo, el clima, la interferencia, el ruido, así como de parámetros controlables como la potencia de transmisión y la dirección de la antena. Un ejemplo de implementación de las redes ad hoc se muestra en la Figura 6 [13].

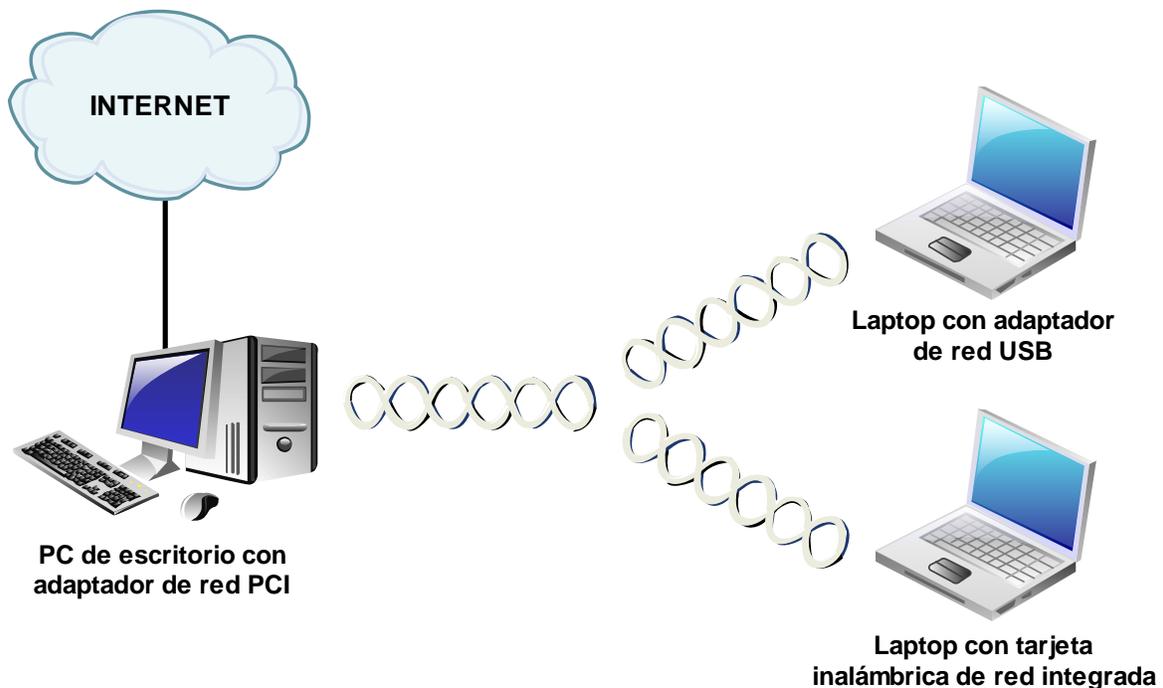


Figura 6. Red Ad Hoc.

## Capítulo III TECNOLOGÍA Y ARQUITECTURA DE STREAMING

Video streaming es el proceso de transportar video a través de una red a un dispositivo para su visualización inmediata. El streaming se puede utilizar para una variedad de fines comerciales, como las comunicaciones, la capacitación, la educación y la atención al cliente.

### 3.1 Conceptos básicos

Hay diferentes tecnologías para la transmisión de streaming. Las más comunes son las siguientes [18]:

- **True Streaming.** Donde la señal de video llega en tiempo real y es mostrada al usuario inmediatamente.
- **Download and play.** Donde el archivo que contiene la información de video/audio comprimido es descargada en el dispositivo del usuario antes que comience la reproducción.
- **Progressive download and play.** Es un híbrido de las dos tecnologías anteriores que intenta capturar los beneficios de ambas. Para esta técnica el video se divide en pequeños archivos, cada uno de los cuales se descarga en el dispositivo de usuario durante la reproducción.

#### 3.1.1 True streaming

El streaming a través de una red IP empieza por tomar una señal de video digital y dividirla en paquetes IP. La señal de video puede estar sin comprimir, pero generalmente cuando se habla de streaming, el contenido del video ya se ha comprimido usando algún formato de codificación como el MPEG.

Estos paquetes se transmiten a lo largo de la red, lo que significa que los paquetes se envían a una tasa de datos que coincide con la velocidad del video. Un software de reproducción acepta los paquetes entrantes y crea una imagen en el dispositivo de visualización.

Para que el streaming funcione correctamente, el contenido del video necesita llegar al usuario exactamente cuando sea necesitado. La red debe ser capaz de suministrar los flujos al usuario de forma intacta, sin perder los paquetes o cambiar drásticamente sus tiempos.

El software de reproducción debe aceptar los paquetes entrantes y hacer frente a los desperfectos de los flujos de datos causados por problemas de la red. Normalmente esto requiere una pequeña cantidad de almacenamiento en el búfer del dispositivo reproductor.

El único requisito del streaming es que el ancho de banda de red disponible sea mayor o igual a la velocidad de datos del flujo. Esta tecnología se puede observar en la Figura 7 [18].

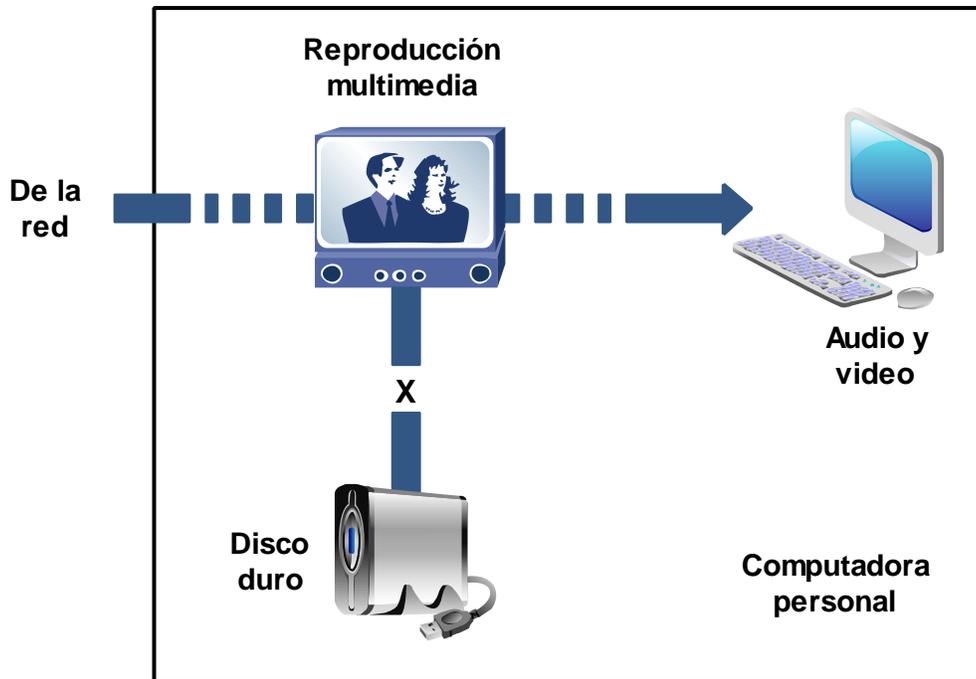


Figura 7. Tecnología Streaming.

### 3.1.2 Download and play

Download and play toma un archivo de video y lo entrega a un usuario para su visualización, donde este puede ser decodificado y mostrado. Esta tecnología es muy similar al proceso utilizado por los sitios web, donde los navegadores de los usuarios están constantemente solicitando páginas web de un servidor.

Este tipo de tecnología utiliza los mismos protocolos de la navegación web: HTTP y FTP sobre el estándar TCP. Su funcionamiento es bastante simple: cada video es pedido y es enviado al dispositivo que lo solicita. La descarga dependerá de la calidad del video, si es un video de baja calidad la descarga se hará más rápido, pero si es un video de calidad HD, el tiempo para realizar la descarga del video puede ser grande. Se puede apreciar el funcionamiento de esta tecnología en la Figura 8 [18].

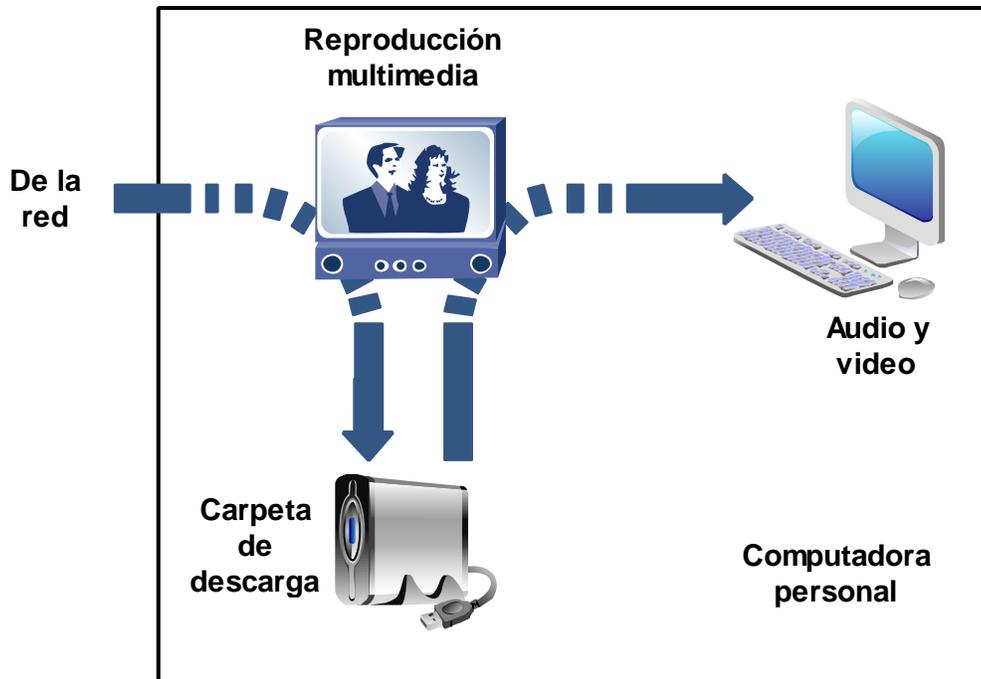


Figura 8. Download and Play.

### 3.1.3 Progressive download and play

Esta tecnología es una variante de la anterior. Es usada para simular el streaming en aplicaciones en las cuales la transmisión no podrá funcionar adecuadamente. Progressive download toma el archivo del video y lo divide en segmentos más pequeños, los cuales pueden ser enviados al software de reproducción.

Tan pronto como un segmento se ha descargado por completo, el usuario puede empezar a procesarlo y mostrarlo, mientras el siguiente segmento se está descargando. Mientras cada nuevo segmento llega antes de la hora de reproducción, el dispositivo será capaz de crear una imagen de video uniforme e interrumpida.

Un escenario típico sería cuando un usuario da clic a un vínculo de una página web para solicitar un videoclip. El usuario ve en el reproductor de video un

mensaje que dice “Buffering” y un porcentaje de finalización. Una vez que el primer segmento se ha descargado por completo la reproducción comenzará [18].

### 3.2 Arquitectura streaming

Existen cuatro componentes en una arquitectura de streaming [14]:

- Captura y codificación.
- Servidor.
- Distribución y entrega.
- Reproductor de medios.

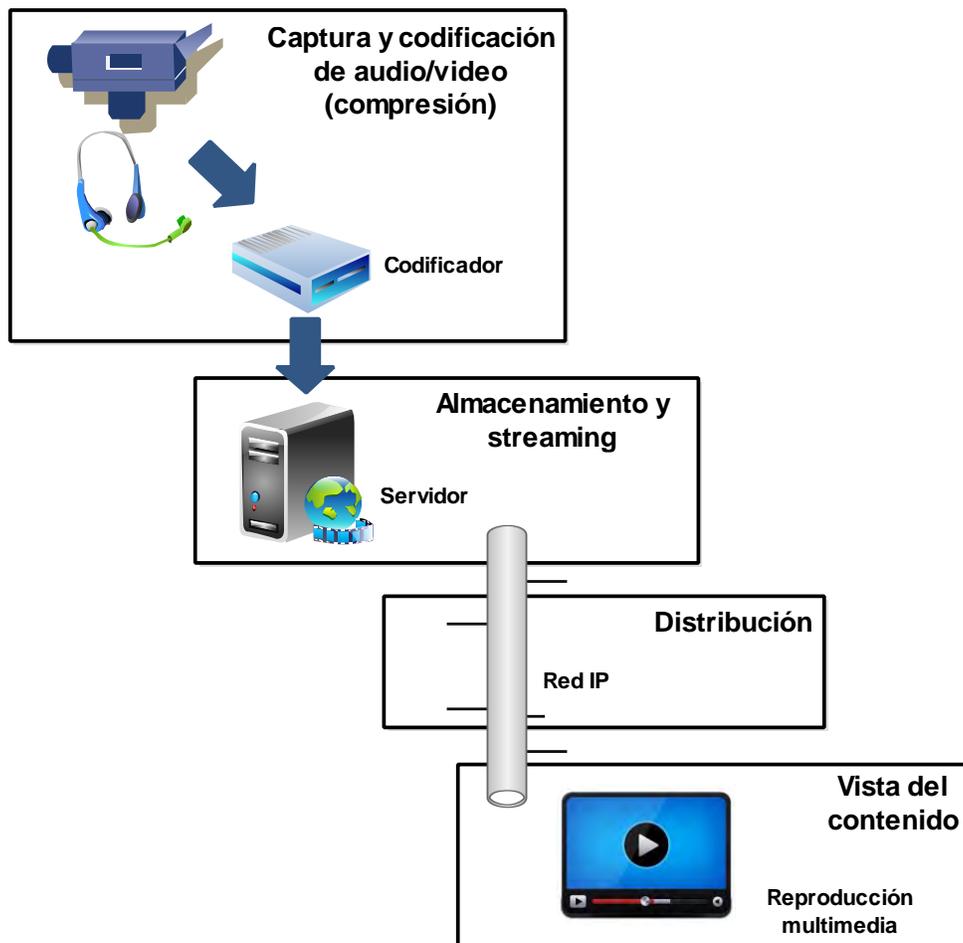


Figura 9. Las 4 etapas de Streaming.

### 3.2.1 Captura y codificación

El procesamiento de captura y codificación toma señales de audio y de vídeo en un formato digital y los convierte a un archivo de streaming. Hay un número de etapas a esto:

- Capturar el video en formato digital.
- Comprimir los datos.
- Paquetizar los datos.

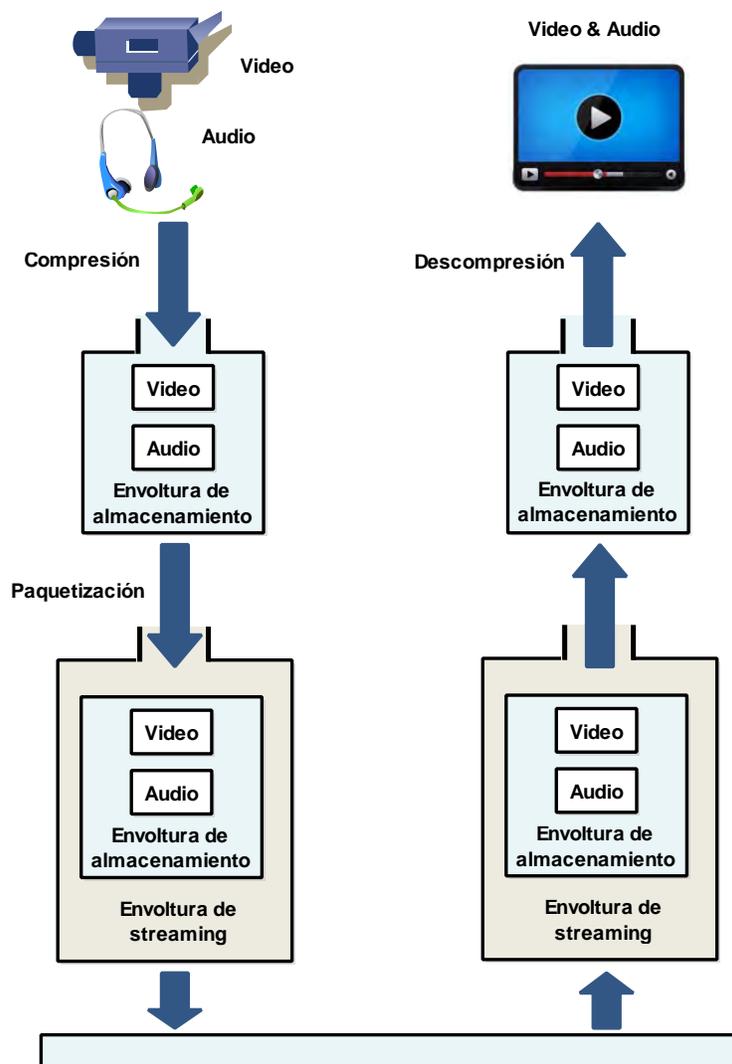


Figura 10. Codificación y Decodificación.

El video capturado en formato digital puede ser manejado fácilmente por el procesador y facilita los requisitos de almacenamiento para el archivo final. El algoritmo de codificación se encuentra en una aplicación de software llamado codificador – decodificador, o comúnmente llamado códec. El codificador toma el archivo de audio/video y reduce la velocidad de datos para que coincida con el ancho de banda disponible para la transmisión.

El decodificador se encuentra en el reproductor de medios y rehace los flujos de audio y video. El codificador también acomoda los datos con un índice de metadatos que el servidor utiliza para controlar la entrega en tiempo real. El proceso de codificación y decodificación se muestra en la Figura 10 [14].

### 3.2.2 Servidor

El archivo codificado se carga en un servidor para la entrega a la red. El servidor es una aplicación de software, en lugar de un servidor físico. Un servidor de streaming controla en tiempo real la entrega de flujos.

### 3.2.3 Distribución y entrega

En principio la distribución es simple. Mientras haya una conectividad IP entre el servidor y el usuario/cliente, los paquetes solicitados llegarán al usuario. En la práctica no es tan fácil, ya que es común ver archivos multimedia estancados, distorsionados o que el audio por momentos sufra pequeños silencios. El problema es que Internet no fue diseñado originalmente para soportar flujos continuos a través de conexiones persistentes [14].

### 3.2.4 Reproductor de medios

Se necesita un reproductor de medios especial para poder reproducir el streaming. Una herramienta gratuita que sirve como servidor y cliente para transmisiones streaming es el VLC media player.

### 3.3 Métodos de transmisión Streaming

La forma en la que se envía la información a los diferentes usuarios permite hacer una clasificación de las posibilidades que ofrece el servicio. Si cada usuario que accede al vídeo obtiene un flujo de datos independiente el proceso se denomina unicast. Por otro lado, si el mismo flujo de datos se utiliza para ser enviado a varios usuarios se dice que se está haciendo multicast. Es importante conocer en qué condiciones se quiere emitir el contenido multimedia, puesto que definirá el ancho de banda necesario en el servidor para que la transmisión sea correcta.

#### 3.3.1 Unicast

Unicast en una red IP es la forma tradicional en la que los paquetes se envían desde un origen a un solo destino. En una transmisión de streaming unicast cada usuario que quiera ver un video deberá hacer una petición al origen del video. El origen debe crear un flujo de paquetes que contienen la dirección IP de destino de cada usuario. A medida que el número de usuarios aumenta simultáneamente, la carga en el origen aumenta, ya que se debe de crear continuamente flujos de paquetes por cada usuario.

Esto puede requerir una gran cantidad de poder de procesamiento y también puede requerir una conexión de internet lo suficientemente grande para llevar todos los paquetes de salida. Por ejemplo un video de 2.5 Mbps enviado a 20 diferentes usuarios requerirá una conexión de red de al menos 50 Mbps.

Un beneficio importante del unicast es que cada usuario puede obtener un flujo de video a la medida. Esto permite ofrecer funciones especializadas de video como pausa, avance rápido, etc. [14].

### 3.3.2 Multicast

Multicast es el proceso de enviar una única señal de video simultáneamente a múltiples usuarios. Para entender el multicast es útil compararlo con el proceso de unicast. En unicast, cada flujo de video es enviado exactamente a un destinatario. Si múltiples destinatarios quieren el mismo video, la fuente debe crear un flujo unicast por separado para cada destinatario.

Todos los usuarios obtienen la misma señal al mismo tiempo. A través del uso de protocolos especiales, la red se encarga de hacer copias del flujo de video para cada destinatario. Este proceso de copia se realiza en cada punto de la red solo cuando se necesita. La Figura 11 muestra la diferencia en la que los flujos de datos viajan por redes unicast y multicast.

Una fuente multicast es responsable de anunciar periódicamente la disponibilidad de los flujos de datos a la comunidad de usuarios de la red. Los usuarios que estén interesados en recibir el multicast deben escuchar estos anuncios los cuales contienen detalles de cómo está configurada la difusión multicast. Entonces un dispositivo de usuario puede tomar estos datos y crear una respuesta para unirse a la solicitud multicast, las cuales se envían al router más cercano.

Cuando un router recibe una solicitud de un usuario que quiere unirse a un multicast, este debe hacer algunas cosas. Primero, el router debe determinar si ya se está procesando el multicast para otro usuario. Si es así, el router necesitará hacer una copia del flujo multicast y enviarlo a la petición del usuario. Si no es así, el router debe solicitar el flujo de un dispositivo que esté más cerca de la fuente del multicast. Hay que tener en cuenta que en este escenario, las peticiones son hechas de router a router; este procedimiento se puede repetir tantas veces como sea necesario para encontrar una ruta completa de la ubicación del usuario a la fuente del multicast [14].

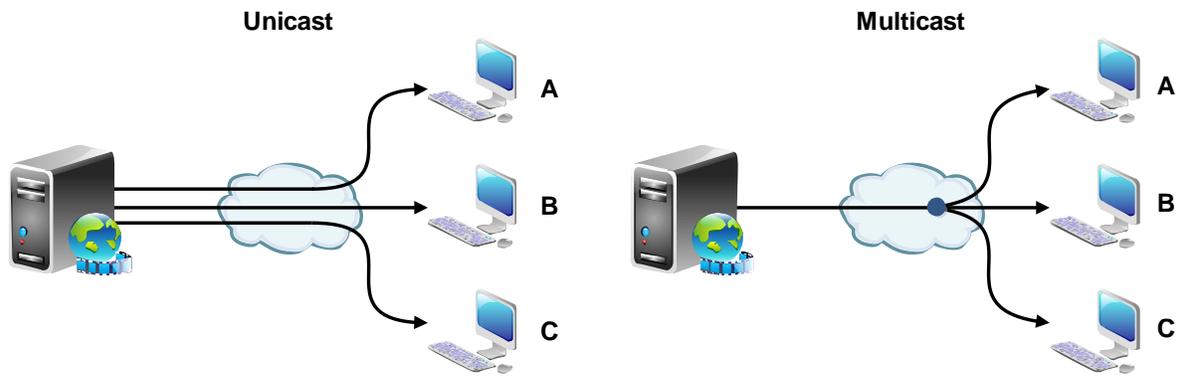


Figura 11. Unicast vs Multicast.

### 3.3.1 Broadcast

Una red de broadcast, es aquella en la que el canal de comunicaciones es compartido por todos los nodos de la red, por lo que, cuando uno de ellos transmite, la Información es recibida por todos los demás. A pesar de que todos los nodos de la red reciben el mensaje, no tiene por qué ir dirigido a todos ellos. En este sentido, el mensaje Incluye Información acerca de quién es el destinatario de éste, de manera que los nodos obtendrán dicha información, y si no son los destinatarios del mensaje lo descartarán [20].

### 3.4 Protocolos Streaming

Se han desarrollado diferentes protocolos para facilitar la transmisión en tiempo real de contenido multimedia. Para realizar esta transmisión se requiere el uso de protocolos y normas para el establecimiento de conexión, para controlar la conexión, para realizar la descripción de la sesión, para la comunicación de múltiples participantes y para la señalización de los requisitos de la calidad del servicio.

La Figura 12 muestra los diferentes protocolos que se utilizan para la transferencia de sesiones multimedia sobre una red basada en IP. Para realizar streaming de video se utilizarán los siguientes protocolos [21]:

- **UDP**. Es utilizado por RTP como protocolo de transporte.
- **RTP**. Se utiliza para la transferencia de los flujos multimedia.
- **RTCP**. Se utiliza para controlar la calidad de los flujos multimedia.
- **RTSP**. Es usado para establecer y controlar los flujos de datos multimedia.

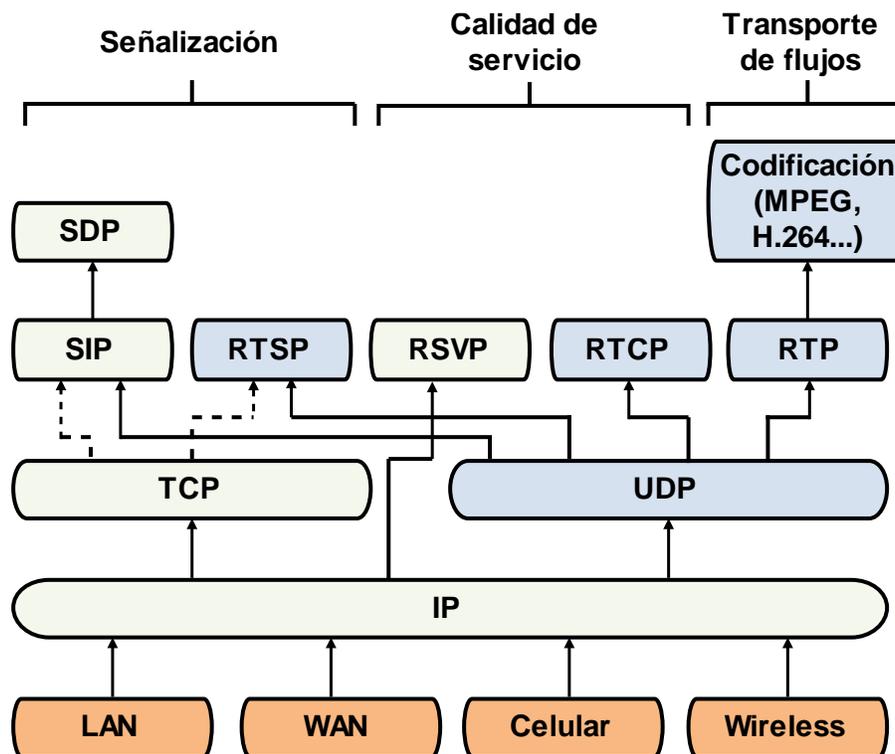


Figura 12. Protocolos para la Transferencia de Sesiones Multimedia.

### 3.4.1 UDP vs. TCP

Streaming necesita un protocolo de transmisión que pueda ignorar los errores de datos. Dicho protocolo es el User Datagram Protocol (UDP), el cual es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas (o PDUs de IP y de ahí viene el nombre a este protocolo). Permite el envío de datagramas

a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera [22].

El protocolo UDP es usado como un protocolo de transporte para varios protocolos de la capa de aplicación. UDP no tiene la corrección de errores ni el control de flujo de TCP, por lo que esta tarea tiene que ser manejada por una aplicación de una capa superior. Lo hace, sin embargo, lleva una comprobación de los datos de carga útil. Los reproductores de medios a menudo pueden ocultar errores en los datos de video.

Por otra parte el protocolo TCP proporciona un servicio fiable orientado a la conexión, garantizando un flujo ordenado de bytes extremo a extremo con independencia del tipo y del número de redes que atraviesan los paquetes. El protocolo TCP lleva a cabo un control de errores y de flujo extremo a extremo, además de un control preventivo de la congestión que consiste en modificar, en función de las condiciones de la red, el tamaño de las ventanas deslizantes utilizadas en el control de errores y en el control de flujo [23].

Se puede observar en la Figura 13 algunas diferencias entre el protocolo TCP y UDP [14].

TCP	UDP
<ul style="list-style-type: none"><li>- Orientado a la conexión</li><li>- Seguro</li><li>- Controles de flujo de datos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sin conexión</li><li>- Poco fiable</li><li>- Sin control de flujo</li></ul>

Figura 13. TCP vs UDP.

Muchas de las aplicaciones que se usan hoy en día están mejor adaptadas al protocolo UDP por las siguientes razones [12]:

**Mejor control en el nivel de aplicación sobre qué datos se envían y cuando.**

Con UDP, tan pronto como un proceso de la capa de aplicación pasa datos a través de la capa de transporte, UDP los empaqueta en un segmento UDP e inmediatamente entrega el segmento a la capa de red. Por el contrario, TCP dispone de un mecanismo de control de congestión que regula el flujo del emisor TCP de la capa de transporte cuando uno o más de los enlaces existentes entre los hosts de origen y de destino están excesivamente congestionados. TCP también continuará reenviando un segmento hasta que la recepción del mismo haya sido confirmada por el destino, independientemente de cuánto se tarde en llevar a cabo esta entrega fiable. Puesto que las aplicaciones en tiempo real suelen requerir una velocidad mínima de transmisión, no permiten un retardo excesivo en la transmisión de los segmentos y pueden tolerar algunas pérdidas de datos, el modelo de servicio de TCP no se adapta demasiado bien a las necesidades de este tipo de aplicaciones.

**Sin establecimiento de la conexión.** TCP lleva a cabo un proceso de establecimiento de la conexión en tres fases antes de iniciar la transferencia de datos. UDP inicia la transmisión sin formalidades preliminares. Por tanto, UDP no añade ningún retardo a causa del establecimiento de una conexión. Probablemente, esta es la razón principal por la que DNS opera sobre UDP y no sobre TCP (DNS sería mucho más lento si se ejecutara sobre TCP). HTTP utiliza TCP en lugar de UDP, ya que la fiabilidad es crítica para las páginas web con texto.

**Sin información del estado de la conexión.** TCP mantiene información acerca del estado de la conexión en los sistemas terminales. En el estado de la conexión se incluye información acerca de los buffers de recepción y envío, de los parámetros de control de congestión y de los parámetros relativos al número de secuencia y de reconocimiento. Por el contrario, UDP no mantiene información del estado de la conexión y no controla ninguno de estos parámetros. Por esta razón,

un servidor dedicado a una aplicación concreta suele poder soportar más clientes activos cuando la aplicación se ejecuta sobre UDP que cuando lo hace sobre TCP.

**Poca sobrecarga debida a la cabecera de los paquetes.** Los segmentos TCP contienen 20 bytes en la cabecera de cada segmento, mientras que UDP sólo requiere 8 bytes.

UDP no proporciona mecanismos de control de congestión, y estos mecanismos son necesarios para impedir que la red entre en un estado de congestión en el que se realice muy poco trabajo útil. Si todo el mundo deseara reproducir flujos de video a alta velocidad sin utilizar ningún mecanismo de control de congestión, se produciría tal desbordamiento de paquetes en los routers que muy pocos paquetes UDP lograrían recorrer con éxito la ruta entre el origen y destino. Además, las altas tasas de pérdidas inducidas por los emisores UDP no controlados harían que los emisores TCP disminuyeran drásticamente sus velocidades. Por tanto la ausencia de un mecanismo de control de congestión en UDP puede dar lugar a altas tasas de pérdidas entre un emisor y un receptor UDP y al estrangulamiento de las sesiones TCP. [12].

### 3.4.2 RTP

El protocolo RTP (Real-time Transport Protocol) es el protocolo de transporte para flujos multimedia en Internet. Fue diseñado para trabajar con IP multicast, aunque se puede utilizar de forma unicast, para proporcionar información temporal y de sincronización de flujos multimedia. Se trata de un protocolo ligero (light-weight protocol) sin mecanismos de control de errores ni de control de flujo. Además, no proporciona ni reserva recursos ni control de la calidad del servicio. Se trata de un protocolo de transporte independiente de la tecnología de red sobre la que se utilice [22].

RTP incluye campos de datos adicionales no presentes en TCP. Este provee un timestamp y un número de secuencia para facilitar la sincronización de transporte de datos y permitir al servidor de control de medios que el flujo de video se transmita a la velocidad correcta para una visualización inmediata. El reproductor multimedia utiliza estos campos RTP para ensamblar los paquetes recibidos en el orden correcto y regular la velocidad de transmisión. Los campos que utiliza RTP, se pueden observar en la Figura 14 [14]:

- **Número de secuencia.** Este número se incrementa en uno cada vez que se envía un paquete de datos RTP y puede utilizarse para detectar pérdidas de datos y restaurar la secuencia del paquete. El valor inicial debe ser aleatorio.
- **Timestamp.** Se utiliza como una instancia de muestreo derivado de un reloj de referencia para permitir la sincronización y el cálculo del jitter.
- **Identificador del origen de sincronización.**(SSRC, Synchronization Source Identifier). El campo SSRC tiene una longitud de 32 bits. Este campo identifica el origen del flujo RTP. Normalmente, cada flujo de una sesión de RTP tiene un SSRC distinto. El SSRC no es la dirección IP del emisor, sino un número que el origen asigna aleatoriamente cuando se inicia un nuevo flujo. La probabilidad de que dos flujos obtengan el mismo SSRC es muy pequeña. En el caso de que esto ocurriera, los dos orígenes deberán elegir un nuevo valor de SSRC [12].

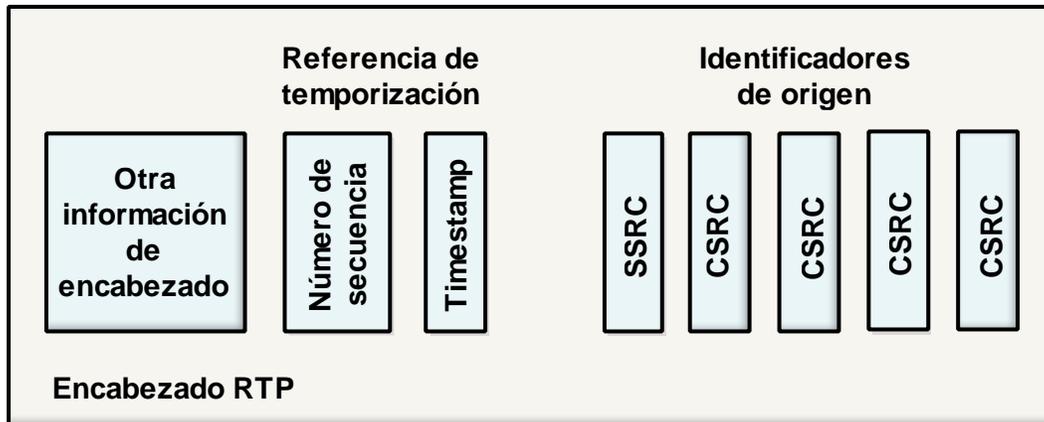


Figura 14. Encabezado RTP.

RTP no ofrece ningún mecanismo que permita asegurar que los datos llegan a su destino a tiempo o con la calidad de servicio adecuada. Tampoco garantiza que los paquetes lleguen en orden, ya que el protocolo RTP sólo se reconoce en los extremos y los direccionadores toman los paquetes IP que contienen RTP como si fueran cualquier otro paquete IP y no los diferencian del resto [1].

En RTP se utilizan sesiones, las cuales consisten en la asociación de un grupo de participantes que se intercambian un mismo flujo mediante RTP en una sesión multimedia. Dicho flujo de información transmitido en la sesión RTP quedará definido por una pareja particular de direcciones de destino a nivel de transporte (una dirección de red más dos puertos, uno para RTP y otro para RTCP). El par de direcciones destino a nivel de transporte podrán ser comunes para todos los participantes, como en el caso de IP multicast, o podrán ser diferentes para cada uno, como en el caso de transmisiones unicast. Se define sesión multimedia como la transmisión de varios flujos multimedia, en la que cada flujo es transportado en una sesión RTP separada con su propia dirección de transporte de destino, lo cual implica flujos separados.

De forma independiente, el transporte de datos proporcionado por RTP se complementa con el protocolo de control RTCP, que permite monitorizar la entrega de datos y proporcionar un adecuado control entre los participantes [22].

### 3.4.3 RTCP

El protocolo de control RTCP se utiliza en conjunción con RTP. Este protocolo se basa en la transmisión periódica de paquetes de control a todos los participantes en una sesión, utilizando el mismo mecanismo de distribución que los paquetes de datos enviados con RTP. El protocolo que haya por debajo tiene que ofrecer la posibilidad de multiplexar paquetes de datos y de control, por ejemplo, por medio de números de puerto UDP diferentes [1].

Los paquetes RTCP no encapsulan fragmentos de audio ni de video. El lugar de ello estos paquetes son enviados periódicamente y contienen informes del emisor y/o receptor que anuncian estadísticas que pueden ser útiles para la aplicación. Estas estadísticas incluyen el número de paquetes enviados, el número de paquetes perdidos y la fluctuación entre llegadas [12].

RTCP lleva a cabo cuatro funciones básicas [1]:

1. Da información sobre la calidad de los datos distribuidos. Esto forma parte del rol del RTP como protocolo de transporte y está muy relacionado con las funcionalidades de control de congestión ofrecidas por otros protocolos de transporte.
2. Mantiene un identificador persistente a nivel de transporte de una fuente RTP, que se denomina nombre canónico o CNAME, ya que, en el transcurso de la comunicación, el identificador SSRC puede cambiar si se detecta un conflicto o se reinicia un programa. Con el CNAME, si el identificador SSRC cambia, se pueden recuperar los participantes de la sesión.

3. Las dos funcionalidades anteriores necesitan que todos los participantes envíen paquetes RTCP, aunque se tiene que controlar la tasa de envío por si hay un número elevado de participantes. Si cada participante envía los paquetes de control a todos los otros, cada uno puede observar independientemente el número de participantes. Este número sirve para calcular la tasa a la cual se envían los paquetes.
4. La última función es opcional, y consiste en comunicar un mínimo de información de control de la sesión, como que se muestre la identificación de un participante en la interfaz de usuario.

### **Tipos de paquetes RTCP**

La especificación de RTCP define varios tipos de paquetes que transportan información de control [22]:

- **SR o Sender Report (informe del transmisor):** Paquete con datos útiles para mantener estadísticas de transmisión y recepción de los participantes que están activos como transmisores.
- **RR o Receiver Report (informe del receptor):** Paquete con datos útiles para mantener estadísticas de recepción de los participantes que no están activos como transmisores sino que son únicamente receptores.
- **SDES o Source DEscription (descripción de la fuente):** Paquete con datos de la fuente transmisora, como, por ejemplo, el CNAME (Canonical Name).
- **BYE (adiós):** Paquete para indicar el final de la participación o abandono de la sesión RTP.
- **APP (de aplicación):** Paquete con funciones específicas definido para una aplicación en particular.

### 3.4.4 RTSP

El protocolo RTSP (Real Time Streaming Protocol), definido en la RFC 2326, fue desarrollado por el IETF en 1998. Trata de un protocolo no orientado a la conexión para sistemas de streaming que permite establecer y controlar uno o muchos flujos sincronizados de datos, ya sean de audio y video [22].

RTSP no realiza el envío de los datos, aunque el envío de información de control en medio de la transmisión de datos es posible. La función que realiza RTSP es de control remoto a través de la red para los servidores de datos multimedia.

En RTSP no hay conexiones, lo que se realiza son sesiones mantenidas por el servidor. Cada sesión tiene su identificador. Una sesión RTSP no está vinculada a una conexión de nivel de transporte. Esto quiere decir que, durante una sesión RTSP, se pueden abrir y cerrar tantas sesiones de transporte como sea necesario. También se puede utilizar UDP como protocolo de transporte, un protocolo sin conexión. Los flujos controlados por el RTSP pueden utilizar RTP, pero el funcionamiento del RTSP no depende del mecanismo de control utilizado para enviar los datos multimedia [1].

En la mayoría de los casos RTSP utiliza TCP para datos del control del reproductor y UDP para los datos de los flujos multimedia, como audio y video, aunque también puede usar TCP en caso de que sea necesario, esto se puede observar en la Figura 15 [22].

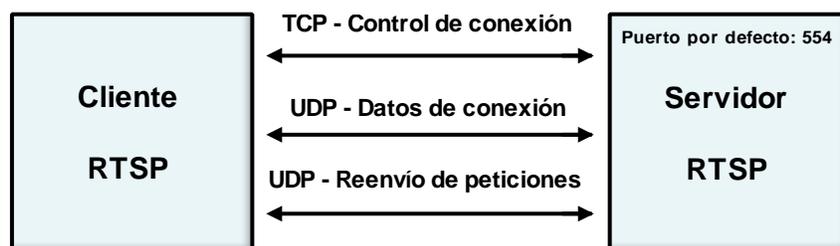


Figura 15. Distribución de Protocolos.

Antes de dar a conocer más detalles del protocolo RTSP, se enlistan las funciones que no realiza RTSP [12]:

- RTSP no define esquemas de compresión para audio y video.
- RTSP no define como se encapsula el audio y video en paquetes para su transmisión a través de una red; RTP puede proporcionar el mecanismo de encapsulamiento para los flujos multimedia. Por ejemplo, los servidores y reproductores de audio y video de RealNetworks utilizan RTSP para intercambiar información de control, pero el propio flujo multimedia puede ser encapsulado en paquetes RTP.
- RTSP no restringe como se transporta el flujo multimedia; puede ser transportado sobre UDP o TCP.
- RTSP no restringe como el reproductor multimedia almacena en buffer el audio/video. El flujo de audio/video puede reproducirse tan pronto empieza a llegar al cliente, puede reproducirse después de un retardo de unos pocos segundos o puede descargarse completo antes de iniciar la reproducción.

El RTSP controla los flujos que se pueden enviar por un protocolo separado, independiente del protocolo de control. Puede pasar que el RTSP funcione sobre conexiones TCP, mientras que los datos se envían por UDP. Así, la transmisión de datos continúa ocurriendo aunque no se envíen datos de control RTSP. Otra posibilidad es que un flujo de datos esté controlado por peticiones RTSP y que estas peticiones viajen en diferentes conexiones TCP. Por todas estas razones, es necesario mantener el estado de la sesión RTSP, con el objetivo de correlacionar las peticiones que se refieren al mismo flujo. En la Figura 16 se puede observar cómo se relaciona el protocolo RTSP con UDP y TCP para realizar una transmisión streaming [1].

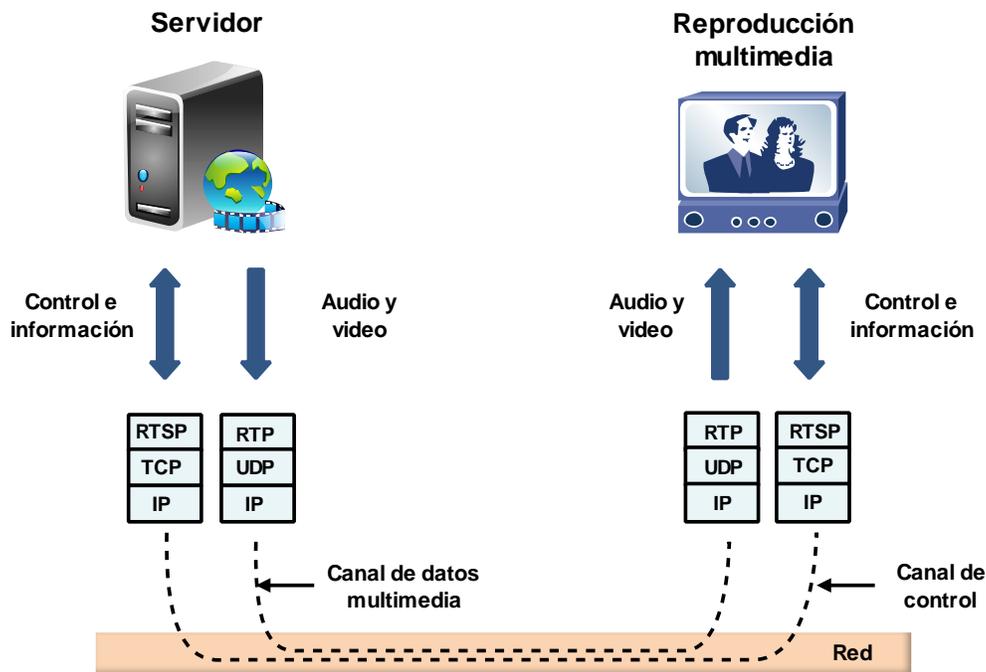


Figura 16. Protocolos en una Transmisión de Streaming.

RTSP es un protocolo de estado, es decir, necesita mantener el estado de las conexiones. En caso de ser necesario de mantener un seguimiento de las sesiones, se pueden utilizar identificadores de sesión. De esta forma no se necesitan conexiones TCP permanentes. Tanto los servidores como los clientes RTSP pueden realizar peticiones. Aunque normalmente, las peticiones RTSP las envían los clientes a los servidores.

Algunas características adicionales de RTSP son las siguientes [22]:

- **Extensible.** Se le pueden añadir nuevos métodos y parámetros fácilmente.
- **Seguro.** Reutiliza mecanismos de seguridad web. Todas las formas de autenticación HTTP ya sea básica o basada en resumen son directamente aplicables.

- **Independiente del protocolo de transporte.** Puede usar protocolos no orientados a la conexión, tanto no fiables como UDP, o bien protocolos fiables orientados a la conexión, como TCP.
- **Capacidad multi-servidor.** Cada flujo multimedia dentro de una sesión puede residir en un servidor distinto.
- **Control de dispositivos de grabación.** Puede controlar dispositivos de grabación y reproducción.
- **Adecuado para aplicaciones profesionales.** Soporta resolución a nivel de frame mediante marcas temporales para permitir edición digital.

A continuación se describen las peticiones RTSP típicas, las cuales se observan en la Figura 17 [22]:

- **DESCRIBE.** Su finalidad es la de obtener una descripción de una presentación u objeto multimedia apuntado por una URL RTSP situada en el servidor de streaming. El servidor responderá a esta petición con una descripción del recurso solicitado, conteniendo, entre otros datos, una lista de los streams o flujos multimedia necesarios para la reproducción. Esta fase de solicitud/respuesta constituye la inicialización del RTSP.
- **SETUP.** Permite al servidor conocer que el cliente quiere visualizar contenido, dónde se quiere visualizar y cómo llegar. Contendrá la URL del flujo multimedia y una especificación de transporte, con el puerto empleado (normalmente por RTP). Hace que el servidor reserve los recursos necesarios para comenzar la transmisión del flujo y responda confirmando dichos parámetros para, a continuación dar comienzo la sesión RTSP. Cada flujo de datos debe ser configurado con SETUP antes de enviar una petición de PLAY.
- **GET COMMAND.** Obtiene parámetros del servidor. Funciona de forma similar a las peticiones GET o POST del protocolo HTTP.
- **PLAY.** Provoca que el servidor inicie la transmisión de datos de los flujos especificados, utilizando los puertos configurados durante la inicialización.

- **PAUSE.** Provocará la detención de la transmisión de datos, pero sin liberar los recursos asociados a la sesión para que, en caso de desearlo, poder reanudar la transmisión con un PLAY.
- **TEARDOWN.** Se utiliza para finalizar la transmisión y liberar los recursos asociados al flujo.

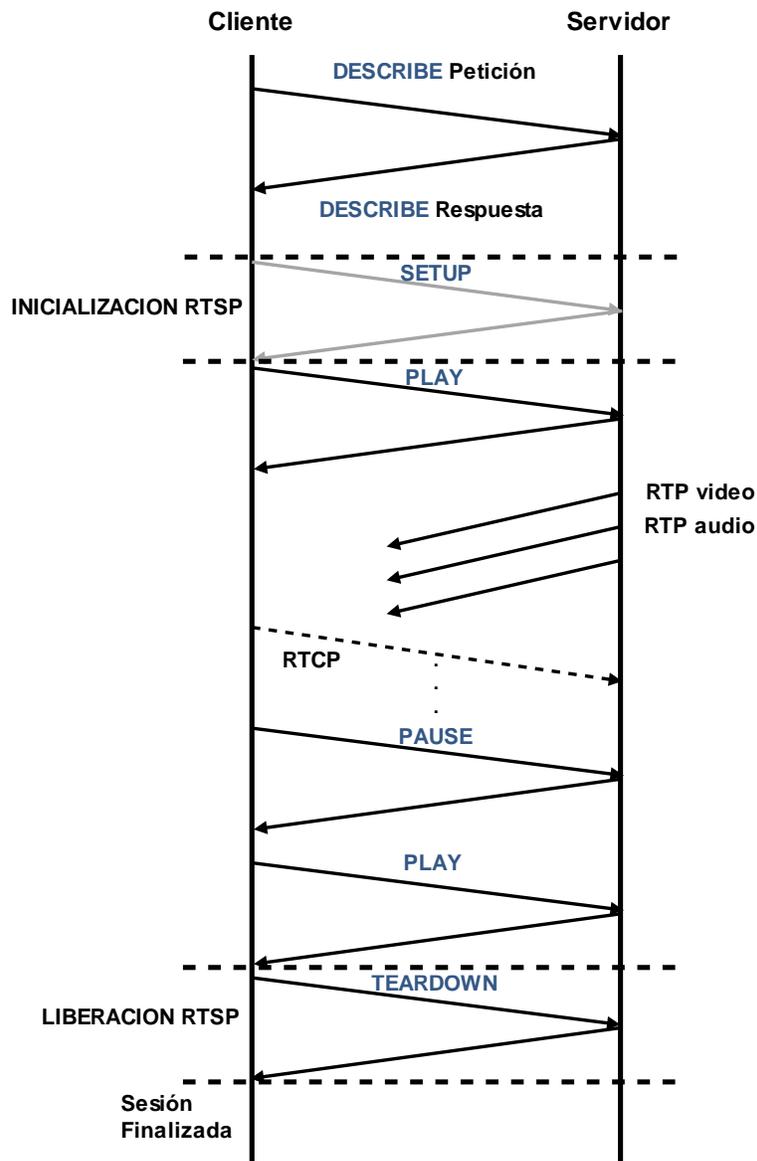


Figura 17. Peticiones RTSP típicas.

En la Figura 17 se muestra el intercambio de mensajes de control y datos en una sesión mediante RTSP. Los pasos realizados durante esta sesión por el cliente y el servidor son los siguientes [22]:

1. El cliente accede a la URL RTSP para colocar el nombre del servidor y el puerto.
2. Si el nombre del servidor no está en formato IP, el cliente hace una consulta DNS para obtener la dirección correspondiente.
3. El cliente inicia una conexión TCP hacia el servidor.
4. Cuando la conexión está establecida correctamente, el cliente envía al servidor una petición de las opciones disponibles. El servidor devuelve información que puede incluir la versión de RTSP, la fecha, el número de sesión, el nombre del servidor y los métodos soportados.
5. El cliente envía una petición DESCRIBE para obtener una descripción de la presentación a la cual el servidor responderá con todos los valores de inicialización necesarios para la presentación.
6. El cliente envía SETUP para cada flujo de datos que se quiere reproducir. El SETUP especificará los protocolos aceptados para el transporte de los datos.
7. El cliente inicializa los programas adecuados requeridos para reproducir la presentación.
8. El cliente envía una petición PLAY que informa al servidor que ahora es el momento de comenzar a enviar datos.
9. Durante la sesión, el cliente periódicamente hace ping al servidor utilizando peticiones (del tipo SET\_PARAMETER). Para saber si el servidor sigue activo.
10. El cliente puede solicitar detener (PAUSE) la transmisión de datos durante un cierto tiempo y puede reanudar la transmisión más tarde con PLAY.
11. Cuando la presentación termina o el usuario la detiene, el cliente envía las estadísticas de la sesión (en SET\_PARAMETER) y a continuación, envía un TEARDOWN para dar por terminada la conexión con el servidor.

## Estados del cliente

El cliente puede estar en cuatro estados posibles [1]:

- **Initial.** Indica que el cliente ha enviado una orden SETUP y espera respuesta.
- **Ready.** Indica que, o se ha recibido una respuesta afirmativa a SETUP, o se ha recibido una confirmación al envío de la orden PAUSE estando en “Playing” o “Recording”.
- **Playing y Recording.** Indican que se ha recibido una confirmación afirmativa a las órdenes PLAY y RECORD, de manera respectiva.

## Estados del servidor

El servidor puede estar en cuatro estados posibles [1]:

- **Initial.** Indica que el servidor está a la espera de recibir una orden SETUP correcta. Es el estado inicial.
- **Ready.** indica que el último SETUP recibido fue correcto y se envió la confirmación correspondiente, o que en los estados “Playing” y “Recording” la orden PAUSE se recibió y se confirmó.
- **Playing.** Indica que se ha recibido la orden PLAY y se confirmó, y que se están enviando los datos al cliente.
- **Recording.** indica que el servidor está grabando los datos.

Los tres principales estados del servidor se pueden apreciar en la Figura 18.

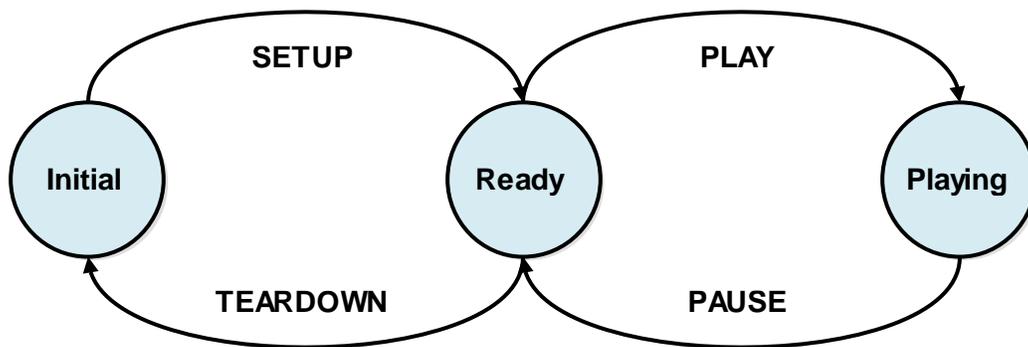


Figura 18. Estados del Servidor RTSP.

### 3.5 Compresión de datos multimedia

Para enviar datos multimedia (audio y vídeo) por Internet es necesario digitalizar y comprimir estos datos. La razón por la cual hay que digitalizar los datos es muy sencilla: las redes de computadoras transmiten bits; así pues, toda la información que se transmite tiene que estar representada con bits. La compresión es importante porque el audio y el vídeo sin comprimir consumen grandes cantidades de ancho de banda. Eliminar la redundancia en las señales de audio y vídeo reduce en varios órdenes de magnitud el ancho de banda que se necesita para transmitir la información [1].

#### 3.5.1 Estándares de compresión en video

El vídeo es una sucesión de imágenes, transmitidas a una tasa constante, como 24 o 30 imágenes por segundo. Una imagen sin comprimir es una sucesión de píxeles, en la que cada píxel se representa con un número de bits que indican color y luminosidad. Hay dos tipos de redundancia en los vídeos que se pueden aprovechar para comprimir: redundancia espacial y redundancia temporal. La redundancia espacial consiste en tener repeticiones dentro de la misma imagen y la temporal, en redundancia entre imágenes consecutivas.

Para vídeo, los estándares de compresión MPEG son los más populares. Estos incluyen MPEG 1 para la compresión con calidad de CD de vídeo (1,5Mbps), MPEG 2 para calidad de DVD (3-6 Mbps) y MPEG 4 para compresión orientada a objetos. Otros estándares de compresión de vídeo son el H.264 [1].

#### *3.5.1.1 MPEG-1*

Fue desarrollado en la década de 1990 por el Moving Pictures Experts Group y fue el primer estándar creado para la compresión de video. Fue diseñado para ser utilizado en la creación de discos compactos (CDs), los cuales operan alrededor de los 1.5 Mbps.

MPEG-1 aún se encuentra en uso hoy en día, como en cámaras de vigilancia de bajo costo y en algunas aplicaciones de video de la web. MPEG-1 es un subconjunto de MPEG-2 por lo que cualquier decodificador de MPEG-2 debe ser capaz de decodificar una señal MPEG-1.

MPEG-1 no soporta la alta definición de video, por lo que no se puede utilizar para video PAL, NTSC, 720p o 1080p. MPEG-1 carece de algunas técnicas de codificación avanzadas desarrolladas para sistemas MPEG-2 y MPEG-4 [18].

MPEG-1 define un códec y la representación de datos para el envío de información de video en movimiento desde un dispositivo de almacenamiento digital en el rango de 1.5 a 2 Mbps. Se utiliza en el formato de Video CD (VCD). La calidad de salida con la tasa de compresión usual en VCD es similar a la de un casete de video VHS.

La especificación está dividida en 3 partes: la parte 1 se refiere al sistema de codificación; la parte 2 se refiere a la codificación del stream o flujo de video; y la parte 3 a la codificación del stream o flujo de audio. Incluye la sincronización y transmisión simultánea de video y audio, el códec de compresión para señales de video no entrelazadas (progresivas) y el códec de compresión para señales de audio con control sobre la tasa de compresión.

El algoritmo de codificación empleado para MPEG-1 es asimétrico, lo que significa que requiere más complejidad computacional (hardware) para comprimir video en movimiento que para descomprimirlo. Esto es útil para aplicaciones donde la señal producida es una fuente y es distribuida a muchas otras [22].

La salida de MPEG-1 consiste en cuatro tipos de tramas [5]:

- Tramas I (intracodificadas): imágenes fijas autocontenidas codificadas en JPEG.
- Tramas P (predictivas): diferencia de bloque por bloque con la trama anterior.
- Tramas B (bidireccionales): diferencias entre la trama anterior y la siguiente.
- Tramas D (codificación CD): promedios de bloque usados para avance rápido.

Con las máquinas más potentes de hoy en día, los codificadores y decodificadores MPEG-2 y MPEG-4 son más fáciles de implementar, y ambas tecnologías pueden producir imágenes de más alta calidad a menor ancho de banda. Es por eso que los sistemas MPEG-1 no se deben considerar para nuevas implementaciones en la actualidad [18].

### [3.5.1.2 MPEG-2](#)

El estándar MPEG-2 es una extensión del estándar MPEG-1, y forma en realidad una familia de sistemas que puede proporcionar video para una gran variedad de aplicaciones, incluyendo la televisión digital, el broadcasting, la televisión de alta definición, televisión por satélite y televisión por cable. MPEG-2 está diseñado para trabajar con tasas binarias desde 2 a 100 Mbps. Soporta también la relación de aspecto 16:9, así como múltiples canales de audio y video dentro del mismo flujo binario [22].

MPEG-2 ofrece algunos avances significantes sobre MPEG-1. MPEG-2 soporta el entrelazado de video, los estándares NTSC y PAL que pueden soportar la alta resolución.

Uno de los conceptos clave que se necesita entender en MPEG-2 implica los diferentes perfiles y niveles disponibles para la codificación. Seleccionar el perfil y el nivel correcto para una aplicación en particular puede tener un gran impacto en el costo del sistema. Los niveles y perfiles más altos agregan complejidad de codificación y decodificación, esto puede requerir más ancho de banda y pueden aumentar significativamente el costo global del sistema.

El termino nivel, cuando es usado en el contexto de una especificación de rendimiento de MPEG-2, se refiere al tamaño máximo de imagen que puede ser soportado. Se definen 4 niveles: bajo, principal, alto 1440 y alto. Las breves definiciones de cada nivel son las siguientes [18]:

- **Nivel bajo.** Se refiere a tamaños de imagen de hasta un máximo de 352 pixeles por 288 líneas, al igual que MPEG-1.
- **Nivel principal.** Se refiere a los principales tamaños de imagen utilizados en la televisión de definición estándar, es decir, un tamaño de 720 pixeles en cada una de las 576 líneas horizontales como se utiliza en las señales PAL. Las resoluciones NTSC serán de 720 pixeles en 480 líneas.
- **Nivel alto 1440.** Duplica la resolución vertical y horizontal del perfil principal, de esta forma ofrece 1440 pixeles en cada una de las 1152 líneas.
- **Nivel alto.** Expanda el nivel alto 1440 a la alta definición, soporta un aspecto de 16:9 (en lugar de 4:3 para las señales del perfil principal). Esto incrementa el número máximo de pixeles por línea a 1920 pero deja el conteo máximo de líneas a las 1152, lo cual es suficiente para soportar una señal HD de 1080 líneas.

MPEG-2 también soporta una variedad de diferentes perfiles de rendimiento, los cuales especifican los tipos de técnicas que el codificador puede usar en la

compresión del video. Si el perfil incrementa, tanto el costo como la complejidad del codificador y decodificador del video incrementa. Sin embargo la calidad del video también incrementa. Los 6 perfiles MPEG-2, en orden del menos complejo al más complejo son los siguientes [18]:

- **Simple.** Los codificadores MPEG-2 producen 3 tipos de imágenes I, P y B. Este perfil no soporta el tipo de imágenes B, por lo que puede ser útil para aplicaciones bajo retardo, puesto que se eliminan los retrasos necesarios para el cálculo de las tramas B.
- **Principal.** Está destinado para ser útil en una amplia variedad de aplicaciones. Es compatible con todos los diferentes niveles de resolución y es el perfil más común para la mayoría de las aplicaciones.
- **4:2:2.** Fue desarrollado para soportar el manejo de color 4:2:2 sin todas las otras características y funciones requeridas por el perfil alto. Ahora se utiliza en la producción de video, postproducción y en la red de transmisión para señales de contribución.
- **SNR (Signal-to-Noise Ratio).** Este perfil introdujo el concepto de tener flujos de video escalables para una señal de video: un flujo lleva la mayor parte de los datos de imagen y un flujo de ayuda puede ser usado para mejorar el rendimiento del video. Esta capacidad no se ha aplicado en MPEG-2 para aplicaciones de transmisión de televisión, pero ha encontrado su uso con aplicaciones MPEG-4 para la entrega de video por Internet.
- **Espacial.** Usa el mismo concepto de los flujos escalables, pero en este caso los flujos son una señal SD y los flujos de ayuda son una señal HD.
- **Alto.** Ofrece las capacidades de SNR y del perfil espacial, es el perfil más completo de MPEG-2. Este perfil fue el único que soportó la resolución de color 4:2:2 antes que el perfil 4:2:2 fuera definido. Los codificadores y decodificadores que soportan todas las funciones requeridas por el perfil alto son mucho más complejas que los codificadores y decodificadores del perfil principal.

### 3.5.1.3 MPEG-4

MPEG-4 consigue muchos de sus avances en la eficiencia de compresión a través de la introducción de nuevos objetos de vídeo. Estos objetos pueden ser creados por el codificador de fuentes naturales, tales como cámaras de vídeo y micrófonos de audio, o que pueden ser creados como objetos completamente nuevos creados a partir de fuentes sintéticas que se generan a través de gráficos de computadoras u otros medios. Como se muestra en la Figura 19 el decodificador debe ensamblar una imagen de múltiples tipos de material de origen para formar una imagen compuesta que combina elementos de ambas fuentes, naturales y sintéticas.

El consumo de ancho de banda es mucho menor cuando se envían señales sintéticas en comparación con las señales naturales. Esto se debe principalmente a la complejidad innata de las señales naturales y la necesidad de reproducir con precisión los píxeles que componen una señal natural [18].

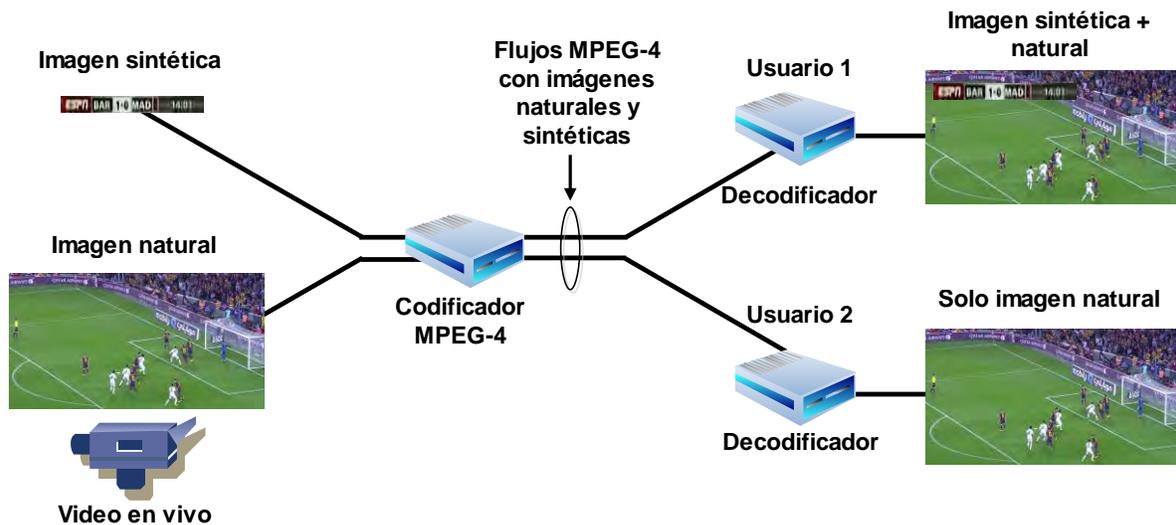


Figura 19. Elementos de una Imagen Natural y de una Sintética.

MPEG-4 añade un concepto nuevo: escalabilidad basada en el contenido, la cual proporciona los mecanismos necesarios para interactuar y modificar el contenido

de las imágenes. Para ello se introduce el concepto de planos de objetos de video (VOP: Video Object Planes), el cual consiste en segmentar cada una de las imágenes en un número de regiones de la imagen de forma arbitraria (VOP). Cada una de estas regiones puede contener una parte en concreto de la imagen, como, por ejemplo, objetos distintos. De esta forma, a diferencia de los estándares MPEG anteriores, no se divide la imagen en bloques cuadrados, sino en objetos.

La forma y posición de cada uno de los objetos puede variar de una imagen a otra, y los VOP pertenecientes a un mismo objeto físico de la imagen se denominan objetos de video (VO: Video Objects). Para cada uno de los VO se codificará su forma, textura y movimiento, en una capa de objeto de video (VOL: Video Object Layer) diferente. Además, se añade información de cómo se recompone la imagen original a partir de los VOL. Esto permite decodificar de forma independiente cada uno de los VOP y manipular la imagen en el receptor para eliminar o añadir nuevos objetos, tanto naturales como sintéticos. Además es posible establecer prioridades en los objetos, de forma que los más importantes se representen con resoluciones espaciales.

Si la imagen no se descompone en varios VOL, entonces toda la imagen se codifica en un único VOL, y se codifica la imagen por el método convencional usado por MPEG-1 y MPEG-2.

Entre las manipulaciones que pueden realizarse a un objeto cabe mencionar [19]:

- Cambiar su posición espacial (su ubicación en la imagen).
- Aplicarle un factor de escala para ampliarlo o reducirlo.
- Cambiar la velocidad con la que se mueve el objeto dentro de la secuencia de imágenes.
- Cambiar el área de la escena a visualizar.
- Añadir o eliminar objetos.

Los principales beneficios de MPEG-4 son [24]:

- **Rendimiento.** Los beneficios de codificación para la transmisión de streaming son excelentes en entornos propensos a errores tales como el Internet.
- **Lainteroperabilidad.** Es un estándar abierto multiplataforma que puede ejecutarse en una multitud de dispositivos y trabajar bien con todos los tipos de bits soportados, a través de una variedad de redes de distribución y tecnologías.
- **Escalabilidad.** La calidad de vídeo se puede ajustar en respuesta a la congestión de la red en un formato multimedia que se codifica una vez.
- **Interactividad.** Una escena se compone de objetos independientes de diferentes medios, los usuarios pueden manipular cada uno de ellos individualmente. El usuario puede descartar objetos en el reproductor, por lo que es posible ver los objetos deseados.

#### 3.5.1.4 H.264

H.264, también conocido como MPEG-4 AVC, es un conjunto de técnicas de compresión para imágenes naturales. La compresión más eficiente (es decir, tasa de bits más baja codificada al mismo nivel de calidad) resulta de un número de nuevas técnicas, incluyendo [18]:

- Múltiples tramas de referencia para cada trama comprimida, permitiendo diferentes macro bloques para codificar basados en diferencias de una variedad de imágenes de origen.
- Predicción espacial de un macro bloque basado en bloques adyacentes para una codificación más eficiente de áreas grandes y repetitivas.
- Desbloqueo de filtro, que ayuda a eliminar los bordes que algunas veces aparecen en los límites entre macro bloques adyacentes; suavizando las transiciones bruscas, se puede producir una imagen más agradable a una tasa de bits más baja.

- Predicción del peso, que permite un coeficiente de escala para ser aplicado a un número de macro bloques, simplificando en gran medida el proceso de codificación para escenas que implican un cambio extendido de brillo, como puede ser un negro descolorido.
- Soporte logarítmico para cuantificación, lo que simplifica la gestión de velocidad binaria en el codificador para escenas con rangos de brillo amplios.
- Mejora las técnicas de compresión aritmética, incluyendo CAVLC (Context-Adaptive Variable-Length Coding) y CABAC (Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding). Ambas técnicas requieren más esfuerzo de cálculo que las técnicas simples de codificación. Sin embargo, ambas técnicas resultan en un flujo de bits significativamente más comprimido.

Muchas otras técnicas y tecnologías se utilizan en H.264. En su conjunto, las ganancias de velocidad binaria son impresionantes en comparación con MPEG-2, y los codificadores y decodificadores son significativamente más complejos. No sería factible implementar todas las características para cada aplicación, es por eso que se han definido diferentes perfiles H.264 para cada aplicación. A continuación se enlistan los principales perfiles definidos en la actualidad [18]:

- **Perfil de referencia.** Menor cantidad de carga de procesamiento; no utiliza tramas B y no utiliza la codificación CABAC. Es adecuado para el uso en videoconferencias de escaneo progresivo y para aplicaciones de televisión móvil.
- **Perfil principal.** Diseñado para ser el perfil principal de consumo y emisión; ha sido suplantado por el perfil alto en algunas aplicaciones. Agrega tramas B y codificación CABAC al perfil de referencia, por lo que requiere más potencia y memoria para el proceso de codificación y decodificación.
- **Perfil extendido.** Dirigida a aplicaciones de streaming, tiene características extra para soportar la recuperación de pérdida de datos y simplificar la conmutación de flujos. Agrega tramas SI y SP al perfil principal; estas

mejoran el rendimiento cuando se realiza la conmutación entre los flujos de baja velocidad de bits, permitiendo una imagen que se genera sin tener que esperar la trama I. No utiliza la codificación CABAC.

- **Perfil Alto.** Soporta el almacenamiento de video de alta calidad y broadcast para aplicaciones profesionales; se ha convertido en uno de los principales formatos de consumo gracias al soporte de alta definición HD en discos Blu-ray. Las versiones del perfil alto han sido definidas para agregar información adicional para cada pixel (10 bits por muestra, muestreo de color 4:2:2; 14 bits por muestra), así como versiones que solo utilizan compresión intra-frame para facilitar la edición.

En noviembre de 2007, los perfiles escalables fueron también agregados a H.264 en el perfil de referencia y perfil alto. La principal característica de estos flujos es una estructura interna que permite a un decodificador procesar solo un subconjunto de flujos de información para producir imágenes que son escaladas a la resolución más baja, menos tasa de tramas, o niveles de calidad más bajos que las imágenes representadas por el flujo original.

H.264 tiene 16 niveles de rendimiento diferentes, comparables en concepto a los distintos niveles en MPEG-2 (bajo, principal, alto 1440 y alto). Los niveles H.264 van desde 1 (64 a 256 kbps) a 5.1 (240 a 960 Mbps).

En general, H.264 es una nueva y emocionante colección de tecnologías que promete aumentar en gran medida la cantidad de información de video que puede ser transmitida en una determinada cantidad de ancho de banda de red. A través de H.264, es posible la codificación más eficiente de video, y la variedad de tipos de objetos disponibles hacen que la integración con los gráficos generados por una computadora sean simples y extremadamente eficientes con el ancho de banda de la red [18].

## Capítulo IV CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE TRAFICO IP

La teoría de tráfico consiste en la aplicación de modelos matemáticos para explicar la relación que existe entre la capacidad de una red de telecomunicaciones, la demanda de servicio que los usuarios le imponen y el nivel de desempeño que la red puede alcanzar. Como dicha demanda es de naturaleza aleatoria, se suele representar mediante un proceso estocástico. Así pues, dado un modelo de tráfico particular, el desempeño de la red se podría predecir, en principio, aplicando herramientas adecuadas proporcionadas principalmente por la teoría de procesos estocásticos y otros recursos matemáticos. Los resultados de dicho análisis de desempeño son los puntos de partida para el diseño de mecanismos de control de la red.

A lo largo del desarrollo de las redes de comunicaciones, se han propuesto diferentes modelos de tráfico, cada uno de los cuales ha resultado útil dentro del contexto particular para el que se propuso. Este aspecto es importante, pues un modelo puede ser tan bueno como otro si ambos satisfacen pruebas de hipótesis adecuadas.

A partir de la necesidad de integrar diversos servicios y aplicaciones (voz, video, datos, etc.) sobre una única infraestructura de red (red convergente), el modelado de tráfico se ha convertido en una extensa área de investigación en la que el objetivo es desarrollar modelos que predigan el impacto de la carga impuesta por las diferentes aplicaciones sobre los recursos de la red, de manera que se pueda evaluar la calidad de servicio ofrecida.

Como se mencionó al inicio de este capítulo, el tráfico se modela mediante un proceso estocástico que representa la demanda que los usuarios de una red de comunicaciones imponen sobre los recursos de la misma. Originalmente se consideró que los tiempos entre llegadas de las demandas de los usuarios eran independientes entre sí, así como la cantidad misma de la demanda (tiempos entre llamadas y duración de las llamadas, tiempos entre llegada de paquetes y

longitud de los paquetes, tiempos entre solicitud de conexiones y duración de las sesiones, etc.). Posteriormente se vio la necesidad de incluir el efecto de la correlación existente entre estas variables, para lo cual se desarrollaron modelos más elaborados en los que la correlación decaía exponencialmente con el tiempo. Sin embargo, recientemente se ha evidenciado que, en las redes modernas de comunicaciones, la correlación entre estas variables no decae tan rápidamente y puede persistir a través de muchas escalas de tiempo. Este fenómeno, que afecta significativamente el desempeño de las redes de comunicaciones, se puede representar adecuadamente mediante modelos de tráfico autosimilar.

Los fenómenos de autosimilitud en el tráfico de las redes actuales de comunicaciones se descubrieron hace ya más de una década [25] [26], sin embargo, los efectos que este fenómeno produce en el desempeño de las redes han obligado a desarrollar numerosas investigaciones hasta nuestros días.

Los modelos tradicionales de tráfico permiten fácilmente controlar la variabilidad de la demanda y, por consiguiente, con ellos resulta relativamente fácil ejercer control de tráfico de manera que se puedan garantizar algunos niveles mínimos de calidad de servicio. Desafortunadamente, el fenómeno de la autosimilitud puede conducir a estructuras complejas de correlación en las que la variabilidad se extiende a muchas escalas de tiempo, invalidando las técnicas de control diseñadas para dichos modelos tradicionales de tráfico[27].

#### 4.1 Modelos Clásico de Poisson

Los primeros modelos de tráfico se crearon para estudiar la Red Telefónica Pública Conmutada. Para modelarla se utilizan los modelos de Erlang de pérdidas y espera, los cuales se basaban a su vez en las cadenas de Markov y el proceso de Poisson. Cuando aparecieron las redes de paquetes, se siguieron utilizando los

modelos clásicos, asumiendo que las fuentes de datos eran infinitas y existía una independencia entre las mismas, a su vez que el tiempo entre llegadas y el tamaño de los paquetes seguía una distribución exponencial. Dicha aceptación proporcionaba expresiones sencillas para dimensionar tamaños de colas, como veremos a continuación con el proceso de Poisson como ejemplo concreto.

El proceso de Poisson establece que la probabilidad de que haya un número de llegadas  $k$  en un tiempo  $T$  dado esta dado por [28]:

$$P(k|T) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{(-\lambda T)} \quad (5.1)$$

Donde  $k$  es el número de llegadas en un tiempo  $T$  y  $\lambda$  es el número medio de llegadas.

Y la probabilidad de que haya un número de finalizaciones  $j$  en un tiempo dado esta dado por:

$$P(j|T) = \frac{(\mu T)^j}{j!} e^{(-\mu T)} \quad (5.2)$$

Donde  $j$  es el número de finalizaciones en un tiempo  $T$  y  $\mu$  es el número medio de finalizaciones.

Los intervalos entre llegadas ( $\lambda$ ) o entre finalizaciones ( $\mu$ ) son independientes y tienen una distribución exponencial negativa.

$$f(t) = \mu e^{(-\mu|t|)} \mu > 0 \quad (5.3)$$

Sin embargo, a pesar de su sencillez, estos modelos no se ajustaban al tráfico de paquetes. A partir de estudios [26], se demuestra que el proceso que genera el tráfico de paquetes no es el mismo que el de la Red Telefónica Pública

Conmutada ya que presenta propiedades de autosimilitud. Por lo tanto, el proceso de Poisson no era adecuado para modelar el comportamiento de la red de paquetes.

## 4.2 Procesos Autosimilares

A partir de los años 80`s se han venido desarrollando modelos de tráfico que tienen en cuenta la correlación existente entre llegadas de paquetes a “corto plazo”. Esto es, al calcular la función de autocovarianza de los procesos estocásticos correspondientes se encontró que la velocidad a la que esta decae en el tiempo es exponencial, como se muestra en la ecuación 5.3. Sin embargo, mediciones y estudios recientes han demostrado que la función de autocorrelación en muchas trazas de tráfico real, decae más lentamente que una exponencial con el tiempo, es decir de acuerdo a una ley de potencia.

En el clásico estudio presentado por Leland, Willinger, Taqqu y Wilson en ACM SIGCOMM `93 [33] y posteriormente la versión extendida [34] se mostró, tras la observación de exhaustivas mediciones realizadas sobre una red Ethernet en Bellcore, que el tráfico era de naturaleza “autosimilar” (self-similar).

Puesto que la principal dificultad para empezar a abordar estos temas es el tratamiento matemático que se le da en la literatura especializada, se ha querido presentar en esta sección la definición de los principales conceptos involucrados en el tema general del tráfico autosimilar en redes de comunicaciones de una manera relativamente sencilla, con el fin de ofrecer una herramienta para abordar el tema del tráfico autosimilar en la literatura especializada.

La autosimilitud describe el fenómeno en el que ciertas propiedades de un objeto se preservan sin importar el escalamiento en el tiempo o en el espacio.

**Proceso Autosimilar:** Un proceso estocástico continuo de valores reales  $\{Y(t), -\infty < t < \infty\}$  es llamado autosimilar si para una constante  $\alpha > 0$  existe un  $H > 0$ , llamado índice de autosimilitud, tal que:

$$\{Y(at), t \in \mathfrak{R}\} \stackrel{d}{=} \{\alpha^H Y(t), t \in \mathfrak{R}\} \forall \alpha > 0, \alpha \in \mathfrak{R} \quad (5.1)$$

Donde:  $Y(at)$  es la versión escalada de  $Y(t)$ ,  $\alpha^H$  es un parámetro de normalización y  $\stackrel{d}{=}$  representa igualdad de las distribución finitas, lo anterior quiere decir que  $Y(t)$  y  $\alpha^{-H} Y(at)$  tienen idéntica distribución en diferentes escalas de tiempo. Para una serie de tiempo discreta la definición se da en términos de la serie agregada.

Así, una segunda definición de autosimilitud, muy próxima a la primera, aunque no equivalente, es la usada por la siguiente serie agregada:

$$X(m) = \{X_k^{(m)}; k = 1, 2, 3, \dots\} \quad (5.2)$$

Dónde: cada término  $X_k^{(m)}$  se define como:

$$X_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i; k = 1, 2, 3, \dots \quad (5.3)$$

Dónde:  $m$  representa el nivel de agregación; esto es, cada nueva serie es obtenida partiendo la original en bloques disjuntos de tamaño  $m$  y promediando cada bloque para obtener los  $k$  valores de la nueva serie.

**Autosimilitud de una serie agregada:** se dice que  $X$  es auto-similar si satisface la siguiente ecuación:

$$X^{(m)} \stackrel{d}{=} m^{H-1} X \quad (5.4)$$

**Autosimilitud de Segundo Orden:** se dice que  $X$  es auto-similar de segundo orden con parámetro de Hurst ( $H$ ), si satisface la siguiente ecuación:

$$\text{var}(X^{(m)}) = \text{var}(X) \cdot m^{2H-2} \quad (5.8)$$

**Dependencia de corto rango (SRD):** Se dice que un proceso es SRD si su función de autocovarianza decae exponencialmente. Para un proceso SRD,  $0 < H < 0.5$ .

**Dependencia de largo rango (LRD):** La dependencia de largo rango implica que la función de autocorrelación de un proceso decae más lentamente que una exponencial, es decir, de acuerdo a una ley de potencia. Este tipo de comportamiento nos indica la presencia de valores muy altos con probabilidad no despreciable. Para un proceso LRD,  $0.5 < H < 1$ .

La definición de autosimilitud basada en las Ecuaciones 5.5 y 5.6, se puede ilustrar gráficamente mediante mediciones, como se muestra en la Figura 20. En la Figura 20 observamos el número de paquetes que transitan por un segmento de una red Ethernet, en períodos (escalas de tiempo) de 100, 10, 1 y 0.1 segundos, de la cual se puede observar como el proceso de agregación mantiene casi inalterable la variabilidad de la tasa promedio. En contraste, al agregar la tasa de llegadas para una traza muestral de tráfico Poisson (Figura 21), la variabilidad es despreciable en rangos superiores a 10 segundos.

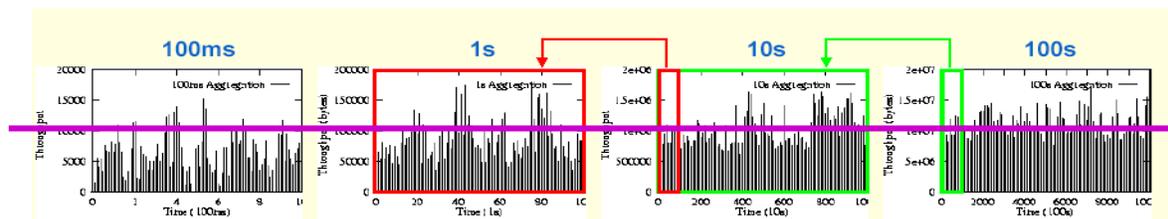


Figura 20. Tráfico Observado en una Red Ethernet.

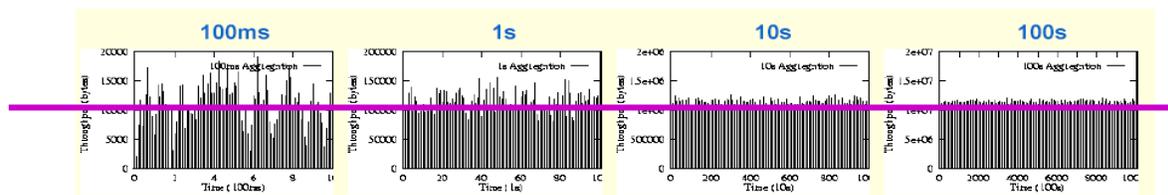


Figura 21. Tráfico Obtenido de un Proceso Poisson.

Modelos como el de Poisson no contemplan el fenómeno de LRD y aplicarlos al tráfico actual puede tener como consecuencia mal diseño de elementos de red, por ejemplo, la subestimación del tamaño del buffer de encolamiento.

Para un estudio más profundo de la teoría de procesos autosimilares vea [25], [26], [27].

#### 4.3 Estimación del Parámetro H: Método de la Varianza

Existen muchos métodos para evaluar el parámetro  $H$  en una serie de tiempo, sin embargo, uno de los más utilizados y fáciles de implementar es el método de la varianza, el cual está basado en la definición de la autosimilitud de segundo orden.

De acuerdo a la ecuación 5.8, una serie de tiempo es autosimilar de segundo orden si se cumple:  $var(X^{(m)}) = var(X) \cdot m^{2H-2} = \frac{var(X)}{m^\beta}$ , donde  $H = 1 - \frac{\beta}{2}$ .

Si aplicamos logaritmos a ambos miembros de la expresión obtenemos:

$$\log var(X^{(m)}) = \log var(X) - \beta \log m$$

Si se grafican en un par de ejes los distintos puntos que surgen de ir escalando por  $m$ , la variable  $X$ , donde las abscisas están representadas por  $\log m$ , y las ordenadas por  $\log var(X^{(m)})$ , se puede observar que los puntos se agrupan en torno a una línea recta de pendiente  $-\beta$  y cuya ordenada al origen es la constante  $\log var(X)$ . Entonces si se realiza una regresión a la colección de puntos y se calcula el valor de  $\beta$ , se puede estimar el valor de  $H$  de la siguiente forma:  $H = 1 - \frac{\beta}{2}$ .

## Capítulo V MEDICIÓN DEL PARÁMETRO DE QoS JITTER EN TRÁFICO DE VIDEO STREAMING

### 4.1 Parámetros de calidad de servicio

La medición de los parámetros de QoS de una red, juegan un papel muy importante en diversas aplicaciones multimedia; para poder ofrecer una mejor calidad de servicio es necesario conocer el comportamiento de tales parámetros. Las mediciones en Internet se pueden clasificar de varias formas, una muy importante a considerar es la de la organización CAIDA (Cooperative Association for Internet Data Analysis), en la cual las mediciones se dividen de la siguiente manera: Mediciones de Topología, Mediciones de carga de trabajo, Mediciones de desempeño, Mediciones de enrutamiento y Mediciones de multidifusión. Todas estas mediciones a su vez se dividen en mediciones activas y pasivas. En una medición activa para poder inferir alguna métrica, se requiere de la generación, transmisión por la red, recepción y procesamiento de paquetes de prueba. Mientras en una medición pasiva, se hace uso del tráfico presente en la red, es decir, captura el tráfico actual en la red y lo procesa para inferir alguna métrica.

Una de las aplicaciones en tiempo real que ha incrementado su popularidad sobre la red IP es la transmisión de video “streaming”. Sin embargo, la red IP proporciona un servicio de mejor esfuerzo y no garantiza calidad de servicio. Cuando el tráfico de video “streaming” es transportado sobre una red IP, la tecnología basada en paquetes puede introducir desperfectos y tener influencia en la QoS percibida por el usuario final. La calidad del video “streaming” depende de muchos parámetros de QoS, particularmente, el jitter tiene un importante impacto. En este trabajo se presenta una metodología para la medición del jitter en tráfico de video streaming a través de una red inalámbrica MIMO. Dichas mediciones pertenecen a categoría de desempeño pasivas.

#### 4.1.1 Jitter

En redes IP, y en general en cualquier red de paquetes, no es posible garantizar que todos los paquetes de una misma comunicación sigan el mismo camino (de hecho, lo más probable es que no lo hagan), al contrario de lo que ocurre en las redes de conmutación de circuitos. Como consecuencia, cada paquete llegará al destino atravesando un número distinto de nodos de la red y, por tanto, alcanzarán su objetivo con un retardo diferente. Estas variaciones del retardo recibe el nombre de jitter [23].

Para absorber estas variaciones se utilizan los llamados de-jitter buffers, que tienen la tarea de suprimir estas variaciones de retardo. La supresión consiste en el almacenamiento de los paquetes durante el tiempo suficiente para que los paquetes que han llegado fuera de secuencia puedan reordenarse y reproducirse en el orden correcto. Por tanto, cuanto mayor es el jitter de los paquetes, tanto mayor es el tamaño del buffer de supresión de jitter necesario para reducir su impacto en la calidad [23].

La supresión del jitter introduce un retardo adicional [23]. Generalmente, el tamaño del buffer de supresión de jitter es una solución de compromiso entre el retardo de los paquetes y la tasa de pérdidas, de manera que cuanto mayor es el tamaño del buffer, mayor es el retardo y menores las pérdidas. Por esta razón, lo ideal es que el tamaño del buffer varíe dinámicamente con las condiciones de la red [29].

Diversos estudios han sido orientados a determinar los valores límites de jitter para aplicaciones en tiempo real, en [30] se sugieren los siguientes: QoS buena (0ms-20ms), QoS aceptable (20ms-50ms) y QoS mala (>50ms).

## 4.2 Escenario de medición

El escenario de medición está formado mediante una arquitectura cliente-servidor para una transmisión de video streaming. Cuenta con dos redes inalámbricas de área local (WLAN), interconectadas por un enlace punto a punto mediante dos antenas MIMO. Como se muestra en la Figura 22, la red WLAN-A se encuentra ubicada en la Universidad de Quintana Roo, en el Centro de Tecnologías de la Información y la Comunicación (CTIC) y la red WLAN-B está ubicada en la Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias de la Salud (DCS). Las zonas WLAN-A y WLAN-B consisten en lo siguiente:

**WLAN-A.** Está compuesta por la red LAN A del Área de Computo de la DCS y el host PC-DCS donde se instaló el servidor de video streaming. La PC-DCS está conectada por medio de un cable Ethernet a un router (Belkin N600) que a su vez está conectado por un cable Ethernet a una antena MIMO (Antena MIMO DCS), la cual se encuentra montada en la torre de comunicaciones de la División de Ciencias de la Salud UQROO.

**WLAN-B.** Está compuesta por la red LAN B del CTIC y el host PC-CTIC en la cual estará instalado el cliente de la transmisión streaming. La PC-CTIC está conectada por medio de un cable Ethernet a un router (Belkin N600) que a su vez está conectado por un cable Ethernet a una antena MIMO (antena MIMO CTIC), que se encuentra montada en la torre de comunicaciones del Centro de Tecnologías de la Información y la Comunicación de la UQROO.

Universidad de Quintana Roo  
(División de Ciencias de la  
Salud)

Universidad de Quintana Roo  
(Centro de Tecnologías de la  
Información y la Comunicación)

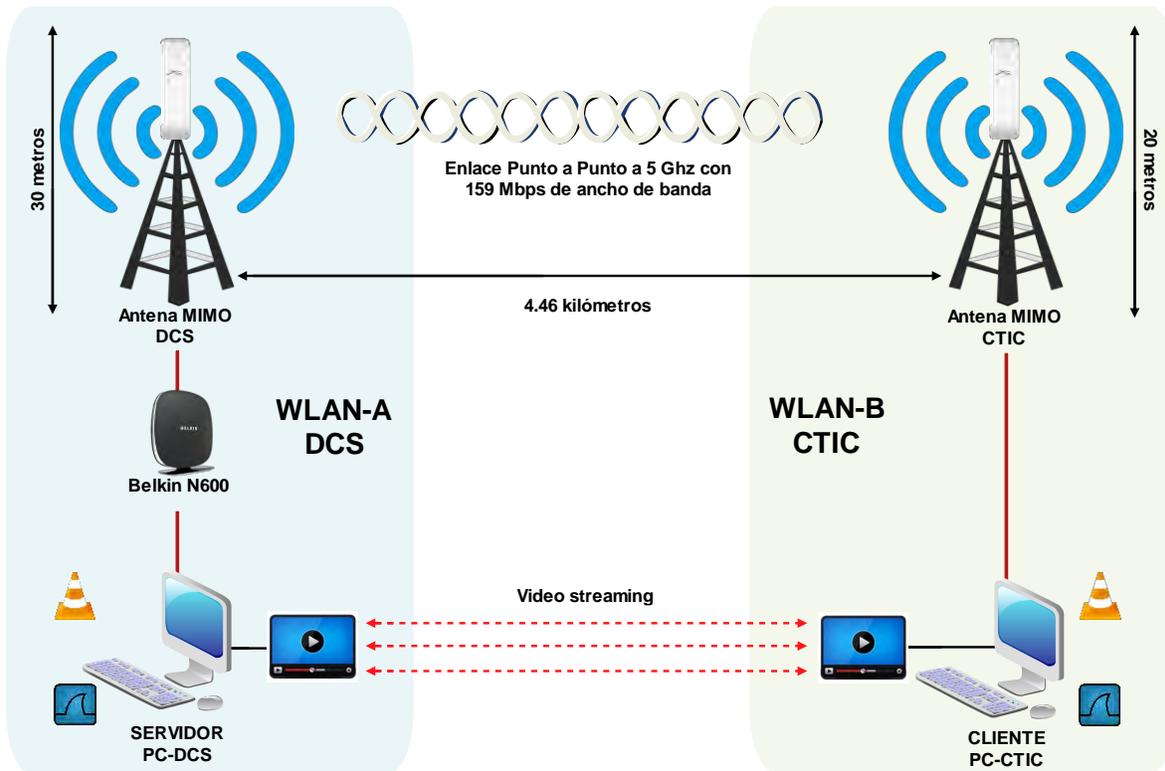


Figura 22. Escenario de Medición.

#### 4.2.1 Características de los equipos

En total, la red donde se realizarán las mediciones cuenta con:

- 2 Computadoras con las mismas características. Véase en Tabla 1.
- 1 Router inalámbrico. Véase en Tabla 2.
- 2 Antenas MIMO Ubiquiti NanoStation M5. Véase en Tabla 3.

Tabla 1. Descripción de la PC-DCS y PC-CTIC.

Computadora HP COMPAQ dc7700

Windows XP Professional

Procesador Intel Core 2 Duo 6300 @1.86

1 GB de memoria RAM

Disco duro de 160 GB

Gráficos Intel ® Q965/Q963 Express Chipset Family

Tabla 2. Router Inalámbrico Belkin N600 DB.

Transmisión de doble banda (Dual Band)

Hasta 600Mbps (hasta 300 Mbps (2,4GHz) + 300 Mbps (5 GHz))

Tecnología MultiBeam: Cobertura total para varios dispositivos

1 puerto USB: Para la impresión o el almacenamiento inalámbrico

4 puertos LAN Ethernet: Para conexiones de red cableadas rápidas y fiables

Diseño de la antena: Interna e integrada

Compliant Standard(s): IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y IEEE 802.11n

Ancho de banda: radio dual concurrente 2,4 GHz y 5 GHz ISM

Conmutador integrado: Conmutador de 4 puertos

Tipo de conector(s): USB de 4 patillas tipo A (1)

Tipo de Interfaz: RJ-45 (LAN)

Interfaz: Ethernet 10Base-T/100Base-TX (4)

---

Nº máx. de conexiones WLAN: 16

Navegadores compatibles para gestión remota: Firefox® y Safari®

Protocolo de conmutación: Ethernet

Protocolo de enrutamiento: Enrutamiento de IP estática

Protocolo de gestión remota: HTTP y HTTPS

Protocolo(s) de enlace de datos: Ethernet, Fast Ethernet, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y IEEE 802.11n

Protocolos de ISP compatibles: Estática (IPoA), PPPoA, PPPoE

Velocidad de transferencia de datos: 300 Mbps

Método(s) de autenticación: Identificación de conjunto de servicios de radio (SSID)

Seguridad por pulsador WPS: Si

Tipo(s) de encriptación compatible(s): WPA de 256 bits, WEP de 64 bits y WPA2

Tipo(s) de firewall compatible(s): NAT y SPI

---

**Tabla 3. Antena MIMO Ubiquiti NanoStation M5.**

5GHz Hi Power 2x2 MIMO AirMax TDMA Station

Más de 150Mbps de velocidad

Alcance de 15Km

2x2 MIMO

Antena de 16dBi con 500mW de potencia

---

Trabaja con 5GHz de Frecuencia

Procesador: Atheros MIPS 24KC, 400MHz

Memoria: 32MB SDRAM, 8MB Flash

Interfaz de Red: 2 x 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Interface Ethernet

Conformidad ROHS: SI

Peso: 0.4kg

Características de la caja: Exterior, Plástico UV estabilizado

Máximo consumo de energía: 8 Watos

Alimentación: UBIQUITI POE-2412W Fuente de alimentación PoE incluido

Rango de Frecuencia: 4.9-5.9 GHz

Ganancia: 14.6-16.1dBi

Polarización: Lineal Dual

Aislamiento de Polaridad: 22dB Mínimo

Frecuencia: 5470MHz-5825MHz

Tabla 4. Características Comunes en los Equipos Utilizados.

<b>Característica común</b>	<b>Antena MIMO</b>	<b>Router Belkin N600</b>
Frecuencia de transmisión	5 GHz	5GHz/2.4GHz
Velocidad de transmisión	300Mbps/ 150Mbps	300Mbps/ 50Mbps
Tecnología MIMO	Si	Si

Múltiples antenas	Si	Si
Número de antenas	2	4
Configuración de antenas MIMO	2x2	4x2
Tecnología Dual-Band	No	Si
802.11n	No	Si
Encriptación	WEP, WPA, y WPA2	WEP, WPA, y WPA2
Administración remota	Si	Si
Interfaz de administración	Web	Web
Interfaz alámbrica	Si	Si

#### 4.2.2 Direccionamiento del escenario de medición

El conjunto de direcciones que se utilizaron para que la red funcione correctamente es el siguiente:

##### **Red WLAN-A (DCS)**

- Direccionamiento de la PC-DCS, donde estará instalado el servidor de streaming. Véase Tabla 5.
- Direccionamiento del Router que estará conectado a la antena MIMO DCS. Véase en Tabla 6.
- Direccionamiento de la antena MIMO DCS, la cual estará directamente conectada a la antena MIMO CTIC. Véase Tabla 7.

Tabla 5. PC-DCS (Servidor).

Dirección IP	<b>192.168.1.4</b>
Máscara de subred	255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada	192.168.6.83
Servidor DNS	8.8.8.8

Tabla 6. Router Belkin N600.

### Ajustes LAN

Dirección IP	192.168.1.13
Máscara de subred	255.255.255.0
Servidor DHCP	Activado

### Ajustes de Internet

Tipo de conexión	Estática
IP de WAN	192.168.6.83
Máscara de subred	255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada	192.168.6.254
Dirección DNS	8.8.8.8

Tabla 7. Antena MIMO DCS.

Modo de red	Bridge
-------------	--------

Dirección IP	192.168.1.14
Máscara de subred	255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada	192.168.6.83
Servidor DNS	8.8.8.8

### Red WLAN-B (CTIC)

- Direccionamiento de la PC-CTIC, donde estará instalado el cliente de la transmisión de streaming. Véase Tabla 8.
- Direccionamiento de la antena MIMO CTIC, la cual estará directamente conectada a la antena MIMO DCS. Véase Tabla 9.

Tabla 8. PC-CTIC (Cliente).

Dirección IP	<b>192.168.1.5</b>
Máscara de subred	255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada	192.168.6.83
Servidor DNS	8.8.8.8

Tabla 9. Antena MIMO CTIC.

Modo de red	<b>Bridge</b>
Dirección IP	192.168.1.15
Máscara de subred	255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada	192.168.6.83

Servidor DNS	8.8.8.8
--------------	---------

#### 4.2.3 Software del escenario de medición

El software utilizado para llevar a cabo la transmisión de video streaming y para realizar las mediciones de tráfico se pueden apreciar en la Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10. Red WLAN-A (DCS).

Nombre	Licencia	Versión	Tipo
Reproductor multimedia VLC	Gratuita	2.1.3	Reproductor multimedia, codificador y transmisor.
Wireshark	Gratuita	1.10.6	Analizador de protocolos de red
Teamviewer	Gratuita	9.0.28223	Control remoto de equipos
Google Chrome	Gratuita	35.0.1916.114	Navegador Web

Tabla 11. Red WLAN-B (DCS).

Nombre	Licencia	Versión	Tipo
Reproductor multimedia VLC	Gratuita	2.1.3	Reproductor multimedia, codificador y transmisor.
Teamviewer	Gratuita	9.0.28223	Control remoto de equipos

Google Chrome	Gratuita	35.0.1916.114	Navegador Web
---------------	----------	---------------	---------------

**Reproductor multimedia VLC.** Se utilizó para realizar la transmisión de streaming de video. Realizó las funciones de servidor (PC-DCS) y cliente (PC-CTIC). Además que sirvió como codificador y decodificador para las diferentes transmisiones de video.

**Wireshark.** Es un analizador de protocolos de red. Se utilizó para capturar el tráfico generado por la transmisión de video streaming.

**Teamviewer.** Se utilizó para acceder a las dos computadoras de manera remota.

**Google Chrome.** Navegador web que se utilizó para la configuración de las dos antenas MIMO y para acceder a la configuración del router Belkin N600.

#### 4.3 Pruebas realizadas

Se llevaron a cabo 24 sets de mediciones, los cuales se describen a continuación:

##### **MPEG-1**

Se realizó en intervalos de 1 hora durante 8 horas por día, por seis días (lunes-sábado). A cada día le corresponde un set de medición de flujo de Audio MPEG-1 y un set de medición de flujo de Video MPEG-1. Estas mediciones se realizaron de la PC-DCS (servidor) a la PC-CTIC (cliente), y se describen en la Tabla 12. Para estos primeros 12 sets de mediciones se utilizó un video almacenado en la PC-DCS. Este video cuenta con las características mencionadas en la Tabla 13.

Tabla 12. Conjunto de mediciones obtenidas MPEG-1.

Periodo de medición	Códec utilizado	Patrón de tráfico	Set	Total de paquetes
09-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	1	289033
10-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	2	297546
11-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	3	552272
12-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	4	298902
13-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	5	294546
14-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	6	281863
09-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-1	Jitter	7	1531111
10-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-1	Jitter	8	1519224
11-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-1	Jitter	9	1494229
12-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-1	Jitter	10	1524371

13-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-1	Jitter	11	1503697
14-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-1	Jitter	12	1483407

Tabla 13. Propiedades del códec implementado MPEG-1.

Audio		Video	
<b>Códec</b>	MPEG Audio	<b>Códec</b>	MPEG-1
<b>Tasa de bits</b>	224 kbps	<b>Tasa de bits</b>	1152 kbps
<b>Canales</b>	2	<b>Tasa de fotogramas</b>	23 fps
<b>Tasa de muestreo</b>	8000 Hz	<b>Resolución</b>	352px – 240px

## MPEG-2

Se realizó en intervalos de 1 hora durante 8 horas por día, por seis días (lunes-sábado). A cada día le corresponde un set de medición de flujo de Audio MPEG-2 y un set de medición de flujo de Video MPEG-2. Estas mediciones se realizaron de la PC-DCS (servidor) a la PC-CTIC (cliente), y se describen en la Tabla 14. Para estos siguientes 12 sets de mediciones se utilizó un video almacenado en la PC-DCS. Este video cuenta con las características mencionadas en la Tabla 15.

Tabla 14. Conjunto de mediciones obtenidas MPEG-2.

Periodo de medición	Códec utilizado	Patrón de tráfico	Set	Total de paquetes
02-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	13	745044
03-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	14	794462
04-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	15	763425
05-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	16	979065
06-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	17	808264
07-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-Audio	Jitter	18	747984
02-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-2	Jitter	19	3503437
03-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-2	Jitter	20	3645376
04-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-2	Jitter	21	3650807
05-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-2	Jitter	22	4423664

06-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-2	Jitter	23	3724922
07-Junio-14 09:00–17:00	MPEG-2	Jitter	24	3550991

Tabla 15. Propiedades del códec implementado MPEG-2.

Audio		Video	
<b>Códec</b>	MPEG Audio	<b>Códec</b>	MPEG-2
<b>Tasa de bits</b>	400 kbps	<b>Tasa de bits</b>	2000 kbps
<b>Canales</b>	2	<b>Tasa de fotogramas</b>	23 fps
<b>Tasa de muestreo</b>	44100 Hz	<b>Resolución</b>	720px – 480px

Para poder obtener el conjunto de trazas de jitter de los 24 sets de mediciones mencionados anteriormente, se utilizó el analizador de protocolos de red Wireshark. Este analizador se instaló y se ejecutó d en la PC-DCS servidor.

Para iniciar el proceso de captura, se abrió Wireshark y se eligió la opción “Capture Options”, como se muestra en la Figura 23.

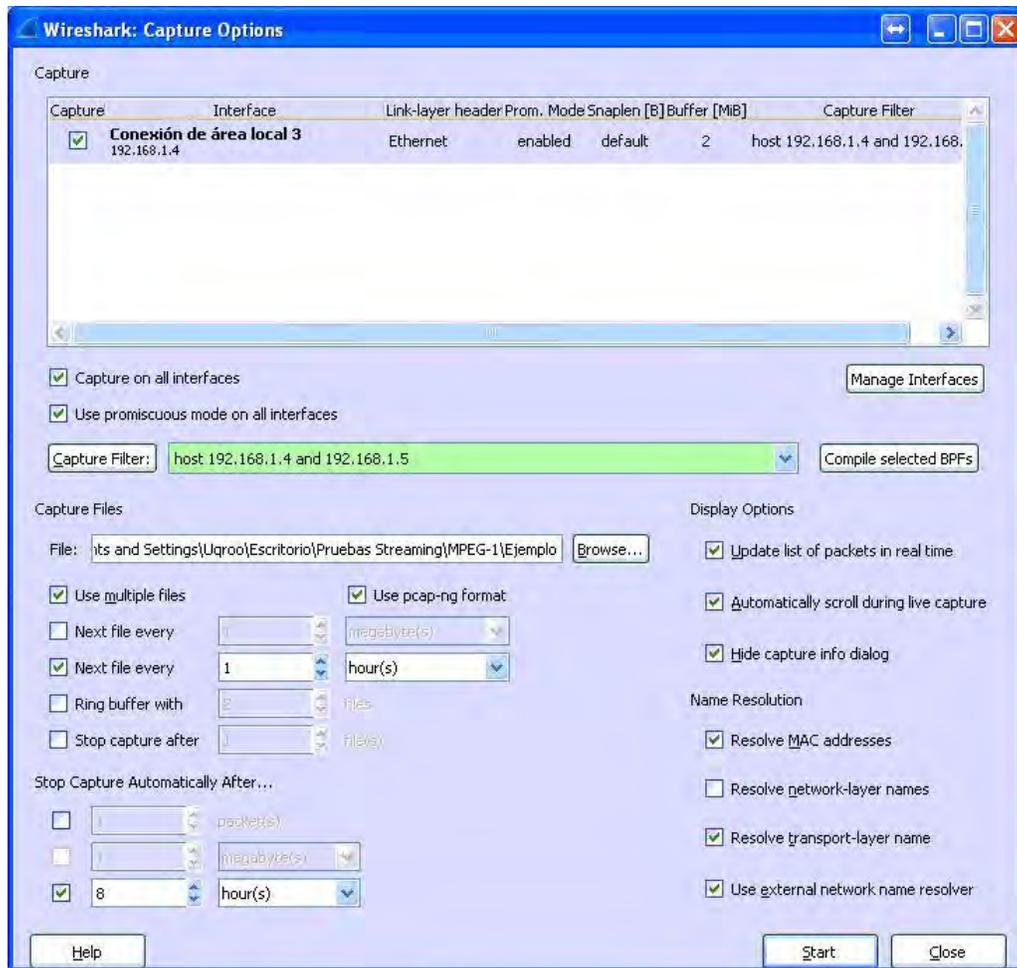


Figura 23. Opciones de Captura en Wireshark.

Posteriormente es necesario configurar los siguientes parámetros:

**Capture.** Verificar que la dirección IP del equipo donde se tenga instalado Wireshark (PC-DCS) sea la misma que se muestra en el primer recuadro de la Figura 21. De igual manera hay que verificar que la interfaz por la cual se realizará la transmisión se encuentre seleccionada.

**Capture Filter.** En este apartado se especifican los filtros a utilizar durante la medición. Se pueden utilizar filtros para capturar protocolos específicos como UDP, TCP, RTP etc. O también se utilizan filtros IP para especificar entre que

dispositivos se realizará la captura. En este caso se utilizó el siguiente filtro para especificar las direcciones IP de origen y destino de la transmisión:

- Host [IP origen] and host [IP destino]
- Host 192.168.1.4 and host 192.168.1.5

De esta manera se está limitando a Wireshark a solo capturar los paquetes que se intercambian entre las computadoras PC-DCS y PC-CTIC.

**Capture Files.** En el apartado “File” se asignara el nombre y la ruta en la cual se guardará el archivo capturado. Este archivo se guardará con la extensión “.pcap”. Posteriormente hay que activar lo siguiente:

- Activar la casilla “Use multiple files”, la cual nos permitirá capturar y guardar diferentes archivos de captura.
- Habilitar la casilla de verificación “Next file every” y seleccionar “1 hour”. Esto para que cada hora se genere un archivo nuevo.

**Stop Capture Automatically After.** Permitirá detener la captura en un tiempo determinado. En este caso se requieren 8 horas continuas de captura, por este motivo se asignó a la casilla de verificación “8 hours”.

De esta manera ya se configuró Wireshark para que capture y guarde los paquetes en 8 archivos diferentes de la transmisión streaming entre los equipos PC-DCS y PC-CTIC, como se muestra en la Tabla 13 y 14.

Al final de la captura se generarán 8 archivos con extensión “.pcap”. Para obtener el conjunto de patrones de tráfico mostrados en la Tabla 13 y 14, cada uno de estos archivos tiene que pasar un proceso que se describe a continuación:

**Paso 1.** Abrir uno de los archivos “.pcap”. Una vez abierto, se verá que cada uno de los paquetes está identificado por el protocolo RTP. En la columna de información se da a conocer si el paquete de la transmisión corresponde a uno

video o a uno de audio. Dentro de esta ventana se hace clic en “Telephony” > “RTP” > “Show All Streams”, como se muestra en la Figura 24.

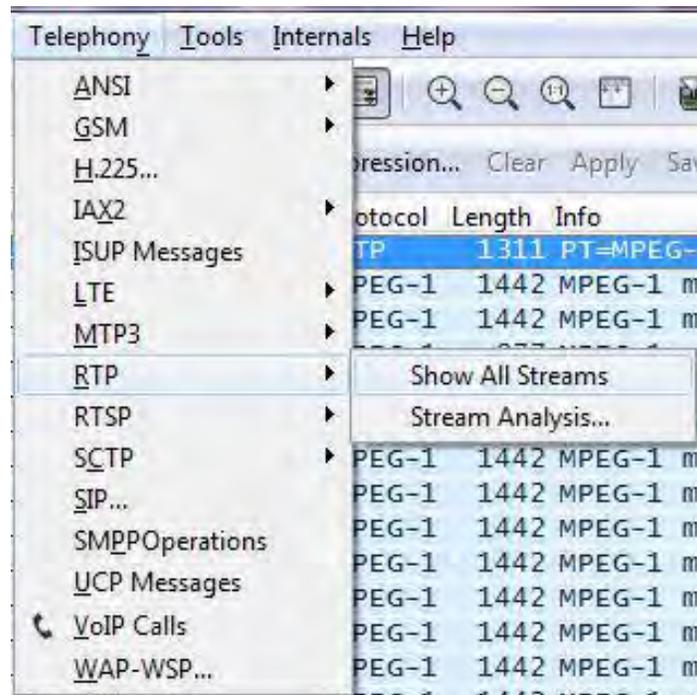


Figura 24. Proceso para Mostrar Todos los Flujos de la Captura.

**Paso 2.** El equipo tardará unos segundos en procesar. Terminando el proceso aparecerá una ventana como la que se muestra en la Figura 25. En esta figura se pueden apreciar los 3 flujos que se realizaron para la sesión de una hora de captura. Estos flujos corresponden al video, audio y a las peticiones RTCP hechas en la transmisión.

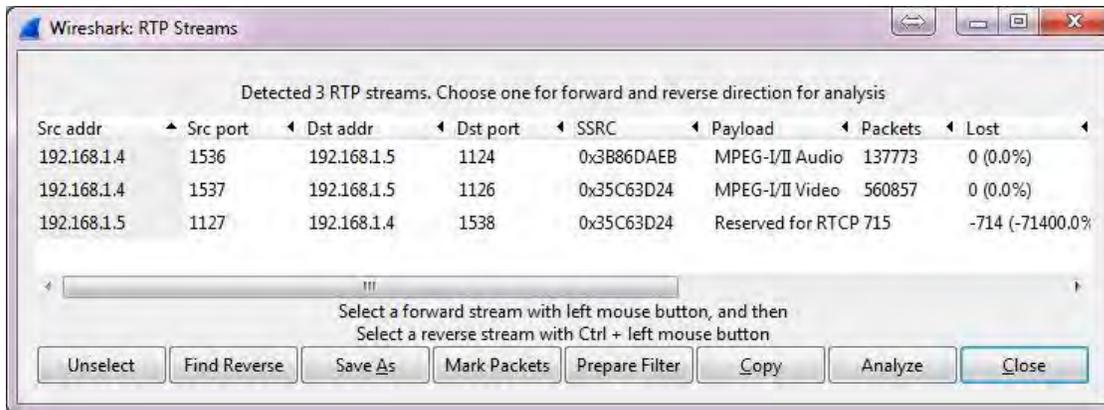


Figura 25. Flujos de RTP.

**Paso 3.** Wireshark obtiene una estadística acerca de algunos parámetros de red como jitter, pérdida de paquetes, retardo de paquetes, etc. Para esto, en la ventana de “RTP streams”, se selecciona uno de los flujos y se da clic en “Analyze”. En la ventana emergente se podrán ver los valores de jitter, perdida y retardo de paquetes, entre otros valores. Véase Figura 26.

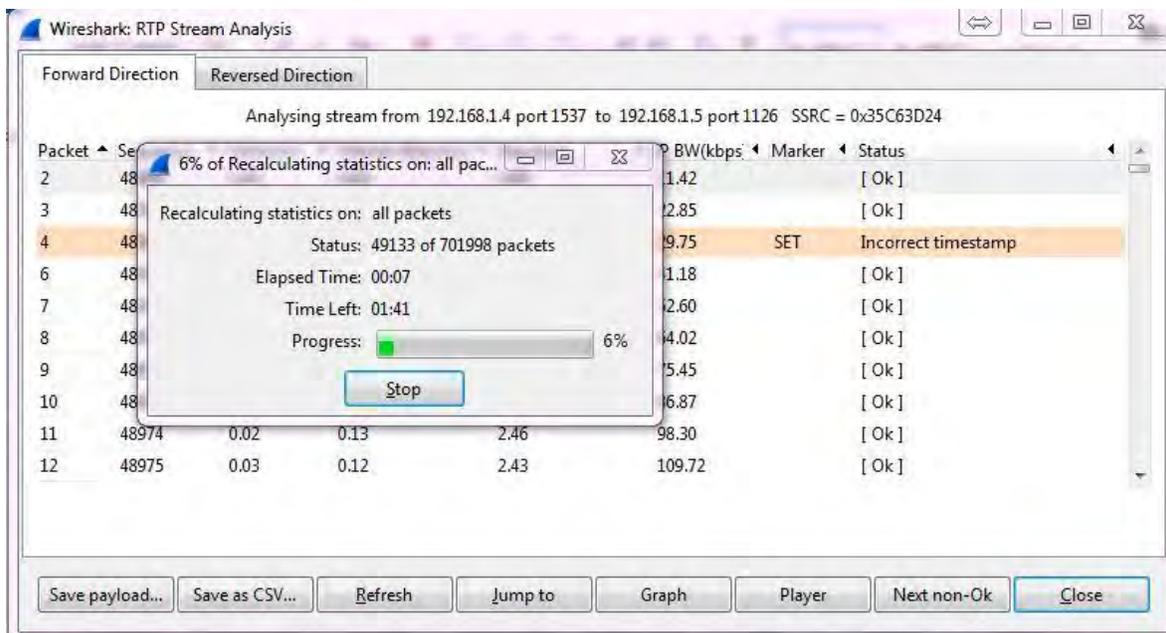


Figura 26. Análisis de Flujos RTP.

**Paso 4.** Para guardar estos datos se hace clic en el botón “Save to CSV”, de esta forma se guardará un archivo en formato CSV con los parámetros de calidad de servicio del flujo RTP. Véase Figura 27.

Hay que mencionar que los pasos anteriores fueron hechos para la medición de una hora, por lo que hay que repetir el mismo proceso para las demás horas de cada día de medición.

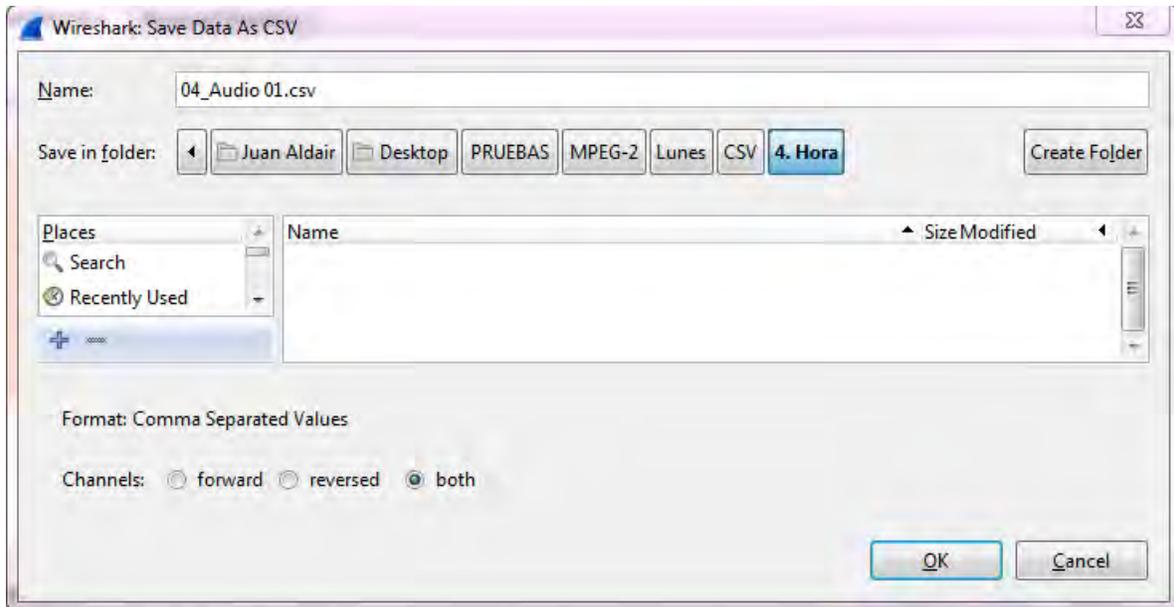


Figura 27. Guardar Capturas en Formato CSV

## Capítulo V CARACTERIZACIÓN DEL JITTER EN TRÁFICO DE VIDEO STREAMING

Las estadísticas de dependencia en el tiempo (correlación) son importantes para evaluar el desempeño de las redes IP, puesto que estas estadísticas pueden ser usadas para medir el impacto de desperfectos específicos. Diversos estudios han encontrado que la autosimilitud y la dependencia de largo rango pueden tener impacto negativo en el tráfico de datos. Por las razones mencionadas anteriormente, es importante analizar las estructuras de correlación del tráfico de video streaming. El parámetro de Hurst es usado ampliamente para medir el grado de autosimilitud y la dependencia de largo rango. Técnicamente hablando se dice que un proceso presenta dependencia de largo rango, si el valor del parámetro de Hurst toma valores de  $0.5 < H < 1$ . En la actualidad, diversos métodos estadísticos son usados para estimar el grado de autosimilitud de una serie de tiempo (traza de jitter), el más usado y fácil de implementar es el método de la varianza. En este trabajo usamos el método de la varianza para estimar el parámetro H a los 24 sets de mediciones que se describen en la Tablas 11 y 13.

Para realizar un estudio más minucioso, se evaluó el parámetro de Hurst a los flujos de audio y a los flujos de video del tráfico streaming de manera independiente.

Como resultado de este análisis encontramos que las 192 trazas de jitter correspondientes a los flujos de Audio MPEG-1 y MPEG-2 y a los flujos de Video MPEG-1 y MPEG-2 del tráfico streaming presentan autosimilitud con largo rango de dependencia. Las Figuras 26 y 27 muestran los valores de H estimados de los sets 1-6 y 7-12, respectivamente.

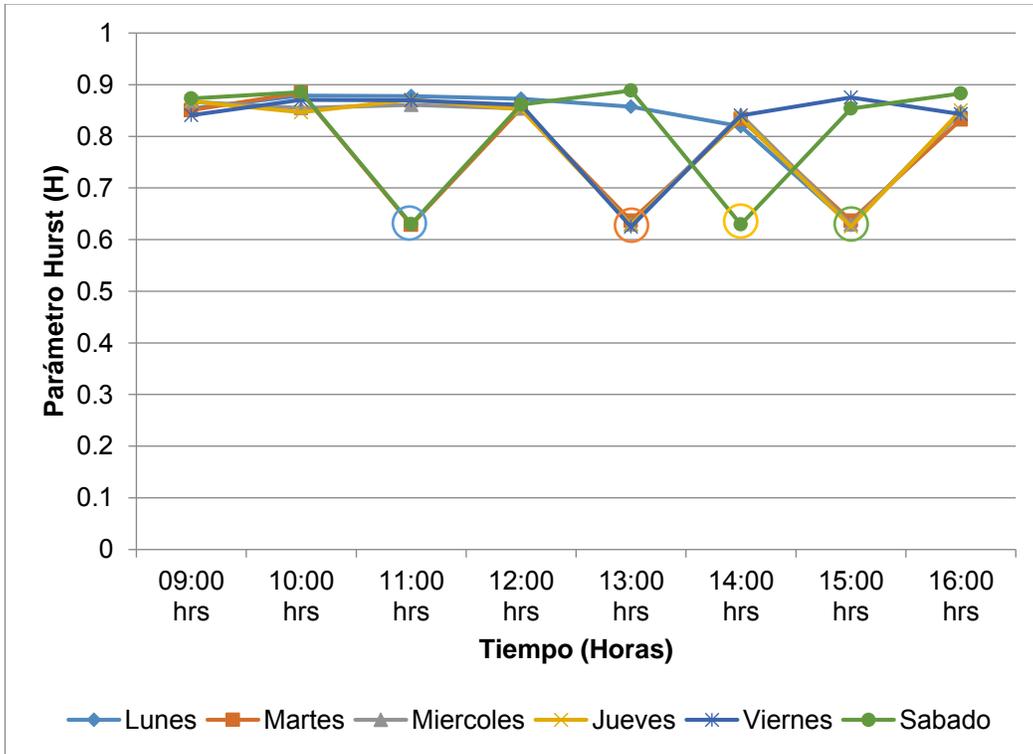


Figura 28. Parámetro H del flujo de Audio MPEG-1: Sets 1-6.

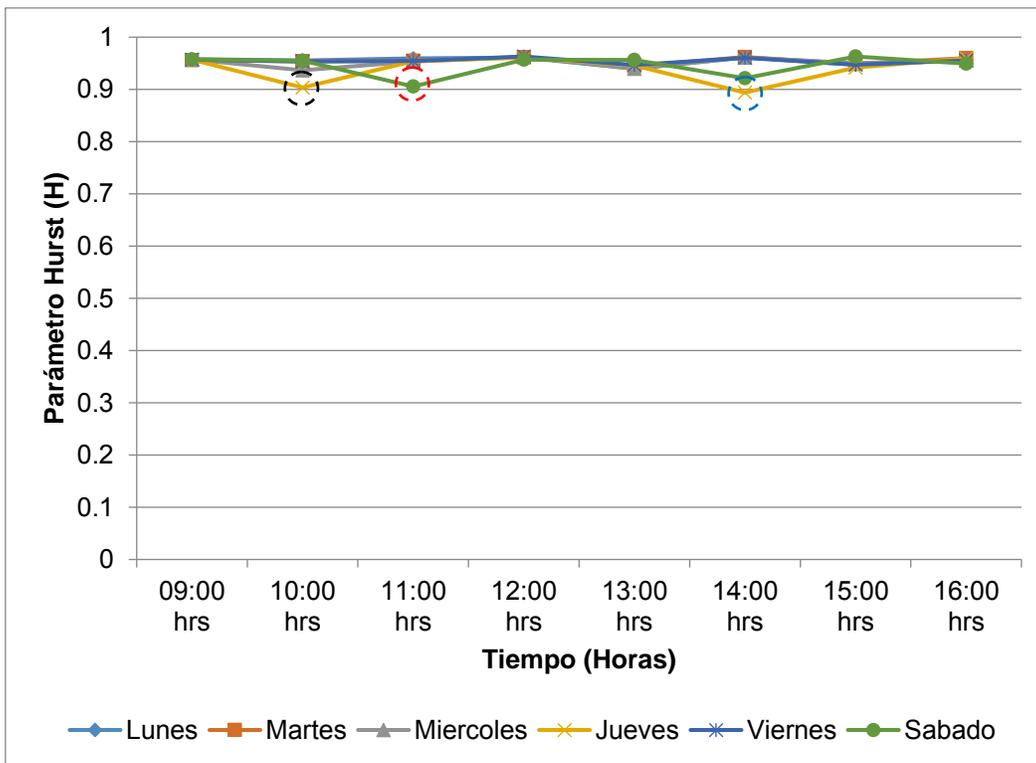


Figura 29. Parámetro H del flujo de Video MPEG-1: Sets 7-12.

Como se puede observar en las Figuras 28 y 29, los valores de H son superiores a 0.5, por tanto el tráfico de audio y video streaming MPEG-1 es autosimilar y presenta dependencia de largo rango. Derivado de este análisis de autosimilitud, también se puede observar en la Figura 26 que el parámetro de Hurst puede ser utilizado para detectar algunos desperfectos en el tráfico streaming. La figura 30 nos muestra los valores máximos de jitter que se presentaron en los sets de mediciones 1-6 que corresponden al flujo de Audio MPEG-1 del tráfico streaming analizado.

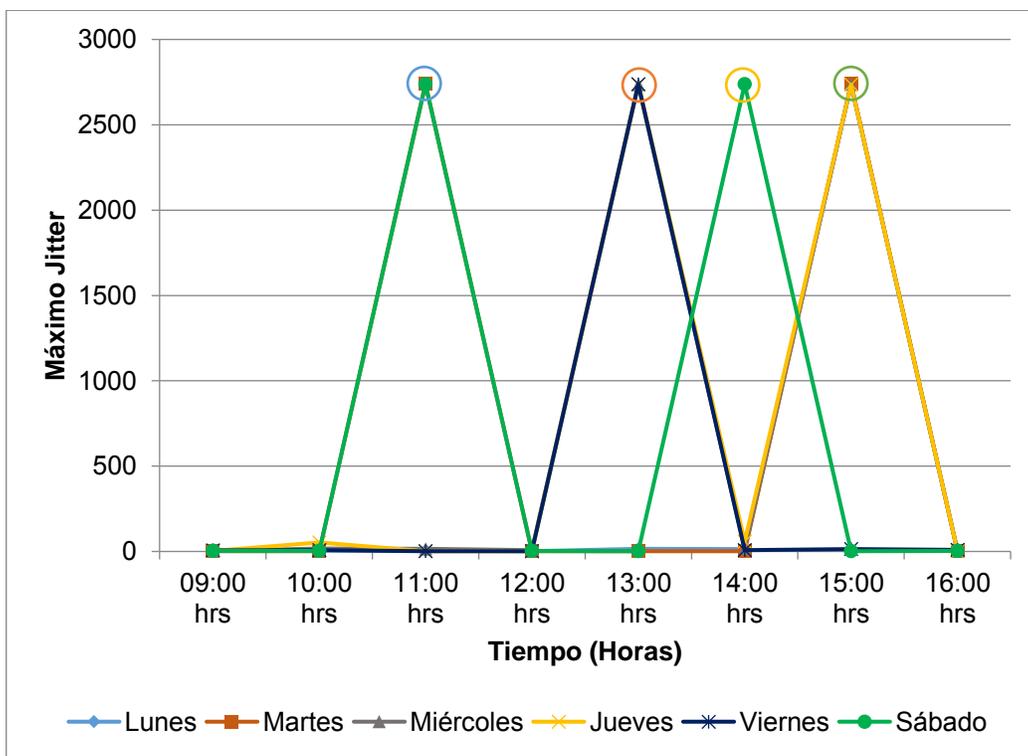


Figura 30. Valores máximos de jitter del flujo de Audio MPEG-1: Sets 1-6.

Como se puede observar en la Figura 30, cuando se presentan valores atípicos de jitter en una comunicación streaming (los cuales provocarían un deterioro en la calidad de servicio), este comportamiento anómalo, puede ser detectado por el parámetro de Hurst mediante un cambio de nivel en su valor (ver Figura 28). La Figura 28 muestra como el parámetro de Hurst cambia de 0.9 a 0.6 cuando se

produce un cambio en el valor de jitter de 1.65ms (buena calidad de servicio) a 2750ms (mala calidad de servicio), respectivamente.

La figura 31 nos muestra los valores máximos de jitter que se presentaron en los sets de mediciones 7-12 que corresponden al flujo de Video MPEG-1 del tráfico streaming analizado.

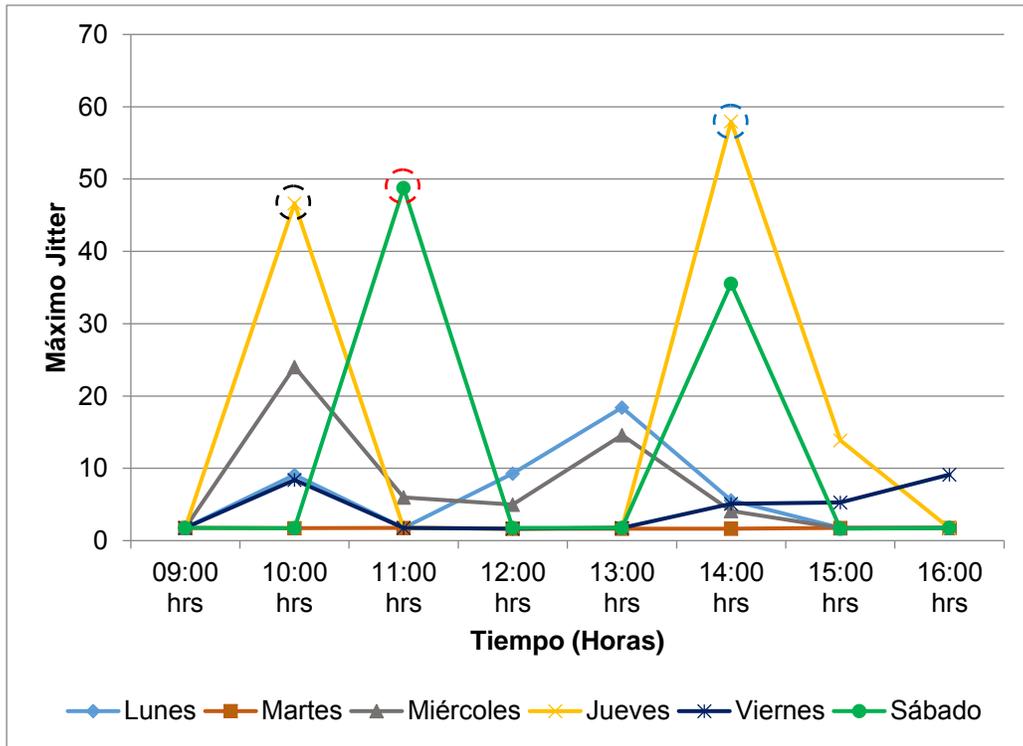


Figura 31. Valores máximos de jitter del flujo de Video MPEG-1: Sets 7-12.

Como se puede observar en la Figura 31, cuando se presentan valores de jitter alrededor del umbral aceptable (50ms) en una comunicación streaming, este comportamiento, puede ser detectado por el parámetro de Hurst mediante un ligero cambio de nivel en su valor (ver Figura 29). La Figura 29 muestra como el parámetro de Hurst cambia de 0.95 a 0.9 cuando se produce un cambio en el valor de jitter de 1.75ms (buena calidad de servicio) a ~50ms (límite de nivel de calidad aceptable), respectivamente. Por tanto, se puede concluir que el parámetro de Hurst puede ser usado para detectar valores atípicos de jitter (valores muy grandes) en una comunicación de video streaming. Mientras que, cuando los valores de jitter se encuentran en el rango aceptable ( $\text{jitter} < 50\text{ms}$ ) los cambios en el valor del parámetro H no son significativos.

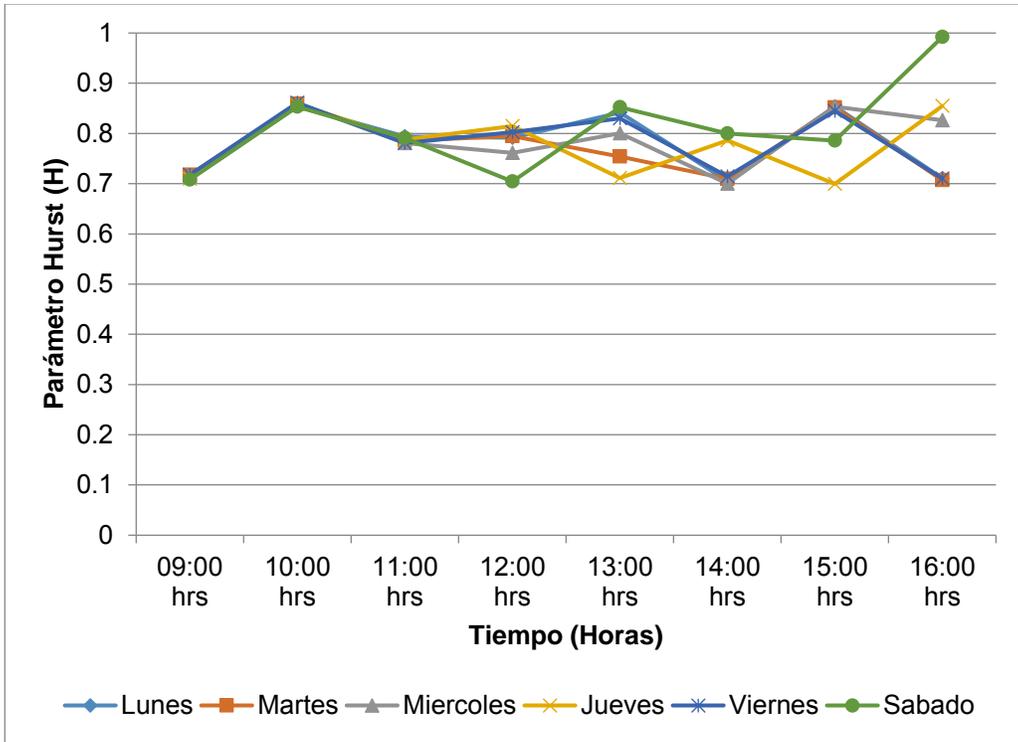


Figura 32. Parámetro H del flujo de Audio MPEG-2: Sets 13-18.

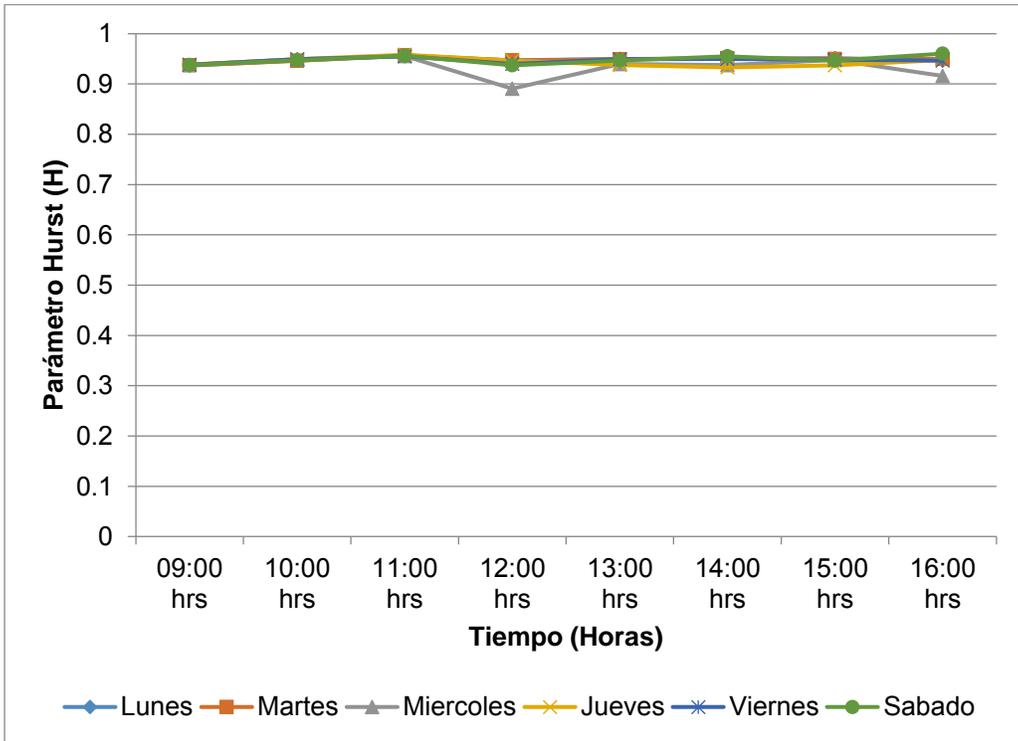


Figura 33. Parámetro H del flujo de Video MPEG-2: Sets 19-24.

Las Figuras 32 y 33 muestran los valores de H estimados de los sets 13-18 y 19-24, respectivamente.

Como se puede observar en las Figuras 32 y 33, los valores de H son superiores a 0.5, por tanto el tráfico de audio y video streaming MPEG-2 es autosimilar y presenta dependencia de largo rango.

## Capítulo VI CONCLUSIONES

Tradicionalmente las redes de comunicaciones fueron diseñadas para fines específicos. Para el transporte del tráfico de voz se ha utilizado hasta ahora la red telefónica pública conmutada (PSTN), mientras que para la transmisión de datos, la red de conmutación de paquetes. Sin embargo, la tendencia actual de las comunicaciones es la unificación de redes, es decir que sobre una misma infraestructura se transmitan múltiples medios (voz, datos, video, etc.). Esta tendencia es mejor conocida como convergencia de redes, donde la infraestructura de red convergente es la red IP. Por otro lado, una de las aplicaciones de gran demanda sobre esta red convergente es la transmisión de video “streaming”.

Cuando el tráfico de video streaming es transportado sobre una red IP, la tecnología basada en paquetes puede introducir desperfectos y deteriorar la QoS percibida por el usuario final. La calidad del video streaming depende de muchos parámetros de QoS, particularmente, el jitter tiene un importante impacto. Para poder hacer frente a los impactos negativos (desperfectos) del jitter sobre la QoS en la transmisión de video streaming, el dimensionamiento del de-jitter buffer juega un papel muy importante. Una técnica para lograr un apropiado dimensionamiento del de-jitter buffer en aplicaciones multimedia es mediante la caracterización o modelado de esta métrica.

Por otro lado, las estadísticas de dependencia en el tiempo (estructuras de correlación) son importantes para evaluar el desempeño de las redes IP, puesto que estas estadísticas pueden ser usadas para medir el impacto de desperfectos específicos.

En base a los puntos mencionados anteriormente, en el presente trabajo se presenta la caracterización del jitter correspondiente a tráfico de video streaming mediante estructuras de correlación. Donde dicha estructura de correlación puede ser representada mediante el parámetro de Hurst ( $H$ ). Para estimar el parámetro  $H$

a los 24 sets de mediciones que se describen en la Tablas 11 y 13, usamos el método de la varianza.

Como resultado de este análisis encontramos que las 192 trazas de jitter correspondientes a los flujos de Audio MPEG-1 y MPEG-2 y a los flujos de Video MPEG-1 y MPEG-2 del tráfico streaming presentan autosimilitud con largo rango de dependencia. Derivado de este análisis de autosimilitud, también se puede observar que el parámetro de Hurst puede ser utilizado para detectar algunos desperfectos en el tráfico streaming. Es decir, cuando se presentan valores atípicos (valores muy altos) de jitter (jitter >50ms) en una comunicación streaming, este comportamiento anómalo, puede ser detectado por el parámetro de Hurst mediante un cambio de nivel significativo en su valor (de 0.9 a 0.6). Mientras que, cuando los valores de jitter se encuentran en el rango aceptable (jitter <50ms) los cambios en el valor del parámetro H no son significativos (de 0.95 a 0.9).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Villajosana Guillén, X., Font Rosselló, M., Llorente Viejo, S., & Marqués Puig, J. (2010). *Redes multimedia*. Barcelona: Eureka Media, S.L.
- [2] Georges Fiche, Gérard Hébuterne (2004). *Communicating Systems & Networks: Traffic & Performance*. Great Britain & United States: Kogan Page Science.
- [3] Suárez y Alonso, R. C. (2007). *Tecnologías de la información y la comunicación. Introducción a los sistemas de información y telecomunicación*.Vigo: Ideaspropias Editorial.
- [4] Forouzan, B. A. (2002). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*.Madrid: McGraw-Hill.
- [5] Tanenbaum, A., & Wetherall, D. (2011). *Computer Networks* (5a ed.). USA: Pearson.
- [6] Stremmer, F. G. (1993). *Introducción a los sistemas de comunicación*. Argentina: Addison-Wesley.
- [7] Andréu Gómez, J. (2011). *Redes locales*. Madrid: Editex.
- [8] Rodríguez Ávila, A. (2007). *Iniciación a la red internet. Concepto, funcionamiento, servicios y aplicaciones de Internet*. Vigo: Ideaspropias Editorial.
- [9] Herrera Pérez, E. (2003). *Tecnologías y redes de transmisión de datos*. México: Limusa.
- [10] Pellejero, I., Andreu, F., & Lesta, A. (2006). *Redes WLAN: Fundamentos y aplicaciones de seguridad*. Barcelona, España: Marcombo.

- [11] Stallings, W. (2000). *Comunicaciones y redes de computadores*. Madrid: Prentice Hall.
- [12] Kurose, J., & Ross, K. (2010). *Redes de computadoras : Un enfoque descendente* (5a ed. ). México: Pearson.
- [13] Yi Pan, Yang Xiao (2006). *Ad Hoc and Sensor Networks*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- [14] Austerberry, D. (2005). *The technology of video and audio streaming*. USA: Elsevier Inc.
- [15] Biglieri, E., Calderbank, R., Constantinides, A., Goldsmith, A., Paulraj, A., & Poor, H. V. (2007). *MIMO wireless communications*. New York: Cambridge University Press.
- [16] Bizaki, K. H. (2011). *MIMO Systems, Theory and Applications*. Rijeka, Croatia: InTech.
- [17] Pérez Marqués, M. (2010). *Claves Windows 7*. España: Gráficas Deva, S.L.
- [18] Wes Simpson. (2008). *Video Over IP. IPTV, Internet Video, H.264, P2P, Web TV, and Streaming: A complete guide to understanding the technology*. USA: Elsevier Inc.
- [19] Faúndez Zanuy, M. (2000). *Tratamiento digital de voz e imagen: y aplicación a la multimedia*. Barcelona: Marcombo Boixareu Editores.
- [20] Romero Ternero, M., Barbancho Concejero, J., Benjumea Mondéjar, J., Rivera Romero, C., Roperó Rodríguez, J., Sánchez Antón, G., Sivianes Castillo, F. (2010). *Redes locales*. Madrid: Paraninfo.
- [21] Yoram Orzach. (2013). *Network Analysis Using Wireshark Cookbook*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.

- [22] Lloret Mauri, J., García Pineda, M., Boronat Seguí, F. (2008). *IPTV: La televisión por Internet*. España: Publicaciones Vértice S.L.
- [23] Huidobro Moya, J., Roldán Martínez, D.(2006). *Tecnología VoIP y Telefonía IP*. España: Alfaomega Grupo Editor.
- [24] Michael Topic. (2002). *Streaming media Demystified*. New York: McGraw-Hill.
- [25] W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, and D.V. Wilson. (1993). "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic", Proc ACM SIGCOMM, Pages 183–193.
- [26] W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, and D.V. Wilson. (1994). "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic" (Extended Version), IEEE/ACM Transactions on Networking, 2:1–15, 1-15.
- [27] K. Park K and W. Willinger. (2000). "Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation", Jhon Wiley Interscience, New York.
- [28] J. F. Hayes and T. V. J. Ganesh Babu. (2004). "Modeling and Analysis of Telecommunications Networks", Jhon Wiley Interscience, New Jersey.
- [29] Huidobro Moya, J., Roldán Martínez, D. (2006). *Comunicaciones en redes WLAN: Wifi, VoIP, multimedia y seguridad*. México: Editorial Limusa.
- [30] P. Calyam, M. Sridharan, W. Mandrawa and P. Schopis. (2004). "Performance measurement and analysis of H. 323 traffic," Proc. Passive and Active Network Measurement (PAM), Springer in the Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Antibes Juan-les-Pins, France.