

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Bibliotecas Bucaramanga
Universidad Santo Tomás**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA
TRANSMISIÓN MULTICAST DIGITAL SIGNAGE EN UNA RED
CONVERGENTE EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO.**

ÁLVARO ANDRÉS ANAYA AMARILES

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA
TRANSMISIÓN MULTICAST DIGITAL SIGNAGE EN UNA RED
CONVERGENTE EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO.**

ÁLVARO ANDRÉS ANAYA AMARILES

**Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de
Telecomunicaciones**

**Director
Tito Raúl Vargas H.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
ÁLVARO ANDRÉS ANAYA AUTOR <i>Estudiante de Pregrado</i>	TITO RAÚL VARGAS H. Director <i>Director del Trabajo de Investigación</i>	Comité de trabajos de grado

DEDICATORIA

Este trabajo de grado representa haber concluido mi primer ciclo superior académico como ingeniero de telecomunicaciones y es de suma importancia indicar las personas que hicieron posible este sueño, un sueño que se hace realidad.

Mi dedicatoria por este trabajo de grado es dirigida a:

Al único Dios, el creador de todas las cosas, el dador de la sabiduría y entendimiento.

Mis padres Ofelia Amariles Osorio y Álvaro Anaya Rodríguez, responsables de permitirme hacer mi sueño realidad, en la distancia fueron de gran apoyo y ayuda incondicional en los momentos cruciales de mi etapa estudiantil, gracias a ellos y al esfuerzo de tantos años tengo la oportunidad de dar un salto importante en mi vida personal y profesional, a ellos le debo todo, mi educación, un hogar y mi vida, toda la vida estaré en deuda con ellos, son el motor que me impulsan a seguir adelante, sin ellos y sin Dios de la mano, no hubiera logrado esta meta cumplida.

A mi hermana Adriana Lisette Anaya Amariles que a pesar de tenerla lejos fue de pequeño para mí un ejemplo, la lucha y valentía de afrontar los retos y adversidades es una de las tantas cualidades que aprendí de ella, no existe una gran victoria sin no hay un gran esfuerzo de por medio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Tito Raúl Vargas Hernández por aceptarme en un principio al grupo de investigación, y a su vez ser el guía y mi director de trabajo de grado ofreciendo con cordialidad la ayuda, experiencia, docencia, conocimientos y tiempo desde un inicio y durante todo el proceso de grado, sus consejos y metodologías fueron claves para llevar a cabo con éxito el proceso de investigación e implementación de esta memoria. Asimismo quiero destacar a todos ustedes por los comentarios y observaciones que me permitieron elaborar este trabajo de la mejor manera posible.

Agradezco a la Dra. Yudy Natalia Flórez Ordóñez por orientarme en la mejor elección de actividades y procedimientos que al día hace posible generar este proyecto. También agradezco a todos los docentes de la facultad de ingeniería de telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga que contribuyeron en todo mi proceso y formación como ingeniero de telecomunicaciones.

Por ultimo agradezco a mis compañeros de estudio y amigos que fueron de apoyo e innumerables aportes académicos, gracias a ellos todo el proceso de formación fue realizado de manera más agradable.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
2. JUSTIFICACIÓN.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MARCO TEORICO	19
4.1 INTODRUCCIÓN MULTICAST.....	19
4.2 TIPOS DE DIRECCIONAMIENTO.....	20
4.3 DIRECCIONAMIENTO LÓGICO MULTICAST	21
4.3.1 Grupo permanente.....	21
4.4 PROTOCOLOS MULTICAST	23
4.4.1 Tipos de protocolos multicast.....	24
4.4.2 TTL multicast.....	25
4.4.3 IGMP.	26
4.4.4 Modos routing multicast.	32
4.5 INTRODUCCIÓN PIM.....	33
4.5.1 Arboles de distribución multicast.....	34
4.5.2 PIM-DM.....	34
4.5.3 PIM-SM.....	37
4.6 RTP.....	42
4.6.1 Funcionamiento RTP..	43
4.6.2 Encabezado RTP.....	43
4.7 RTCP.....	44
4.8 SDP	44
4.9 DIGITAL SIGNAGE	47
4.9.1 Contenido dinámico..	48
5. METODOLOGÍA.....	49
6. DESARROLLO DE IMPLEMENTACIÓN DIGITAL SIGNAGE	50
6.1 EMISOR.....	52
6.1.1 Servidor streaming.	52

6.2	RED MULTICAST PIM-SM	53
6.2.1	Comprobar pim-sm	55
6.3	CLIENTE.....	55
6.3.1	Raspberry.	56
6.4	HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN	58
6.4.1	Evalvid	58
6.4.2	Analizador de protocolos..	60
7.	RESULTADOS	61
7.1	FUNCIONAMIENTO	61
7.2	PARÁMETROS QoS.....	62
7.2.1	Ancho de banda instantáneo.....	62
7.2.2	Pérdidas.....	63
7.2.3	Throughput.....	65
7.2.4	Delay.....	66
7.2.5	Jitter..	68
7.3	PARÁMETROS QoE.....	69
7.3.1	PSNR.....	69
7.3.2	MOS.....	70
7.4	PROPUESTA DE RED.....	71
7.5	IMPACTO LOGRADO	73
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
8.1	CONCLUSIONES	75
8.2	RECOMENDACIONES.....	75
8.3	TRABAJO FUTURO	76
	BIBLIOGRAFÍA.....	77
	Anexo A. ESTANDAR PARA CODIFICACIÓN DE AUDIO Y VIDEO.....	80
	Anexo B. CONFIGURACIÓN VLC EMISIÓN PANTALLA	83
	Anexo C. PAQUETE RECEPTOR RTCP	86
	ANEXO D. SERVIDOR DE CONTENIDOS.....	86
	ANEXO E. DISPOSITIVOS DE RED.....	87
	Anexo F. ARCHIVOS DE CONFIGURACIÓN DE ROUTERS CISCO	88
	Anexo G COMANDOS DE VERIFICACIÓN MULTICAST.....	91
	Anexo H. RASPBERRY PI B+.....	102

Anexo I. CONTENIDO MULTIMEDIA EN SESIÓN MULTICAST	102
Anexo J. PAQUETES UDP E IGMP EN WIRESHARK	103
Anexo K. PASOS PARA UTILIZAR HERRAMIENTAS EVALVID	104
Anexo L. PRUEBA DE RECEPCIÓN DE CONTENIDO DINÁMICO DE MANERA UNICAST EN FLORIDA	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Asignación de direcciones permanentes.....	22
Tabla 2. Asignación de direcciones transitorias.....	22
Tabla 3. Protocolos multicast.....	24
Tabla 4. Función de protocolos multicast.....	25
Tabla 5. Valores TTL.....	25
Tabla 6. Resumen multicast.....	42
Tabla 7. Parametros de sesión.....	45
Tabla 8. Etiquetas de sesión.....	46
Tabla 9. Comandos útiles para multicast IP.....	55
Tabla 10. Calidades MOS.....	59
Tabla 11. Traza de video.....	60
Tabla 12. Características de contenido multimedia.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modo unicast vs Modo multicast.....	21
Figura 2. Formato de mensaje IGMPv1	28
Figura 3. Formato de mensaje IGMPv2	29
Figura 4. Formato de mensaje IGMPv3	31
Figura 5. Distribución PIM-DM.....	36
Figura 6. Distribución PIM-SM.	39
Figura 7. Ruta de paquetes multicast con PIM-SM.....	40
Figura 8. Ruta de paquetes multicast con PIM-SM.....	41
Figura 9. Paquete RTP.	43
Figura 10. Perfil de sesión SDP.....	47
Figura 11. Entorno de evaluación.	52
Figura 12. Contenido multimedia a través de sesiones multicast.	57
Figura 13. Contenido multimedia a través de sesiones multicast (2).....	57
Figura 14. Esquema marco Evalvid.	58
Figura 15. Marco de evaluación.....	61
Figura 16. Ancho de banda requerido.....	63
Figura 17. Relación frames P e I enviadas y recibidas.	64
Figura 18. Pérdidas de frames totales en unicast y multicast.	65
Figura 19. Throughput.	66
Figura 20. Media delay de extremo a extremo.....	67
Figura 21. Jitter acumulativo.	68
Figura 22. Media PSNR.	69
Figura 23. Media MOS.....	70
Figura 24. Topología física y lógica Edif. Santander.....	72
Figura 25. Topología física y logica con sistema multicast digital signage Edif. Santander	73
Figura 26. RTP Payload types (PT) for standard audio and video encodings	80
Figura 27. RTP Payload Format media types	81
Figura 28. Paso 1.....	83
Figura 29. Paso 2.....	83
Figura 30. Paso 3.....	84
Figura 31. Paso 4.....	84
Figura 32. Paso 5.....	85
Figura 33. Estructura paquete RTCP.....	86
Figura 34. Servidor de contenidos.	86
Figura 35. Router Cisco 1841-frontal-.....	87
Figura 36. Router Cisco 1841-posterior-	87
Figura 37. Raspberry Pi B+.....	102
Figura 38. Contenido multimedia a través de sesiones multicast (3).	102
Figura 39. Contenido multimedia a través de sesiones multicast (4).	103
Figura 40. Trafico UDP en receptor.	103
Figura 41. Captura IGMP en receptor.....	104

Figura 42 Recepción unicast Digital Signage.105
Figura 43 Recepción unicast Digital Signage (2).106

GLOSARIO

TIC: Tecnologías de la información y las comunicaciones.

QoS: Calidad de servicio.

QoE: Calidad de experiencia.

IPTV: Televisión digital a través de una red.

IP: Protocolo de internet.

UDP: Protocolo de datagrama de usuario.

TCP: Protocolo de control de transmisión.

IGMP: Internet Group Management Protocol.

RFC: Solicitud de comentarios.

TTL: Tiempo de vida del paquete.

SSM: Fuente específica multicast.

DM: Modo denso.

SM: modo disperso.

SPT: Árboles basados en el origen.

RPF: Reenvío de ruta inversa.

RP: Punto de encuentro.

DR: Router designado.

BSR: Router de arranque.

URL: Localizador de Recursos Uniforme.

Buffer: Almacenamiento temporal de información digital

RESUMEN

Este trabajo de grado fue estructurado en siete diferentes capítulos con la intención de presentar un sistema capaz de proporcionar contenido dinámico de Digital Signage a través de protocolos de enrutamiento multicast y recibirlo en plataformas como televisores. Los primeros tres capítulos establecen la magnitud del presente trabajo y se explica por medio del desarrollo de la formulación de problema, alcance del proyecto y objetivos planteados.

El cuarto capítulo hace alusión a la etapa investigativa del proyecto, se presentan conceptos, sistemas, formatos, características, algoritmos y protocolos que resultan importantes en el transcurso del trabajo de grado.

El quinto capítulo suministra la propuesta de implementación desarrollada para cumplir con los objetivos propuestos, realizando así un esquema topológico capaz de emitir contenido dinámico de Digital Signage a través del modo multicast, además de recibir el contenido emitido por medio de un televisor, generando un testbed y marco de evaluación de la propuesta implementada.

El sexto capítulo provee información con respecto al comportamiento del contenido dinámico codificado en diferentes escenarios evaluando las actuaciones dependiendo de las condiciones de red, asimismo dictamina los parámetros de Qos y QoE según los datos obtenidos de las mediciones en el laboratorio.

El séptimo capítulo representa las conclusiones del presente trabajo de grado, orientado a cumplir los objetivos propuestos en el primer capítulo, además dirige algunas recomendaciones y trabajos futuros del proyecto.

Palabras clave: contenido dinámico, SDP, streaming, multicast, Raspberry, servidor de contenidos, RTP, UDP, contenido multimedia.

INTRODUCCIÓN

En la última década el área de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) se ha convertido en la base de crecimiento para las estructuras empresariales del ámbito global. La capacidad de poder compartir cualquier tipo de información ha permitido alcanzar una demanda de competitividad a niveles que hace algunos años no se preveía y el alcance que se puede estimar en el área de las TIC es incalculable. Internet ha permitido reducir notablemente los costes de interconexión entre un punto y otro, pero a su vez el tráfico generado aumenta en capacidad. Debido a este cambio las estructuras empresariales que utilizan las comunicaciones como método proactivo para mejorar el nivel de competitividad han venido cambiando aspectos a nivel telemático, esto se ve reflejado en los servicios que ahora permite la transferencia de cualquier tipo de información como imágenes, texto, video y audio.

A partir de la creación de las redes de difusión y la afluencia de clientes que cada día usan internet, nos encontramos con necesidades que, al día, las redes deben soportar (comunicación, entretenimiento, datos, etc.) y es ahí donde se enlazan las redes de comunicación y contenido multimedia que cada vez aumenta en demanda y popularidad. Para tal situación es de vital importancia diseñar diversas técnicas que cumplan con la demanda que cada día crece exponencialmente teniendo muy presente los servicios multimedia.

En las redes de comunicación existe el modo de transmisión multicast, esta técnica proporciona en forma eficaz el envío de paquetes a múltiples receptores, es decir, un único paquete tiene la capacidad de viajar por la red desde una fuente y en algún punto del árbol de distribución multiplicarse para ser recibido por un número arbitrario de receptores. Este método puede ayudar a disminuir el ancho de banda utilizado por los protocolos de enrutamiento y a su vez la capacidad de procesamiento de los servidores. En comparación con otros modos de transmisión existentes, multicast evita el problema de contaminación de red por paquetes incómodos que terminan siendo inútiles para el enlace, además de contemplar el dinamismo en la gestión de los grupos multicast, donde se abre la posibilidad a usuarios o clientes de un entorno multicast a unirse o dejar el grupo en cualquier instante de tiempo.

Solucionado el tema en capa de internet con el método de transmisión multicast, se destaca la forma en que se envía el contenido que está en la capa de aplicación del modelo OSI, ya que el contenido multimedia también aumenta exponencialmente y para ello se establecen métodos donde se emplean protocolos, estructuras y tecnologías existentes en la actualidad para generar y transcodificar contenido dinámico a contenido multimedia por medio de protocolos de descripción de sesión y entregarlo al destino en tiempo real.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La universidad Santo Tomas está empleando un aplicativo para sistemas de comunicaciones digitales (digital signage) que proporciona contenido multimedia. En su fase inicial el aplicativo se transmite de manera unicast a los dispositivos que lo solicite, esto genera múltiples respuestas desde el lado servidor a peticiones hechas por los usuarios, creando tráfico equivalente de contenido multimedia que viaja a través de la red, por lo cual el ancho de banda del canal debería ser amplio para no generar latencias en la transmisión, y su vez los servidores de contenido deberían ser robustos al soportar solicitudes de peticiones simultaneas para así no afectar el sistema de comunicaciones digitales.

2. JUSTIFICACIÓN

El sistema de comunicaciones digitales (digital signage) transmite información de manera unicast a los dispositivos que desean solicitar la información multimedia alojada en los servidores de contenidos, creando así varios factores que reducen su funcionamiento al momento de integrar todo el sistema.

Uno de los factores principales es el ancho de banda, usando el modo unicast se generan múltiples peticiones equivalentes (desde el lado cliente) de contenido multimedia que viaja por la red hacia los servidores ocasionando latencias en la transmisión y haciendo que el ancho de banda se limite, originando que el canal por donde viaja el contenido se sature.

El siguiente factor tenido en cuenta es la sobrecarga que puede tener los servidores y los dispositivos partícipes en el enlace (switch, router) debido a la cantidad de respuestas a peticiones que debe proporcionar de manera simultánea, todo esto sobrecarga el enlace y reduce notablemente al sistema en su rendimiento.

A diferencia del modo unicast, multicast logra simplificar estos factores disminuyendo el consumo excesivo de recursos en la red, asegurando minimizar los tiempos de latencia, consumo de ancho de banda y aumento de rendimiento en la red

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema para la transmisión multicast de contenido multimedia en una red convergente de un campus universitario.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar un servidor de contenidos multimedia y proporcionar información dinámica a usuarios conectados mediante RTP (protocolo de tiempo real).
- Diseñar una red multicast entre servidor de contenidos y dispositivos finales como TV y PC, para la transmisión de contenido multimedia a través de RTP.
- Configurar reproductores multimedia embebidos en displays como TV o Tablet que soliciten contenidos a través de sesiones multicast usando RTP.

4. MARCO TEORICO

4.1 INTODRUCIÓN MULTICAST

En mayoría, los protocolos de red utilizan transmisión de modo unicast para entregar los paquetes a destino, generando gran cantidad de paquetes duplicados por cada N solicitudes de información por parte de los receptores, es decir, que por cada solicitud de información pedida por el receptor, el emisor debe generar la información cuantas veces sea pedida, si a esto sumamos N receptores, el emisor tendría que generar N respuestas individuales para cada N receptores en la red.

La forma más adecuada para evitar la cantidad de información duplicada que debe generar el emisor es usando el modo multicast (multidifusión), que permite enviar información a múltiples destinos o a una cantidad de destinatarios que pertenezcan a un grupo multicast, con esto el emisor puede enviar datos a muchos destinatarios generando paquetes de datos una sola vez y duplicados a cuantos receptores estén unidos al grupo multicast.

Este modo de transmisión se aplica a servicios que incluye, entre otros la difusión de datos, televisión digital a través de una red (IPTV)¹, distribución en tiempo real, videoconferencias multipunto, educación a distancia, etc. Multicast se caracteriza por permitir aumentar el rendimiento, optimizar ancho de banda, reducir el tráfico entregando un único flujo de información a los destinos que así lo requieran y disminuye la probabilidad de sobrecarga en los dispositivos pertenecientes a la red como router, host o servidores.

Entre las ventajas que podemos encontrar con multicast a parte del rendimiento de los dispositivos que pertenecen en la red y el ancho de banda que proporciona un enlace, también existen unas desventajas que se originan cuando se usa multicast que conlleva a una posible pérdida de paquetes, pero se advierte que todas las aplicaciones que trabajan con multicast no deben esperar que la entrega de paquetes sea confiable, el control de congestión es inexistente y algunos protocolos multicast pueden generar paquetes duplicados que pueden afectar en el rendimiento de la red y la transmisión de paquetes.

IP en su esencia transmite información de manera unicast y no confiable, es decir, que envía paquetes desde una fuente hasta un único destino. Multicast llega como un modo de transmisión que modifica positivamente la manera enviar mensajes, paquetes o datagramas por la red a un número arbitrario de destinatarios, tal como lo es internet.

¹ ACOSTA ESCOBAR, Mauro Antonio y TREMINIO HENRIQUEZ, Jorge Eliseo. Estudio De IP/TV Multicasting Para La Universidad De Bosco. San Salvador.: Universidad Don Bosco, 2007.

4.2 TIPOS DE DIRECCIONAMIENTO

En la actualidad existen varias formas de direccionamiento IP para el envío de paquetes a través de la red, dependiendo del tipo de direccionamiento que se utilice, se tendrán propiedades diferentes que puedan alterar positiva o negativamente en la red².

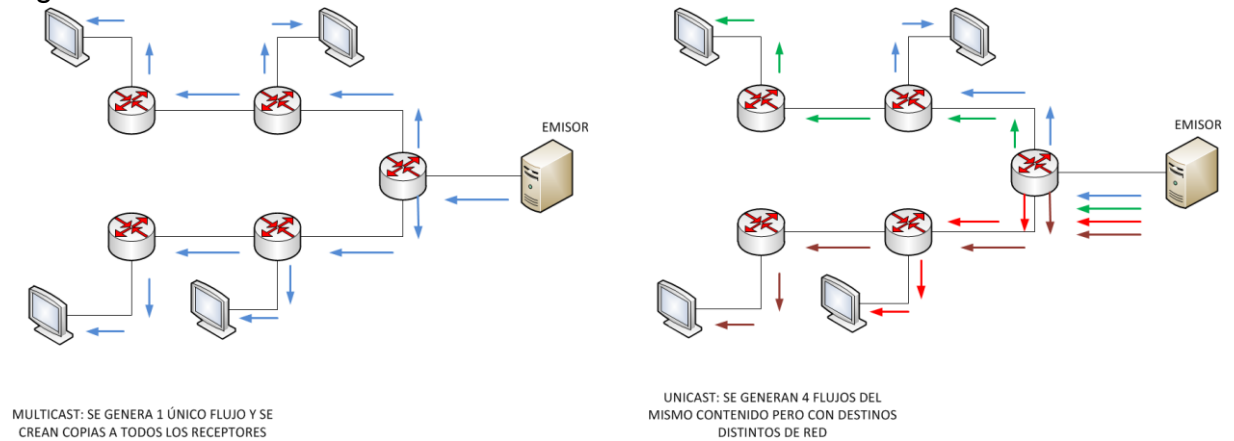
- Unicast (Unidifusión): Como se había escrito en el apartado anterior, unicast es un modo o método que utiliza destinos únicos donde genera N cantidad de paquetes según la cantidad de usuarios, nodos o destinatarios, que así lo requieran. Los protocolos que utilizan este método de transmisión unicast son HTTP (Hypertext Transfer Protocol), smtp (Simple Mail Transfer Protocol), ftp (File Transfer Protocol) o telnet (Teletype Network).
- Broadcast (difusión): Se basa en el envío de paquetes o datos a todos los posibles receptores pertenecientes a una misma red, donde el emisor a diferencia de unicast, envía los datos una única vez a todos los receptores. En IP, se caracteriza por tener una dirección lógica 255.255.255.255 que representa a todos los destinos posibles de manera local.
- Multicast (Multidifusión): Permite el envío de información a un grupo de nodos que estén interesados, como broadcast, envía la información una única vez, con la diferencia que los destinatarios son un grupo arbitrario de receptores que están interesados en recibirla. En base a Albanna³ las direcciones asignadas para multidifusión están en el rango 224.0.0.0 hasta 239.255.255.255, pertenecientes a la clase “D”. La fuente que genera la información envía un único datagrama (desde la dirección lógica unicast del emisor) a la dirección multicast y el router o switch multicapa se encargará de hacer todas las copias de datagramas y enviarlas a todos los receptores que hayan informado estar interesados de recibirlo.
- Anycast: semejante a broadcast y multicast, anycast representa un método de uno a N receptores pero considerando que el receptor es único, es decir, en anycast también hay una asociación de una dirección de destino a varios receptores. La diferencia está en que se selecciona uno de estos receptores para ser el destinatario de la información.

A continuación se mostrará de manera gráfica, la diferencia que existe entre unicast y multicast.

² CISCO. Cisco Networking Academy. [Curso administración de computadores Cisco CCNA] Bucaramanga, Santander. 2014.

³ ALBANNA,Zaid, et al. Iana Guidelines for ipv4 Multicast Address Assignments. IETF. Agosto 2001. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc3171>

Figura 1. Modo unicast vs Modo multicast.



Como se ilustra en la imagen anterior Figura 1, en un escenario donde fluyen datos en gran cantidad y en un tiempo constante, el modo multicast es más eficiente a unicast porque solo realiza un envío de los datos y multicast hace las copias necesarias para que lleguen a su destino final, en consecuencia, el uso a los recursos de la red es menor comparado a la cantidad de recursos que consume en la red con transmisiones unicast, estos recursos se pueden ver reflejados en el ancho de banda. Una de las desventajas que multicast tiene es que usa UDP como protocolo de transporte, esto conlleva a que se pierda esa confiabilidad que TCP sí podría tener.

4.3 DIRECCIONAMIENTO LÓGICO MULTICAST

Según⁴ las redes con modo de transporte multicast utilizan direcciones clase “D”, son aquellas que utilizan los cuatro bits más significativos (1100), como se comentó en el apartado anterior, están en el rango de 224.0.0.0 hasta 239.255.255.255. En este grupo se puede encontrar los miembros activos de forma dinámica que pueden tener estados de conexión o desconexión. Multicast se divide en grupos que pueden ser permanentes o transitorios

4.3.1 Grupo permanente. Las direcciones permanentes son todas aquellas que son asignadas por la IANA (Internet Assigned Numbers Authority) y no depende del número de receptores que pertenezcan al grupo. Se encuentra en el rango 224.0.0.0 hasta 224.0.0.255 y son para uso específico de protocolos, como lo es:

⁴ Ibid., p. 1.

Tabla 1. Asignación de direcciones permanentes.

Dirección permanente	Uso
224.0.0.1	Host con soporte multicast
224.0.0.2	Todos los routers en la subred
224.0.0.4	Routers DVMRP
224.0.0.5	Routers OSPF del dominio
224.0.0.6	Routers OSPF designados
224.0.0.9	Routers RIP-v2
224.0.0.10	Routers IGRP
224.0.0.11	Agentes móviles
224.0.0.12	Agentes DHCP
224.0.0.13	Routers PIMv2
224.0.0.15	Routers CBT (routing multicast)
224.0.0.22	Routers IGMPv3
255.255.255.255	Todos los Host

Fuente: ⁵

4.3.2 Grupo transitorio. Este grupo de direcciones son creadas dinámicamente y dejará de existir cuando no tenga miembros pertenecientes al grupo, este grupo se considera como grupo de receptores, más no de emisores. Existen en el rango de 224.0.1.0 hasta 238.255.255.255 y se asignan de la siguiente manera:

Tabla 2. Asignación de direcciones transitorias.

Dirección transitoria	Uso
224.0.1.1	NTP (Network Time Protocol)
224.0.1.7	Audio News
224.0.1.12	IETF-I-Video
224.0.1.16	Music-Service
224.0.1.39	RP Announce (PIM)
224.0.1.40	RP Discovery (PIM)
224.0.1.41	Gatekeepers (H.323)
224.0.1.52	Directorio VCR de Mbone
224.0.1.68	Protocolo MADCAP
224.2.127.254	Anuncio de sesiones SAP (SDR)

Fuente: ⁶

⁵ Ibid., p. 1.

⁶ Ibid., p. 2.

4.4 PROTOCOLOS MULTICAST

En base a Cain⁷ para enviar paquetes IP (Protocolo de Internet) a través de multicast se sigue un proceso donde el emisor especifica en el encabezado de red la dirección de destino que representa la dirección lógica de un grupo, el proceso de envío de paquetes es igual al modo de transmisión unicast, ya que la capa física no interviene en el modo de transmisión. En primer lugar, los interesados en recibir la información enviada por el emisor deben estar suscritos al grupo multicast, el encargado de comunicar los suscriptores al grupo es el router, además, es el encargado de difundir la información a todos los demás routers vecinos hasta crear el árbol de red. La información referente a la cantidad de clientes o receptores que contiene un grupo multicast no es de interés ni para los routers y tampoco para el emisor que está enviando la información, ya que envía paquetes con destino a una única dirección multicast, y el router es el encargado de hacer copias del mismo paquete al grupo interesado en esa información, por lo tanto la identidad y el número de receptores que tomaron esa información es desconocida por parte del emisor.

En cuanto a los receptores, estos pertenecen a un grupo con una dirección multicast, esa es la identidad que reciben a partir que salen de la subred, esa dirección multicast es gestionada por IGMP (Internet Group Management Protocol), con IGMP los routers saben de la existencia de nuevos destinatarios debajo de sus subredes. Según Cain⁸ IGMP se encuentra en la capa de internet tomando en cuenta el stack TCP/IP o la capa de red tomando como referencia el stack del modelo OSI, esto hace que IGMP esté muy ligado a IP. Para establecer la unión de un receptor a un grupo multicast el router o switch multicapa envía periódicamente mensajes solicitando a los integrantes del grupo que comprueben que pertenecen al grupo, el router envía este mensaje a todos los usuarios que pertenecen al grupo (224.0.0.1), cada usuario o receptor envía una respuesta IGMP reportándose como integrante del grupo y cualquier miembro puede saber cuándo es agregado alguien al grupo, el problema surge cuando las respuestas enviadas por los usuarios se establezca al mismo tiempo ocasionando una congestión a nivel LAN, pero este se logra solucionar designando un retardo aleatorio en los usuarios pertenecientes al grupo.

IGMP se compone de varias versiones establecidas en la RFC 2236 como IGMPv2 y en la RFC 3376 como IGMPv3. Según sea la interpretación, IGMP tiene varios tipos de banderas o mensajes que identifica el estado de los miembros de un grupo. Para abreviar, multicast utiliza tres propiedades fundamentales que esquematizan su funcionamiento, la primera de ellas es la dirección multicast, donde participa un origen y cero o N cantidad de receptores. La segunda

⁷ CAIN,Brad, et al. Internet group management protocol, version 3. IETF. Octubre 2002. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc3376>

⁸ Ibid., p. 2

propiedad son los receptores, que pueden suscribirse al grupo en cualquier momento mediante mensajes IGMP que envían al router local, y la tercera propiedad es la red, que debe tener la capacidad de responder a estos mensajes multicast, proporcionando un camino libre haciendo llegar estos mensajes que el receptor ha solicitado.

4.4.1 Tipos de protocolos multicast. En referencia a la Tabla 3, existen diversos protocolos que cumplen distintas funciones en la red, cada uno de ellos ejerce su trabajo en segmentos de red distintos y forman parte fundamental del modo de transmisión multicast.

Tabla 3. Protocolos multicast.

Protocolo	Función	RFC	OSI
IGMP	Internet Group Management Protocol. Permite gestionar los grupos y sus miembros en un flujo multicast. Los router utilizan este protocolo para realizar consultas de los miembros en una red.	1112, 2236, 3376	Red
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol. Es un protocolo de enrutamiento.	1075	Red
MOSPF	Multicast Extensions to Open Shortest Path First. Es un protocolo de enrutamiento.	1584	Red
PIM-SM	Protocolo Independent multicast – Sparse Mode. Protocolo de enrutamiento.	2362	Red
PIM-DM	Protocolo Independent multicast – Dense Mode. Protocolo de enrutamiento.	3973	Red
PGM	Pragmatic General Multicast. Garantiza que el receptor perteneciente a un grupo puede recibir todos los paquetes o detectar paquetes perdidos irre recuperables.	3208	Red
BGMP	Border Gateway Multicast Protocol. Permite realizar enrutamientos entre dominios.	3913	Aplicación
CBT	Core Base Tree. Protocolo de enrutamiento.	2189	Red

Fuente: ⁹

Respecto a la Tabla 3, todos los protocolos allí mencionados pertenecen a la familia multicast. Cada uno de ellos se distribuye y funcionan en segmentos distintos de red como lo anunciará la tabla a continuación

⁹ PIEDRA OSUNA, Marcos y FRANCO PUNTES, Daniel. Estudio De Los Mensajes De Control Del Protocolo Multicast PIM SM. Barcelona.: Universitat Autònoma de Barcelona. Escola d'Enginyeria, 2013. p. 20.

Tabla 4. Función de protocolos multicast.

Protocolo	Función
IGMP	Gestión de receptores y emisores.
PIM-SM,PIM-DM,DVMRP ,MOSPF	Topología de router a router.
BGMP	Comunicación de router a router entre dominios.
-MADCAP (Multicast Address Dynamic Client Allocation Protocol) -MASC (Multicast Address Set Claim Protocol)	Asignación de direcciones multicast.
-CGMP (Cisco Group Management Protocol) -GMRP (GARP Multicast Registration Protocol) -IGMP snooping -RGMP (Router-Port Group Management Protocol)	Comunicación del router al switch.

Fuente: ¹⁰

4.4.2 TTL multicast. Según Piedra¹¹ los paquetes utilizan un campo TTL (Time To Live) de la cabecera IP con el fin de no generar bucles de paquetes, es decir, que los paquetes tengan un tiempo de vida en la red al ser emitidos, por lo tanto, cada vez que los paquetes pasan a través de un router, el TTL se decrementa en uno, se han definido una serie de valores umbrales para este campo, de tal manera que si el TTL de ese paquete es menor al umbral, el paquete no se transmite. A continuación se ilustra en una tabla los umbrales nombrados en este apartado.

Tabla 5. Valores TTL.

Protocolo	Función
TTL 0	Trafico restringido al mismo host.
TTL 1	Trafico restringido a la misma red.
TTL 32	Trafico restringido a la misma organización.
TTL 64	Trafico restringido a la misma región.
TTL 128	Trafico restringido al mismo continente.
TTL 255	Trafico sin restricciones.

¹⁰ Ibid., p. 21.

¹¹ Ibid., p. 21.

Fuente: ¹²

4.4.3 IGMP. IGMP (Internet Group Management Protocol) es un protocolo que se sitúa en la frontera entre LAN y WAN, es decir que solo circula en el entorno cliente en la red. Para que el tráfico pueda llegar a todos los hosts que desean apuntarse al grupo multicast, es necesario crear un árbol donde circulan las tramas desde el servidor hasta los clientes. Este árbol está conformado por el servidor, los routers, los switches y los clientes. Los routers necesitan disponer de la información acerca de los clientes que pertenecen al grupo, a través de qué interface se accede a ellos, y si se desconectan del grupo o se apuntan más clientes según como lo indica Arribas ¹³

IGMP se encuentra en la RFC 1112 (IGMPv1), 2236 (IGMPv2) y 3376 (IGMPv3). Para gestionar peticiones de los receptores (clientes) a pertenecer a un grupo multicast, IGMP representa e identifica las peticiones a través de mensajes como:

- Query (Router): Este mensaje es usado para conocer qué dispositivo de red forma parte del grupo multicast.
- Report (Host): Se genera como una respuesta de los hosts a una petición “query” informando el emparejamiento al grupo multicast.

La funcionalidad de IGMP permite que el receptor genere un informe de “join” o “prune” (véase 4.5.1) a un grupo multicast de forma dinámica, dicha información se actualiza periódicamente y está almacenada en los routers en una tabla de hosts interesados a los grupos multicast. Los paquetes IGMP se encapsulan dentro de datagramas IP con banderas IP=2, TTL=1 y la opción IP Router Alert en la cabecera del paquete IP, esas tres condiciones hacen que los mensajes IGMP no viajen más allá del router directamente conectado a la LAN del host.

¹² ARCEIZ BAQUERO, Jose Luis. Multicast-mbone. Scribd. [Consultado el 03/172015]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/97331262/MULTICAST-MBONE>. p. 7

¹³ ARRIBAS VALENCIA, Francisco Valencia. Manual Básico De Configuración De Redes Cisco. 2nd ed. Lulu.com, Septiembre 28, 2011. 252 p.

4.4.3.1 Funcionamiento IGMP. En base a Deering¹⁴ cuando un host desea pertenecer a un grupo multicast envía un mensaje IGMP informando el interés de inscribirse al grupo, esta tarea es llamada “Membership Report” o inscripción de grupo. Este mensaje contiene la dirección IP multicast de grupo deseado, y es enviado al router que está conectado directamente a la red local para realizar el registro de inscripción. El paquete IP que encapsula el contenido de inscripción tiene un TTL (Time To Live) igual a 1 (TTL=1) para afirmar que ese paquete IGMP se restringe hasta el primer salto, es decir, que no puede salir más allá de la red LAN y no puede ser enviado por ningún otro router multicast. Lo siguiente es que router local se ponga en contacto con otros routers vecinos reportando la información de registro y seguidamente el almacenamiento en sus tablas. Cuando esté hecho el proceso anterior y el registro al grupo, el receptor solo debe enviar un mensaje informando que pertenece al grupo sin esperar un escaneo por parte del router local. Ya registrado el host y teniendo en cuenta que este proceso se hace de forma dinámica, el router local multidifusión hace un escaneo periódico mediante un mensaje IGMP de pertenencia a grupos (Host Membership Query Message) a los receptores que se encuentran conectados por medio de una red local para determinar qué receptores se mantienen activos al grupo, este mensaje IGMP se envía como un paquete IP con una dirección de destino 224.0.0.1 indicando como destino a todas las maquinas en la red local, además, el mensaje IGMP contiene un TTL=1 para indicar que no debe ser reenviado a ningún otra red y por ningún otro router multidifusión.

Si existe por lo menos un receptor suscrito al grupo multicast, el router local enviará esa información a los routers vecinos, si para cualquier grupo seleccionado, no se reciben informes después de varios escaneos, el router asume que no existen destinatarios activos en su red local y deja de anunciar información de miembros. Hay que tener en cuenta que cada receptor debe enviar una respuesta que pertenece al grupo cuando se genera un “Host Membership Query Message”, ya que cuando un receptor deja de pertenecer a un grupo multicast o por motivos externos se desconecta, no se emite ninguna información de abandono al grupo, es por ese motivo que el router local hace escaneos periódicos de validación al grupo multicast.

¹⁴ DEERING, Steve. Host Extensions for IP Multicasting. August 1989. [Consultado el junio/06/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/rfc/rfc1112.txt>

4.4.3.2 IGMPv1. Como lo indica Deering¹⁵, IGMPv1 básicamente consta de dos mensajes de control. De manera periódica un router multicast envía a la red LAN un paquete “query” en dirección a 224.0.0.1 (todos los hosts de la LAN) con un TTL=1, a respuesta de ese paquete se genera un “report” por parte de un receptor de la LAN que pertenece a ese grupo multicast. El intervalo de tiempo a respuesta de un “query” se establece de manera aleatoria con valores que rondan entre 0-10 segundos, transcurrido ese tiempo se envía un “report” a no ser que ese “report” haya sido enviado por otra estación de recepción anteriormente.

“IGMPv1 tiene el número de protocolo 2. Los paquetes van montados sobre una cabecera IP y solo tienen 8 bytes de carga, allí se indica si es el paquete es un “report” o un “query” un “checksum” además del grupo multicast.

Cuando un cliente quiere formar parte de un grupo puede mandar directamente un “report” a la dirección 224.1.1.1 (todos los routers del grupo)”.¹⁶

Figura 2. Formato de mensaje IGMPv1

0	4	4	8	8	16	16	31
Versión		Tipo		No usado		Checksum	
Dirección clase D							

Fuente:¹⁷

4.4.3.3 IGMPv2. A diferencia de IGMPv1, IGMPv2 como lo indica Fenner¹⁸ admite enviar “queries” y “reports” para un grupo en específico en vez de hacerlo a todos los grupos existentes. A su vez, proporciona un mensaje para abandonar el grupo, además, se puede definir el tiempo máximo para enviar el mensaje “report” entre 1 y 10 segundos, caso contrario en IGMPv1 donde ese tiempo es fijo. Estos mensajes pueden ser de varios tipos:

- Query (General Query).
- Report de un grupo (Group-Specific-Query).
- Report para abandonar un grupo (Leave Group).
- Report versión 1 (Member Report, para compatibilidad con IGMPv1).

El proceso para acceder a un grupo multicast es el mismo que en IGMPv1, como se dijo en el apartado anterior, un receptor puede enviar un “report” a la dirección

¹⁵ Ibid., p. 9.

¹⁶ ARRIBAS VALENCIA, Francisco Valencia. Manual Básico De Configuración De Redes Cisco. Op. cit. 145 p.

¹⁷ DEERING, Steve. Host Extensions for IP Multicasting. Op. cit. p. 10.

¹⁸ FENNER, William C. Internet Group Management Protocol, Version 2. IETF. Noviembre 1997. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc2236>

224.1.1.1, es decir, todos los routers del grupo. El router construye las tablas que identifican a los integrantes de cada grupo multicast utilizando la información que los “queries” y “reports” proporcionan, entonces, cuando recibe un paquete multicast, lo envía por la interface correspondiente.

Con IGMPv2 existe la posibilidad de seleccionar el router que puede enviar los “queries” en una LAN, este se valida seleccionado el router que tenga la dirección IP más alta, al momento de iniciar el proceso, todos los routers envían “queries”, y si alguno de ellos recibe un “query” con una dirección de origen más alta a su propia dirección IP, deja de enviarlos.

Una de las características de IGMPv2 es la capacidad de enviar “queries” a un grupo multicast específico conocido como “Group-Specific Query”, la dirección IP utilizada para enviar los “queries” es la dirección multicast del grupo, mientras que la dirección IP de un “query” general o (General Query) es 224.0.0.1. La administración del grupo multicast es similar a IGMPv1, los “queries” se generan de manera periódica y los receptores o hosts envían el “report” adecuado, mientras que en IGMPv2 los “queries” se pueden enviar de manera general o a un grupo específico.

Una de las diferencias más significativas entre IGMPv1 y IGMPv2 son los mensajes “leave” existentes en la versión 2, estos mensajes son enviados por los receptores a la dirección 224.0.0.2 indicando el grupo que se desea abandonar, a continuación, el router envía un “query” al grupo que quiere renunciar o abandonar el receptor. Dado el caso que algún receptor envíe un “report”, el router mantendrá el grupo multicast, si ningún receptor contesta en un tiempo determinado, se considera que el receptor que ha dejado el grupo era el último del grupo y lo elimina, además, con IGMPv2 se reduce significativamente la latencia en comparación IGMPv1.

Figura 3. Formato de mensaje IGMPv2

0	8	8	16	16	31
Tipo		Max. Resp. Time		Checksum	
Dirección clase D					

Fuente:¹⁹

¹⁹ Ibid., p. 1.

4.4.3.4 IGMPv3. Como lo indica la RFC 3376²⁰, la última versión de IGMP (IGMPv3) incluye soporte para ser “filtrado de fuente”, es decir, es la capacidad que tiene un receptor para informar el interés en recibir paquetes multicast de ciertas, una o todas las direcciones multicast seleccionadas, en lugar de solo una fuente individual (Source-Specific Multicast, SSM), de esta forma se permite el reenvío de tráfico solo de las fuentes que los receptores hayan solicitado en tráfico. Esta característica trae consigo una ventaja, y es que los protocolos de enrutamiento multicast puedan utilizar esa información para prevenir paquetes multicast no deseados a ciertas direcciones de origen a redes donde no existen receptores interesados, además, IGMPv3 es soportado por todas las plataformas IOS de Cisco con versión 12.0 (15)S en adelante.

Dicho filtro puede tener dos modalidades que son:

- **INCLUDE:** El receptor anuncia pertenencia a un grupo y comunica que desea recibir tráfico de las fuentes seleccionadas mediante una lista (la lista INCLUDE).
- **EXCLUDE:** El receptor anuncia pertenencia a un grupo y proporciona la lista de direcciones las cuales no desea recibir tráfico multicast (la lista EXCLUDE), es decir, el receptor recibirá tráfico de fuentes cuya dirección no esté en la lista EXCLUDE. Para recibir paquetes multicast de todas las fuentes al igual que en IGMPv2, se enviará una lista EXCLUDE vacía por parte de receptor.

Como lo anuncia Osuna²¹ existe otro tipo de mensaje que es el Group-and-Source-Specific Query donde es permitido preguntar a los routers qué receptor sigue estando interesado en recibir tráfico multicast de un grupo determinado originado por una fuente en concreto. Estos mensajes se enviarán a la dirección multicast para que lo reciban todos los host asignados a dicho grupo en la LAN. EN IGMPv3 existen mensajes adicionales de consulta y reporte en comparación con la versión anterior, estos mensajes son:

- Query (General Query)
- Report de un grupo (Group-Specific-Query).
- Report específico de origen y grupo (Group-and-Source-Specific Query)
- Report (Member Report)
- Report para abandonar un grupo (Leave Group).

Para IGMPv3 los mensajes “Query” tiene el siguiente formato:

²⁰ CAIN,Brad, et al. Internet Group Management Protocol, Version 3. IETF. Op. cit.

²¹ PIEDRA OSUNA,Marcos y FRANCO PUNTES,Daniel. Estudio De Los Mensajes De Control Del Protocolo Multicast PIM SM. Op. cit. p. 106.

Figura 4. Formato de mensaje IGMPv3

0		8		16		31	
Tipo			Max. Resp. Time		Checksum		
Dirección clase D							
Resv	S	QVR	QQIC		Number of Source (N)		
Fuente de Dirección 1							
Fuente de Dirección 2							
Fuente de Dirección 3							
.							
.							
.							
Fuente de Dirección N							

Fuente:²²

Según la figura 4. El “Max. Resp. Time” es el campo que especifica el tiempo máximo permitido antes de enviar un informe de respuesta, este tiempo es representado en unidades con un rango de 1-10 segundos y se interpreta así:

1. Si el “Max. Resp. Time” es menor a 128, entonces se utiliza el mismo “Max. Resp. Time”
2. Si el “Max. Resp. Time” es mayor o igual a 128, entonces el “Max. Resp. Time” se representa como un “floating-point”, es decir, un exponente y mantisa.

Checksum es el complemento del mensaje “Query” de IGMPv3 que consta de 16 bits y es utilizado para la verificación de errores el encabezado IP.

El campo “Revs (reservado)” se establece en cero cuando existe transmisión, y se ignora cuándo se recibe.

En el campo “S Flag (Suppress Router-Side Processing)” cuando se establece este indicador, señala a los routers que van a suprimir los cambios normales del temporizador.

El campo QVR (Querier's Robustness Variable) si se establece en cero, el campo QVR que se establece es el valor usado por la consulta, es decir, el origen del “Query” si las consultas sobrepasan el numero 7 (el valor máximo del campo QVR), el campo se establece en cero.

El campo QQIC (Querier's Query Interval Code) es utiliza para determinar el valor de intervalo de consulta utilizado por el “querier”. Si el número es inferior a 128, el

²² CAIN,Brad, et al. Internet Group Management Protocol, Version 3. IETF. Op. cit. p. 8.

valor se utiliza directamente. Si el valor es 128 o más, se interpreta como un exponente y mantisa.

El campo “Number of Source (N)” especifica cuantas direcciones de origen están presentes en el “Query”, este número es cero cuando existe un mensaje de consulta general (General Query) (véase 4.4.3.3) o una consulta de grupo específico (Group-Specific Query). Este número está limitado por el MTU (Unidad Máxima de Transferencia) de la red sobre la cual el “Query” se transmite.

4.4.4 Modos routing multicast. Como se describió en la Tabla 4, los protocolos de enrutamiento multicast son los responsables del proceso de envío de la información desde el origen hasta el destino del mensaje, es por eso que tiene gran influencia al momento de diseñar una estructura de red. Dependiendo de las necesidades, existen dos modos de enrutamiento multicast que son de modo denso (Dense Mode) o modo disperso (Sparse Mode).

4.4.4.1 Modo denso (dense mode). En base a Piedra²³ el modo denso es la forma más antigua y sencilla de implementar una red multicast. Fue diseñada para entornos de red donde el ancho de banda es generoso y no hay preocupación por niveles críticos de saturación de red, como consecuencia el modo denso se caracteriza por hacer inundaciones periódicas en la red para la construcción del árbol de distribución. Se conoce como árbol de distribución como el camino por el cual los datos van a fluir desde la fuente hasta el destino, y el modo denso utiliza árboles basados en el origen donde se genera uno por cada destino que exista y se conoce como SPT (Short Path Tree). Una vez se establece el árbol desde el origen hacia el destino, todo el tráfico multicast circulará por el árbol, estableciendo un consumo mayor de memoria en los routers multicast, esto origina que por cada destino el router debe guardar un árbol de origen diferente, por lo cual lo hace un modo dependiente de una red con alta calificación en hardware, además hace que la red no sea escalable y sin la existencia de suficientes recursos la haría ineficiente para soportar gran cantidad y capacidad de datos.

Al ser un modo denso, supone que todos los usuarios que existen en la red quieren participar de un grupo multicast y por consiguiente se lo ofrecen, a no ser que el receptor especifique que no desea esos paquetes, esto ocasiona que en algunos casos la información llegue a nodos o receptores que no la hayan solicitado, por lo tanto es aconsejable utilizar protocolos de modo denso en una red donde existe suficiente ancho de banda. Los protocolos que son de modo denso son:

- DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol).
- MOSPF (Multicast Open Shortest Path First)

²³ PIEDRA OSUNA, Marcos y FRANCO PUNTES, Daniel. Estudio De Los Mensajes De Control Del Protocolo Multicast PIM SM. Op. cit. p. 106.

- PIM-DM (Protocol Independent Multicast-Dense Mode)

4.4.4.2 Modo disperso (sparse mode). Según Acosta²⁴ la evolución del modo denso al modo disperso se generó para evitar que los routers eviten información adicional sobre grupos multicast que no son de su interés, por esta razón se basa en arboles compartidos o arboles de punto de reunión (Rendezvous Point Tree), es decir, que la información generada es enviada por el emisor y centralizada en un punto de reunión por grupo y así se distribuye al receptor, según sea el caso, puede conmutarse y crear arboles de caminos más cortos hacia el emisor.

Al ser de modo disperso, supone que nadie quiere participar de un grupo multicast, esto produce que los receptores soliciten los paquetes multicast, asimismo ocasiona a los protocolos que trabajan con este modo a ser utilizados en redes donde el ancho de banda y el tiempo de distribución sean críticos.

Existe un punto de reunión (RP) donde se centraliza todos los paquetes, por lo tanto todo el tráfico multicast pasará por RP, como consecuencia puede dar lugar a latencias ya que no es garantizado que la ruta escogida sea la más óptima o cercana al origen.

El árbol de distribución se genera a partir de las peticiones que los receptores realizan al RP para unirse al grupo y recibir los paquetes multicast, a medida que aparecen más receptores se va generando el árbol completo de distribución, esto supondrá que los routers no se sobrecarguen con información que no es de su interés. Es recomendable usar el modo disperso cuando el número de receptores no es tan grande y cuando se desea diseñar una red que sea escalable, ya que actualmente, el modo disperso es el más utilizado para internet. Los protocolos que utilizan el modo disperso son:

- PIM-SM v2 (Protocol Independent Multicast-Sparse Mode)
- CBT v2 (Core Based Trees)
- BGMP(Border Gateway Multicast Protocol)

4.5 INTRODUCCIÓN PIM

En base a Acosta²⁵ el protocolo independiente multicast (PIM) se conoce como independiente porque utiliza las tablas de enrutamiento de otros protocolos unicast para realizar el envío multidifusión, independientemente del protocolo de

²⁴ ACOSTA ESCOBAR, Mauro Antonio y TREMINIO HENRIQUEZ, Jorge Eliseo. Estudio De IP/TV Multicasting Para La Universidad De Bosco. Op. cit.

²⁵ Ibid., p, 70.

enrutamiento utilizando PIM es compatible con Borde Gateway Protocol (BGP), Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGPR) y Open Shortest Path First (OSPF), esta característica lo hace apetecible al momento de tener tráfico multicast viajando por las redes de internet, ya que no necesita crear su tabla topológica de enrutamiento, y esto genera menos carga de procesamiento para los routers.

Como enunciamos en los apartados anteriores (véase 4.4.4.1 Y 4.4.4.2) PIM trabaja en cualquier modo multicast, sea modo denso con PIM-DM o modo disperso con PIM-SM

4.5.1 Árboles de distribución multicast. Los árboles de distribución multicast tienen la función de definir el camino al cual los datos van a fluir desde la fuente hasta el destino, estos árboles son dinámicos ya que las fuentes y los participantes varían en el tiempo. Existen dos técnicas para la actualización constante y son: Podado (prune, en inglés) que elimina un receptor del árbol de distribución y unión (join, en inglés) o injerto (graft, en inglés) que añade un receptor al árbol de distribución.

Existen dos tipos de árboles de distribución y son:

- Árboles basados en origen (SPT)
- Árboles de punto de reunión o árboles compartidos. (RPT)

Cabe aclarar que los protocolos multicast que trabajan en modo denso utilizan el los arboles basado en origen (SPT) y los protocolos multicast que trabajan en modo disperso lo hacen con árboles de punto de reunión o arboles compartidos (RPT).

4.5.2 PIM-DM. PIM-DM (Protocol Independent Multicast-Dense Mode) al utilizar modo denso, implica que todos los routers que están en la red estén interesados en recibir el tráfico multicast e inundar la red con datagramas de control para generar el árbol basado en el origen sin bucles.

PIM-DM es usado en entornos pequeños, y se caracteriza por optimizar al máximo los arboles de distribución, algo que no es favorable para la red, al ser el primero que se estandarizó y se utilizó en internet, lo hace un protocolo relativamente simple de usar y con problemas de escalabilidad debido a que cada router debe mantener información de todas las “ramas” que cuelgan y colgaron de el en su momento, sumando esa carga con muchos routers pertenecientes a la misma red generaría una red muy deficiente para transferir datos multicast.

4.5.2.1 SPT. Según Hernández²⁶ los árboles basados en el origen o SPT es la manera por la cual los protocolos multicast de modo denso generan los árboles de distribución en la red, esto representa la necesidad de tener varios árboles de distribución para cada origen multicast que conecta el origen con los receptores. Dependiendo del protocolo de enrutamiento, SPT utiliza la métrica para identificar el camino más corto hacia el destino, si la métrica es por saltos (hops), la ruta más corta será que tengan menos saltos hacia el destino, sino es así se calculará según el ancho de banda acumulativo de origen a destino. La inundación con datagramas de control se realizan cada tres minutos en la red y al momento en que un router deje de pertenecer a un grupo se enviará un mensaje de podado “prune” (véase 4.5.1) para anunciar que esa rama no va a estar unida a la red multicast y se actualizará nuevamente el árbol de distribución enviando nuevos datagramas de control anunciando la desunión de esa rama a la red. Esta técnica de inundación es conocida como “flooding”, básicamente consiste enviar paquetes a todos los routers que pertenecen a la red, exceptuando el camino por donde se recibieron los paquetes. Cuando un router admite un paquete multicast primero revisa si ese paquete que recibió es la primera vez que lo procesa o si había llegado anteriormente, en el caso que sea la primera vez que lo recibe lo enviará por todas las interfaces disponibles a los demás routers vecinos menos por la interface por cual recibió ese paquete, en caso contrario, ese paquete será descartado. De esta forma se asegura que un router reciba una sola vez el paquete multicast.

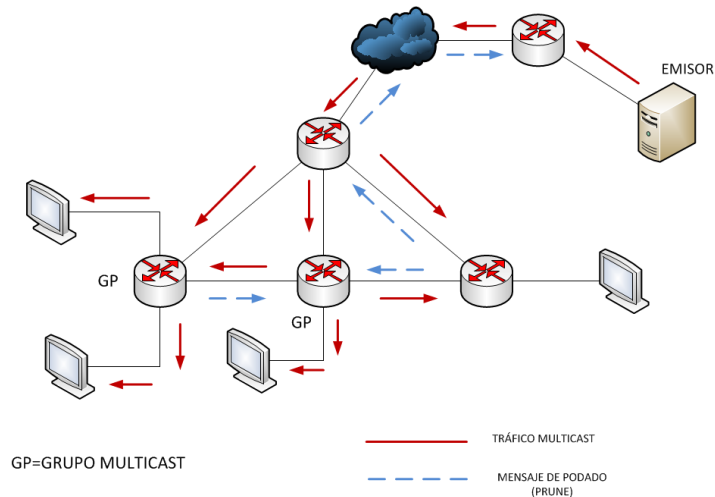
Es importante destacar que “los nodos con árboles de ruta de acceso más corta tienen una entrada (S, G) con una lista de interfaces salientes, donde S es la dirección de origen y G el grupo de multidifusión”²⁷.

La siguiente imagen ilustra la forma que STP influye en el funcionamiento de PIM-DM como protocolo de enrutamiento multicast.

²⁶ HERNANDEZ, Ignacio; SANGUINETTI, José Carlos y LOMBIDE, Alejandro. Ingeniería De Tráfico Para Multicast Sobre MPLS. Montevideo.: Universidad de la república. Facultad de ingeniería. Instituto de ingeniería eléctrica, 2005. p. 35.

²⁷ Ibid., p. 16.

Figura 5. Distribución PIM-DM.



Fuente:²⁸

Analizando la Figura 5, los datos que surgen desde el emisor, inundan toda la red suponiendo que todos los receptores desean tráfico multicast, cuando un router no desea recibir paquetes multicast, envía mensajes “prune” (podar en español) rechazando ese paquete hasta llegar al router donde se inició el tráfico multicast (first-hop), dando como resultado que el router donde se generó el tráfico no envíe más datos hacia la rama del árbol que ha sido podada.

Dado caso donde un destinatario que no pertenece al grupo multicast desee unirse al mismo, enviará un mensaje IGMP hacia su “first-hop router” comunicando la unión o deseo de unirse al grupo, los router vecinos y contiguos enviarán mensajes “join” (unión en español) hacia el router que generó el tráfico multicast para invalidar los mensajes “prune” y suscribir esa rama al grupo multicast.

Es válido afirmar que STP crea un árbol de distribución por cada receptor existente en la red, además, calcula y escoge la ruta más cercana al destino a través de la métrica de saltos o por velocidad del enlace, garantizando un tiempo mínimo de latencia (retardo), pero al usar STP obtenemos una contraparte a través del router, debido a que requiere mantener una tabla de distribución para cada grupo multicast que exista en la red generando una falta de memoria en las tablas de enrutamiento.

²⁸ Ibid., p. 35.

4.5.2.2 RPF. Para evitar bucles en la primera inundación, los router ejecutan el RPF check (Reverse Path Forwarding check). El RPF es una forma de evitar los bucles por inundación tanto en PIM-DM (Dense Mode) y PIM-SM (Sparse Mode o modo disperso), que consiste en tener en cuenta previamente unos parámetros antes de reenviar un paquete por inundación según y en base a Fernández²⁹:

1. El enrutador sólo admite un paquete originado desde la fuente por medio de una interface solo si esa interface es la escogida por el enrutador para llegar al paquete de origen.
2. Define una ruta adecuada a través de la tabla de enrutamiento unicast.
3. Si pertenece al camino más corto a continuación se enviará el paquete por todas las interfaces disponibles menos por la que recibió la información.
4. Dado el caso que la interface por la que llegó la trama no es la que corresponde para llegar al destino la trama se descarta, esto indica que el paquete solo se envía por el canal en una oportunidad.

4.5.3 PIM-SM. El protocolo independiente de multidifusión de modo disperso (PIM-SM), está diseñado para establecer árboles de distribución por medio de redes WAN (Wide Area Network). El modo disperso hace referencia a la dispersión de receptores uno del otro, sin embargo esto no es limitante para que se pueda utilizar en redes LAN (Local Area Network).

Es viable utilizar PIM-SM cuando los miembros del grupo comprenden un área prolongada para la transmisión de paquetes y evitar que la métrica de saltos o de velocidad asuma esa responsabilidad, asimismo se puede emplear cuando la red no cuenta con los recursos suficientes como un ancho de banda elevado o hardware potente para procesar información y transmitir datos multicast:

Como lo indica Hernández³⁰ se diseña una red multicast con PIM-SM cuando se desean cumplir los siguientes objetivos:

- No alterar el modelo de host. PIM-SM es un protocolo de enrutador a enrutador, lo que significa que los hosts no tienen por qué actualizarse, pero deben distribuirse en la red de routers compatibles con PIM-SM
- Permitir tanto árboles compartidos como de distribución de origen. Con los árboles compartidos, PIM-SM utiliza un router central, denominado punto de reunión (RP, Rendezvous Point), como raíz del árbol compartido. Todos los hosts de origen envían el tráfico de multidifusión al punto de reunión que, a su vez, reenvía los paquetes a través de un árbol común a todos los miembros del grupo. Los árboles de origen conectan directamente los orígenes con los receptores. Hay un árbol

²⁹ FERNÁNDEZ, Jorge. Multicast. CCAPITALIA. Agosto 2009. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: <http://www.ccapitalia.net/?cat=15&paged=2>

³⁰ HERNÁNDEZ, Ignacio; SANGUINETTI, José Carlos y LOMBIDE, Alejandro. Ingeniería De Tráfico Para Multicast Sobre MPLS. Op. cit. p. 20.

independiente para cada origen. Desde la perspectiva de las tablas de enrutamiento de unidifusión, los árboles de origen se consideran árboles de ruta de acceso más corta. PIM-SM puede utilizar cualquier tipo de árbol o ambos simultáneamente.

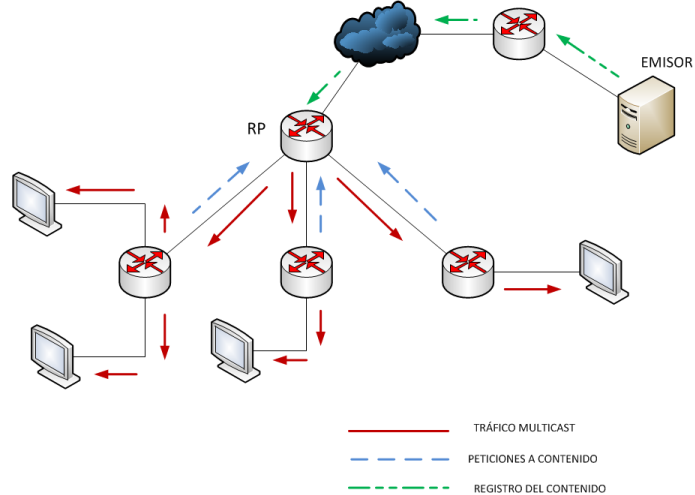
- Conservar la independencia de cualquier protocolo de enrutamiento de unidifusión (OSPF, EIGRP, BGP)
- Utilizar mecanismos de estado flexible para adaptarse a las condiciones de red y a las dinámicas de grupos de multidifusión cambiantes. Estado flexible significa que, a menos que se actualice, la configuración del estado del router es a corto plazo y que caduca después de un cierto tiempo.

4.5.3.1 RPS. Como dice Piedra³¹ en PIM-SM se elimina el concepto de inundación para establecer un árbol inicial ya que PIM-SM establece el árbol inicial con un punto de encuentro (Rendezvous point, RPs) donde los emisores se registran (join, véase 4.5.1) y los receptores van a hacer la petición acerca del contenido, estos mensajes “join” se envían por medio de IGMP (véase 4.4.3), la solicitud “join” es procesada por todos los routers intermedios que están entre el router central (RP) y los receptores, a medida que la petición va ascendiendo hacia el RP (topológicamente) se crea el árbol, logrando minimizar la cantidad de información de estado en los routers y se mantiene solo información de estado (*,G), donde * es la dirección IPv4 del RP (Rendezvous Point) o centro de reunión de emisores y G es la dirección IPv4 del grupo o grupos multicast, según sea el entorno de red.

Dado el caso que los routers intermedios el cual recibe esa petición ya pertenezcan al árbol de ese grupo multicast, comprobará la interface por la que ha recibido la petición y verificará su estado (si está asociado al grupo o no), sino está lo asociará, es decir, añadirá otra rama al árbol compartido, caso contrario, si el router no forma parte del árbol calculará cual es la ruta más cercana por donde enviar esa petición a otro router que esté camino al RP, una vez hecho este procedimiento se distribuirá la información multicast a los receptores. Además PIM-SM logra fijar un umbral de tráfico multicast a partir del cual los routers conmutan de árbol compartido con raíz en el RP (Rendezvous Point) a árboles basados en el origen (STP) (véase 4.5.2.1).

³¹ PIEDRA OSUNA, Marcos y FRANCO PUNTES, Daniel. Estudio De Los Mensajes De Control Del Protocolo Multicast PIM SM. Op. cit. p. 106

Figura 6. Distribución PIM-SM.



Fuente: ³²

Según la Figura 6 se afirma que en PIM-SM los mensajes “Join” o “Prune” (véase 4.5.1) son enviados a través de la interfaz que apunta la ruta unicast hacia el “Rendezvous Point”. El encabezado de dirección para los mensajes (Join, Prune) es la dirección multicast de PIMv2. El próximo router, según el mensaje recibido, determina la distribución y el destino de los mensajes “Join” o “Prune”.

El árbol compartido (RPs) que utiliza PIM-SM es unidireccional, por lo tanto, la información viajan desde el punto de reunión o router RP hacia los receptores, asimismo, si un receptor simboliza al mismo tiempo un origen, no podrá usar ese árbol para enviar paquetes multicast al punto de reunión, solo podrá ser utilizado para recibir paquetes internamente. Todo el tráfico que circula por la red se envía al RP y a través del árbol de distribución (RP Tree), se reenvían a los receptores, mejorando la ruta que va a seguir los paquetes multicast.

Los arboles con estas características sufren retrasos debido al envío de los paquetes al punto de reunión para ser distribuidos, pero en sí cargan con una ventaja de mantener menos información de estado en el router. Los entornos adecuados para transmitir información con estos tipos de árboles de distribución son como lo dice Hernández³³:

- Redes con gran aglomeración de orígenes de datos a velocidades mínimas.
- Aplicaciones que admiten latencias.
- Redes donde existe solapamiento en los árboles de origen.

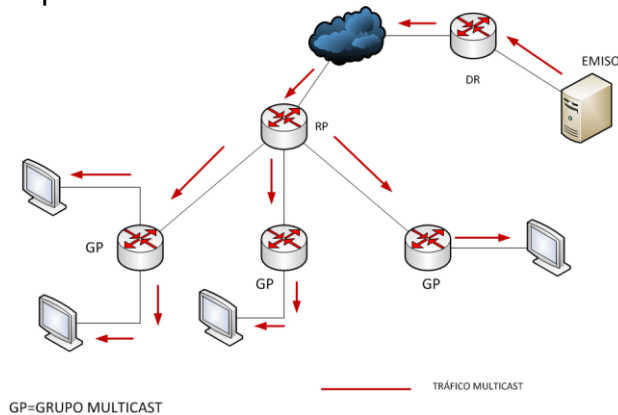
³² Ibid., p. 106

³³ HERNÁNDEZ, Ignacio; SANGUINETTI, José Carlos y LOMBIDE, Alejandro. Ingeniería De Tráfico Para Multicast Sobre MPLS. Op. cit. p. 35.

4.5.3.1 Profundizando PIM-SM: Como lo dice Acosta³⁴ PIM-SM puede soportar el uso simultáneo de árboles RPs y STP, lo que puede ayudar a transmitir aplicaciones basadas en conferencias con una calidad de servicio mayor a sistemas unicast, en este orden de ideas, RPs se podría utilizar para paquetes de mantenimiento de conexiones abiertas ya que esos datos se envían a baja velocidad, así mismo, STP se utilizaría para los orígenes de la información multicast debido a la gran cantidad de datos enviados.

Desde que se genera los paquetes multicast, deben seguir una ruta particular, cuando el router DR (Designated Router) recibe los paquetes multicast con destino a grupo multicast en particular, el DR encapsula los paquetes y lo reenvía como un paquete multicast hacia el RP que es por donde circula todo el tráfico multicast. El RP desencapsula esos paquetes y lo reenvía a los receptores. Así se crea el árbol de distribución RPT resaltando la ruta desde el origen de los datos hasta el destino (receptores).

Figura 7. Ruta de paquetes multicast con PIM-SM.



Fuente:³⁵

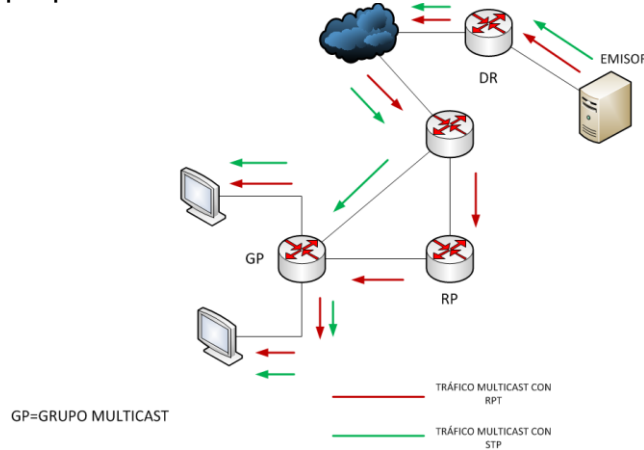
Como se había descrito anteriormente en apartados anteriores, SPT es sumamente útil al momento en que el tráfico aumenta provocando la necesidad de una ruta alternativa que sea más eficiente con respecto a la ruta RPT. Con RPT se define un umbral dado el instante donde el tráfico multicast supera ese límite, causando el cambio de RPT a SPT, dicha variación se realiza después de recibir el primer paquete multicast solicitado por un receptor, por otra parte, RPF conoce la ruta más corta hacia el origen del grupo. Entre tanto el router deja de utilizar el RPT para usar el SPT y generar una ruta desde el emisor hacia el receptor. En ese instante, cuando el router recibe los paquetes multicast a través de SPT, envía un mensaje “prune” al RP para que deje de enviar tráfico por esa ruta, una vez

³⁴ ACOSTA ESCOBAR, Mauro Antonio y TREMINIO HENRIQUEZ, Jorge Eliseo. Estudio De IP/TV Multicasting Para La Universidad De Bosco. Op. cit.

³⁵ Ibid., p. 70

cambiado el estado de árbol, se disminuyen los retrasos de recepción en los datos.

Figura 8. Ruta de paquetes multicast con PIM-SM.



Fuente:³⁶

Los dispositivos partícipes en la creación del árbol RTP son el DR (Designated Router), RP (Rendezvous Point) y BSR (Bootstrap Router). El DR es el encargado realizar la comunicación con el RP, indicándole los estados en las fuentes de datos y receptores, el DR se comunica a través de direcciones multicast y es indispensable en una red para no generar múltiples adyacencias. El proceso de elección del DR se designa por medio de la prioridad de la interface, sino existe, entra el ID del router, sino la loopback. Si ninguno de estos parámetros está presente se establece a través la de dirección IP más alta de la sub red. El BSR mantiene todos los routers que se encuentran en el dominio PIM-SM informados del reciente RP para cada grupo multicast, el proceso de descubrimiento lo hace de la siguiente manera:

1. "Conoce todos los C-RP (Candidate Rendezvous Points) por medio de los propios C-RP. Los C-RP se hacen conocer mediante un mensaje "C-RP-Advs" (C-RP Advertisement) que lo realiza periódicamente el propio C-RP.
2. Distribuye la información de todos los C-RP a todos los routers PIM-SM del dominio. Esto es seguido por una asignación de un grupo multicast específico o un rango de grupos del C-RP en el dominio"³⁷.

El router recibe los BSM (Bootstrap messages), los almacena y en el instante que el DR se comunique con el RP mediante mensajes IGMP utilizará la función Hash para conocer la dirección IP de RP, es en ese instante el DR podrá enviar los mensajes de "join" o "prune" hacia el RP. En cuanto a la designación del BSR, se

³⁶ Ibid., p. 70

³⁷ PIEDRA OSUNA, Marcos y FRANCO PUNTES, Daniel. Estudio De Los Mensajes De Control Del Protocolo Multicast PIM SM. Op. cit. p. 40.

genera a partir de un mecanismo de selección simple y muy similar a la designación del DR. La elección se produce con el router que tenga la prioridad más alta. Si existen múltiples candidatos con la misma prioridad, entra en juego el que tenga la dirección IP más alta³⁸.

A continuación se ilustrará una tabla con información referente acerca de los protocolos de enrutamiento multicast, el tipo de algoritmo para crear el árbol de distribución y así generalizar la información descrita en los apartados anteriores.

Tabla 6. Resumen multicast.

Protocolos	Modo	Algoritmo
DVMRP	DENSO	RPF
MOSPF	DENSO	DIJKSTRA
PIM-DM	DENSO	STP
BGMP	DISPERSO	RP
PIM-SM	DISPERSO	RP
CBT	DISPERSO	RP

Fuente:³⁹

4.6 RTP

Real-time protocol (RTP), es un protocolo establecido de transporte que proporciona transmisiones de datos (audio y video) en tiempo real para redes de extremo a extremo proporcionando servicios en modos unicast o multicast, por lo tanto, al ser transmisiones en tiempo real utiliza UDP (*user datagrama protocol*) para obtener un menor retardo y ganar velocidad en la entrega de los datos al otro extremo, así, se sacrifica la confiabilidad que TCP puede proporcionar. Debido a esto, RTP no garantiza calidad de servicio, entrega de todos los paquetes, ni entrega ordenada de los datos como lo anuncia Jacobson⁴⁰

³⁸ ACOSTA ESCOBAR, Mauro Antonio y TREMINIO HENRIQUEZ, Jorge Eliseo. Estudio De IP/TV Multicasting Para La Universidad De Bosco. Op. cit. p. 70

³⁹ Ibid., p. 85.

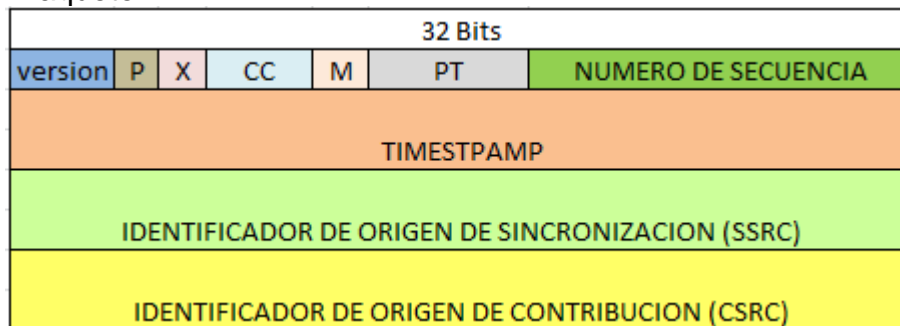
⁴⁰ JACOBSON, Van, et al. Rtp: A Transport Protocol for Real-Time Applications. IETF. Julio 2003. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: <http://tools.ietf.org/html/rfc3550>

4.6.1 Funcionamiento RTP. La función básica de RTP es multiplexar varios flujos de datos en tiempo real en un solo flujo de paquetes UDP, pudiéndose enviar tanto a un solo destino (unicast) o múltiples destinos (multicast). Los paquetes son numerados de la siguiente manera: se le asigna a cada paquete un número mayor que su antecesor. Esto será útil para que la aplicación conozca si ha fallado algún paquete o no en la transmisión. Si ha fallado, al no tener un control de flujo, de errores, de confirmaciones de recepción ni de solicitud de transmisión, la mejor opción es la interpolación de los datos⁴¹.

Uno de los objetivos de RTP es la eficiencia en el contenido, para que se cumpla este objetivo, la multiplexación debe ser mínima, dicha multiplexación está compuesta por la dirección de red y número de puerto que debe ser diferente para cada sesión RTP que viaje por la red.

4.6.2 Encabezado RTP. El encabezado RTP consiste en 3 palabras de 32 bits el cual tiene el siguiente tipo de formato.

Figura 9. Paquete RTP.



Fuente: ⁴²

Los campos proporcionados según la Figura 9 se dan a definir así:

- *Version*: número de versión del campo(2 bits)
- *Padding (P)*: marca si el paquete se ha rellenado a un múltiplo de 4 bytes. (1 bit)
- *Extension (X)*: indica el origen de un encabezado de extensión. (1 bit)
- *CSRC count (CC)*: indica la cantidad de orígenes de contribución existentes, de 0 a 15 (4 bits)
- *Marker (M)*: marcador específico de aplicación, usualmente marcador de inicio(1 bit)
- *payload type (PT)*: especifica algoritmo de codificación (7 bits)
- *Numero de secuencia*: contador de los paquetes RTP (16 bits)
- *timestamp*: marca el momento que se creó la primera muestra en el paquete. (32 bits)

⁴¹ CABEZAS,Gil. Protocolo De Transporte En Tiempo Real -RTP-. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: <http://www.uco.es/~i62gicaj/RTP.pdf>. p. 3.

⁴² JACOBSON, Van, et al. Rtp: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Op. cit. p. 12.

- **SSRC:** procedimiento para multiplexar/demultiplexar flujos de datos en un flujo de paquetes UDP. (32 bits)
- **CSRC list:** es utilizado cuando existen los mezcladores, además, el mezclador es el origen de sincronización, por lo tanto los flujos que se mezclan se listan en este campo.

De los diferentes campos enunciados anteriormente, cabe resaltar “timestmap” en aplicaciones de contenido multimedia, ya que permite al origen reunir una marca de tiempo con la muestra de cada paquete, estas marcas de tiempo son subjetivas al inicio del flujo, así que solo importa las diferencias entre esas marcas de tiempo, en este orden de ideas, el receptor es capaz de almacenar un buffer e ir reproduciendo cada muestra en un número exacto de milisegundos, acotando los efectos de sincronismo.

Existe una tabla (ver Anexo A) de parámetros que recomienda la IANA (Internet Assigned Numbers Authority) acerca de los tipos de carga útil (PT) para las codificaciones de audio y video, a su vez Schulzrinne ⁴³ define cómo los datos de audio y video se pueden transmitir en RTP definiendo unos parámetros estándares de codificación cuando se emite en tiempo real. En cuanto aplicaciones, RTP es frecuentemente utilizado en servicios como VoIP, video conferencias, VOD (videos bajo demanda) o emisiones multimedia en tiempo real como IPTV entre otros.

4.7 RTCP.

En base a Jacobson⁴⁴ *Real-time protocol control* (RTCP) como su nombre en inglés lo indica es un protocolo de control de los datos emitidos para RTP. Se basa en la transmisión periódica de paquetes de control a todos los participantes pertenecientes a la sesión brindando información acerca de los datos emitidos desde la fuente. RTCP debe multiplexar los datos (audio y video) por medio de un puerto subyacente al que utiliza RTP, por lo tanto, RTCP es el encargado de proveer retroalimentación de la calidad del servicio

4.8 SDP

“Session Description Protocol” es un formato de descripción de sesión que especifica los parámetros de inicialización en flujos multimedia con el propósito de transmitir flujos de información multimedia estableciendo facetas como anuncio de sesión, invitación de sesión y negociación de parámetros, asimismo enviarlas a través de la red permitiendo a los clientes participar en la sesión, por lo tanto, SDP

⁴³ SCHULZRINNE, Henning y CASNER, Stephen. RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. IETF. Julio 2003. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: http://tools.ietf.org/html/rfc3551?christopljw_session=hfoco9qkna21qrlnq0fe9qisq6

⁴⁴ JACOBSON, Van, et al. Rtp: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Op. cit. p. 23.

no se encarga de entregar los contenidos al cliente, sino de formar un perfil de sesión al usuario.

Según Handley⁴⁵ SDP transita en entornos de aplicación como SIP, streaming de video, Email, www y sesiones multicast en la cual se incluye las siguientes descripciones:

- Nombre de la sesión y propósito.
- Duración de la sesión.
- Medio de comunicación de la sesión.
- Información necesaria (dirección, puerto, formato) para recibir la sesión.
- Información del uso de ancho de banda para la sesión.

Para formar un perfil SDP no es necesario establecer todas las líneas fijadas para el mismo, pero sí algunos son de uso obligatorio y deben seguir el mismo orden.

Tabla 7. Parametros de sesión.

Sesión	Descripción	Uso
las sesiones marcadas con "*" son de carácter opcional		
V	Versión de protocolo.	V =<versión>
O	Indicador y sesión de indicador.	o=<username> <sess-id> <sess-version> <nettype> <addrtype> <unicast-address>
S	Nombre de sesión.	s=<session name>
I*	Información de sesión.	i=<session description>
U*	URI de descripción.	u=<uri>
E*	Dirección email.	e=<email-address>
P*	Número telefónico.	p=<phone-number>
C*	Información de conexión.	c=<nettype> <addrtype> <connection-address>
B*	Línea de información ancho de banda.	b=<bwtype>:<bandwidth>
Z*	Ajustes de zona horaria.	z=<adjustment time> <offset> <adjustment time> <offset>
K*	Llave criptográfica.	k=<method>:<encryption key>
A*	Líneas de atributo de sesión.	a=<attribute>:<value>
M	Tipo de formato y número de puerto.	m=<media> <port> <proto> <fmt>
T	Duración de tiempo de la sesión activa.	t=<start-time> <stop-time>
R*	Cantidad de repeticiones de la	r=<repeat interval> <active duration>

⁴⁵ HANDLEY, Mark, PERKINS, Colin y JACOBSON, Van. SDP: Session Description Protocol. IETF. julio 2006. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: <http://tools.ietf.org/html/rfc4566.html>

sesión.	<offsets from start-time>
---------	---------------------------

Fuente:⁴⁶

Con respecto a la tabla 7 es válido decir que para cada parámetro de sesión existen etiquetas específicas que corresponden a diversos significados puntuales los cuales se definen a continuación.

Tabla 8. Etiquetas de sesión.

Etiqueta	Descripción
<versión>	Indica la versión del SPD, 0 es el menor valor.
<username>	Es el inicio de sesión de usuario en el host, si es "-" indica que admite el concepto de identificadores de usuario.
<sess-id>	Es un string de valor numérico, indicador global único para la sesión.
<sess-version>	Corresponde a la versión del SPD.
<nettype>	Indicador que da el tipo de red, valor por defecto "IN" que significa internet.
<addrtype>	Cadena de texto que indica el tipo de protocolo de internet a usar "IP4" "IP6".
<unicast-address>	Es la dirección del servidor el cual creó la sesión.
<session name>	Campo de texto para el nombre de la sesión.
<session description>	Campo que proporciona información textual sobre la sesión.
<uri>	Dirección URI semejante a una dirección web.
<email-address>	Dirección Email.
<phone-number>	Número telefónico.
<connection-address>	Sub campo que contiene la dirección de red utilizada (multicast, unicast).
<bwtype>	Modificador alfanumérico de clase "CT" y "AS".
<bandwidth>	Valor del ancho de banda establecido.
<adjustment time> <offset>	Ajustes de tiempo, es muy utilizada en países los cuales tienen las 4 estaciones del año debido a los cambios que las mismas proporcionan.
<adjustment time> <offset>	
<start-time>	Tiempo en que inicia la sesión, si es cero indica que es indefinida.
<stop-time>	Tiempo en que finalice la sesión, si es cero indica que es ilimitado.
<repeat interval>	Intervalo de repetición representado en segundos.
<active duration>	Tiempo de duración el cual la sesión esta activa, se representa en segundos.
<offsets from start-time>	Parámetros opcionales para R*.

⁴⁶ Ibid., p. 16.

<method>	Mecanismo utilizado para obtener la clave de cifrado codificada, los métodos son: clear, base64 y uri.
<encryption key>	Varía según el método de codificación utilizado.
<attribute>	Es el medio principal para extender SDP, se pueden definir como atributos de nivel de sesión o a nivel de medios o ambos.
<value>	Valor del atributo.
<media>	Tipo de formato definido, en la actualidad existe: audio, video, texto, aplicación y mensaje.
<port>	Puerto por el cual se envía los formatos.
<proto>	Protocolo de transporte utilizado para enviar los formatos.
<fmt>	Sub campo que hace descripción del formato, es dependiente del sub campo <proto>.

Fuente:⁴⁷

De la Tabla 8 es posible decir que SDP incluye el protocolo de transporte utilizado, tipos de codec de video, direcciones multicast o unicast, tipo de puerto entre otros, esta información varía dependiendo del modo de transporte que se utilice (multicast o unicast), por lo tanto un perfil de sesión multicast puede tener las siguientes especificaciones:

Figura 10. Perfil de sesión SDP.

```
v=0
o=- 0 0 IN IP4 127.0.0.1
s=No Title
c=IN IP4 239.255.0.1/5
t=0 0
a=tool:libavformat 54.6.100
m=video 5004 RTP/AVP 96
b=AS:752
a=rtpmap:96 H264/90000
a=fmtp:96 packetization-mode=1; sprop-parameter-sets=Z2QAFKzZQUH7ARAAAFQAAF2oPFCmWA=, aovssiw=
m=audio 5006 RTP/AVP 97
b=AS:128
a=rtpmap:97 MPEG4-GENERIC/44100/2
a=fmtp:97 profile-level-id=1;mode=AAC-hbr;size-length=13;index-length=3;index-delta-length=3; config=1210
```

Fuente: ⁴⁸

4.9 DIGITAL SIGNAGE

Digital signage es un conjunto de técnicas compuestas y unificadas a fin de proveer contenido dinámico a una red de pantallas (LED, LCD, plasma, etc.) con capacidad de ajustar la información de acuerdo a las necesidades del cliente combinando múltiples tecnologías (imágenes, RSS, señal de TV, texto, streaming de video, presentaciones, películas y HTML) zonificando la información en una o

⁴⁷ Ibid., p. 9.

⁴⁸ Ibid., p. 9.

múltiples pantallas que son administradas remotamente a través de internet con capacidad de programar el contenido según las pautas de tiempo establecidas para proporcionar la información en tiempo real y no real. Esta tecnología puede ser aplicada en empresas, hoteles, instituciones públicas, hospitales, colegios, universidades, casinos, restaurantes, entre otros, por lo tanto, el funcionamiento de digital signage es distribuido en diferentes etapas en base a⁴⁹, que son:

1. Elaboración: Es una faceta donde se genera el contenido, a su vez se define la clase de contenido y la edición del contenido para ser difundido.
2. Gestión: La información generada pasará a ser programada dispuesta ser difundida en un espacio de tiempo asignado.
3. Distribución: En esta etapa el contenido es asignado a las pantallas de reproducción desde el servidor central.
4. Difusión: el contenido es visualizado a través de las pantallas.

4.9.1 Contenido dinámico. El contenido dinámico o contenido multimedia es el método más competente para suministrar al usuario mensajes de gran impacto en forma de animaciones, es decir, presentar al cliente imágenes estáticas, video y texto comprendidos en un servicio que proporcione información que impacte al usuario final, por lo tanto, es el factor principal que ofrece las empresas por medio de carteleras digitales para dar información directa de sus productos, noticias, eventos o servicios en tiempo real, dicho contenido puede ser administrado a través de internet o remotamente. Para generar el contenido dinámico es necesario acoplar el contenido, asimismo, transcódicarlo en formatos SDP a través del servidor de streaming y enviarlos por medio de la red multicast hasta el cliente, además, para ofrecer el servicio de manera adecuada y agradable al usuario hay que tener en cuenta la relación contenido/ancho-de-banda requerido para evitar saturación en la red, es por eso que para proveer un buen servicio es necesario tener en cuenta la manera en que se codifica el video para reducir el consumo excesivo de ancho de banda sin perder calidad al servicio.

⁴⁹ ARAYA SOTO, Miguel Ángel. Diseño e implementación de un sistema para la gestión de contenido multimedia y su difusión a través de pantallas. Trabajo de grado Ingeniero civil en informática. Valdivia.: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil en Informática, 2012. p. 64

5. METODOLOGÍA

A continuación se pormenorizan las actividades que se realizaron para el desarrollo del proyecto de grado, la metodología establecida se ha desarrollado en fases de estudios e investigación de técnicas y posteriormente se ha generado un diseño del sistema, asimismo, se ha efectuado la instalación y pruebas de funcionamiento.

- Actividad 1: Estudiar los conceptos existentes a partir de las investigaciones o proyectos efectuados para la implementación de la emisión multicast de contenido dinámico.
- Actividad 2: Analizar las características de transmisión de datos multimedia de contenido dinámico bajo el stack de protocolos TCP/IP.
- Actividad 3: Estudiar, investigar e implementar un servidor de contenidos con capacidad de producir datos multimedia de manera multicast.
- Actividad 4: Identificar los dispositivos necesarios en una red LAN que asegure la transmisión multicast con datos multimedia garantizando ancho de banda y velocidad de transmisión adecuados para la comunicación digital.
- Actividad 5: Implementar un diseño red tomando como base las condiciones analizadas anteriormente para que cumpla con los requisitos de transmisión de datos multimedia.
- Actividad 6: A través de capa de aplicación analizar el comportamiento de los reproductores multimedia embebidos displays (TV, Tablet) y configurarlos para que soliciten contenidos a través de sesiones multicast y protocolos de tiempo real.
- Actividad 7: Realizar pruebas en sesiones unicast y multicast de la publicación del contenido dinámico y generar test-bed donde sea posible diagnosticar el verdadero comportamiento del sistema en los dispositivos finales tomando en cuenta los parámetros QoS y QoE, además, si ha de ser necesario un troubleshooting para proporcionar su efectiva transmisión desde el servidor de contenidos hasta los dispositivos de reproducción.

6. DESARROLLO DE IMPLEMENTACIÓN DIGITAL SIGNAGE

Dado la problemática formulada y la necesidad de implementar un sistema Digital Signage en la USTA, se toma como referente la red de la USTA la cual no implementa multicast para identificación del problema sobre la demanda de ancho de banda por peticiones unicast. El proyecto se centra en realizar una prueba piloto de propuesta capaz de enviar contenido multimedia a través de sesiones multicast. La prueba se realiza a nivel de laboratorio y se obtienen resultados comparativos tanto en prototipo unicast como prototipo con multicast. Como se ha establecido como referencia la red de la USTA, al final del proyecto se propone implementar el sistema propuesto mediante prototipo en red de la USTA. En el prototipo se hace un comparativo entre los escenarios con unicast y multicast examinando los parámetros de QoS y QoE.

En vista a la necesidad de encontrar un servidor streaming apto que cumpliera con todos los requisitos establecidos en la propuesta de este proyecto nació la problemática de escoger el servidor de contenidos adecuado que resolviera de manera correcta las transmisiones del contenido dinámico en tiempo real. Esta problemática fue solucionada en base a las investigaciones de los diversos tipos de servidores existentes al momento de realizar este proyecto llegando a la conclusión que VLC es la mejor opción ya que como lo menciona el apartado 6.1.1 proporciona las características adecuadas para realizar dicha función, además cuenta con innumerables artículos de los cuales basa el desarrollo de su trabajo bajo VLC^{50 51 52}. El complemento de los detalles del servidor streaming puede verse en los apartados 6.1.1 y 6.1.1.1.

En las pruebas de laboratorio se escogió como sistema operativo para alojar el servidor streaming la última versión de escritorio Ubuntu, aunque no es primordial usar este sistema operativo, para este proyecto se tomó en cuenta Ubuntu por preferencia personal del autor de este proyecto de grado, por otra parte, es software libre y utiliza licencia bajo GPL, además, la gran mayoría de servidores operativos (Google, Instagram, Facebook, etc.) en el mundo usan algún tipo de kernel bajo el sistema Linux para ofrecer sus servicios. Ubuntu puede ser descargado en su plataforma oficial⁵³.

⁵⁰ HILLESTAD, Odd Inge; LIBAK, B. y PERKIS, A. Performance Evaluation of Multimedia Services Over IP Networks. En: Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on. 2005. p. 1464-1467

⁵¹ PEHLIVAN, S., et al. End-to-End Stereoscopic Video Streaming System. En: Multimedia and Expo, 2006 IEEE International Conference on. 2006. p. 2169-2172

⁵² CALYAM, P., et al. Impact of Router Queuing Disciplines on Multimedia QoE in IPTV Deployments. En: Quality of Multimedia Experience, 2009. QoMEX 2009. International Workshop on. 2009. p. 92-97

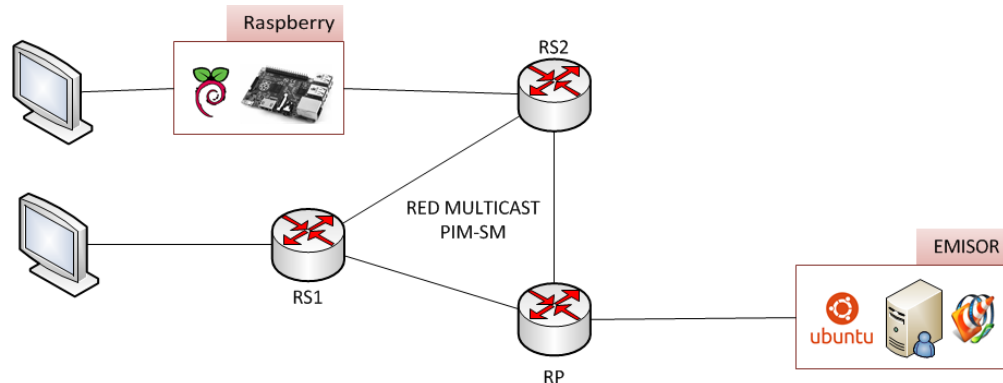
⁵³ UBUNTU. Download Ubuntu Desktop. marzo 2015. [Consultado el 03/19/2015]. Disponible en: <http://www.ubuntu.com/download/desktop>

La siguiente dificultad encontrada en el transcurso del desarrollo de este proyecto es referente a la necesidad de diseñar una red multicast y para ello era imperioso obtener los dispositivos de red tangibles capaces de realizar labores de conmutación y enrutamiento multicast del contenido multimedia o dinámico. Para obtener estos dispositivos de red fue necesario solicitar a la universidad Santo Tomas enrutadores disponibles y capaces de cumplir las tareas antes descritas en este párrafo y así solucionar la problemática, la siguiente tarea significaba diseñar y configurar los dispositivos de red con un protocolo de enrutamiento multicast capaz de realizar la convergencia y traslado de los paquetes de un punto a otro, es decir, desde el emisor hasta los diferentes receptores, la tarea fue resuelta realizando una investigación esquemática hacia los protocolos de enrutamiento multicast concluyendo así que el protocolo de enrutamiento multicast PIM-SM es apto para cumplir los objetivos de red propuestos y así ofrecer mayor eficiencia ya que puede ser usado como híbrido agrupando en cualquier instante de tiempo el cambio de PIM-SM a PIM-DM si así lo requiere la red, además, el agrupamiento de usuarios multicast seleccionado es realizado con IGMPv2 (en cuanto a más detalles ver el apartado 4.4.3.3), para objeto de evaluación, se implementaron dos receptores, esto con el fin de examinar el comportamiento de los receptores y de la red multicast y así tener un router dedicado para cada sistema en la red (Emisor y receptor).

Para recibir el contenido multimedia con transmisión multicast se utilizaron varias estrategias antes de llegar a la estrategia escogida, en primer lugar toda la recepción del video emitido iba a recaer en la capacidad del navegador nativo en un Smart TV. Los televisores al día que se desarrolló este proyecto tienen limitaciones en la navegación de internet, más específicamente en los contenidos multimedia, esto es debido a la cantidad de portales web que usan plugins extras tal como Adobe Flash Player, sin embargo, por ser un plugin con código cerrado, existen problemas de patentes entre los desarrolladores y los productores de televisores inteligentes (SONY, LG, SAMSUNG), este problema podría solucionarse en algunos años gracias a la evolución de HTML a HTML5, asimismo, HTML5 sería una buena opción cuando todos en general apliquen este estándar y se disipe por completo los plugins en internet. Para recibir el contenido multicast generado desde VLC es necesario tener una herramienta que sea capaz de recibir dicho contenido. Descartando la opción de recibir el contenido multicast desde el navegador de un televisor, la siguiente opción posible era el reproductor nativo en los Smart TV, estos reproductores se limitan en recibir contenido codificado a unos cuantos formatos de audio y video, además, no reciben contenido multicast ya que para emitir contenido multicast el cliente debe tener la capacidad de recibir y reproducir un archivo SDP (véase 4.8), es por eso que, las investigaciones desarrolladas establecieron que la tarjeta Raspberry es la indicada para ejecutar dicha tarea de la mejor forma, el apartado 6.3.3.1 dispone de la información necesaria y adecuada acerca de la configuración y adecuación del “player” receptor en Raspberry.

Con todos los componentes establecidos lo posterior fue implementar en el laboratorio un entorno de evaluación compuesto por el servidor de contenidos (Emisor), unos routers configurados en modo multicast y receptores con la capacidad de recibir el contenido multimedia. El esquema topológico representado en la Figura 11 manifiesta la estructura diseñada para la implementación de digital signage.

Figura 11. Entorno de evaluación.



6.1 EMISOR

El primer componente fundamental del esquema topológico es el servidor de contenidos, como lo indica la Figura 11 el emisor es el encargado de proporcionar el contenido dinámico que se está emitiendo a través de un servidor streaming con capacidad de generar información basada descripción de sesiones (SDP, véase 4.8) a todos los receptores dispuestos a recibir el contenido.

6.1.1 Servidor streaming. Para este proyecto fue utilizado VLC como servidor streaming ya que cuenta con las características necesarias para gestionar el contenido dinámico. Además de ser software libre bajo licencia GPL (Licencia Pública General) tiene la capacidad de reproducir muchos formatos de audio y video con diferente tipos de codecs, aparte, VLC existe en los dos extremos, es decir, VLC puede ser utilizado para ser servidor de contenidos y para ser cliente de contenido multimedia, al ser más práctico, multiplataforma (PC, móvil, tablets) y sencillo de configurar, VLC ofrece la opción de emitir la pantalla “screen” en varios formatos de video y de diversas maneras (UDP, RTP, HTTP).

6.1.1.1 Implementación y distribución de contenido dinámico. El proceso de implementación y compilación del servidor VLC se realizó según como indica la página oficial de VLC, para este proyecto se utilizó la versión “VLC 2.1.4 Rincewind”, asimismo, es necesario aclarar que la instalación y compilación de VLC varía según el sistema operativo que el usuario esté operando, el resultado del servidor streaming alojado en el sistema operativo Ubuntu se muestra en el Anexo D.

El proceso de distribución para generar el contenido dinámico a través de RTP establece que el contenido que se está emitiendo en el servidor streaming debe enviar dicho contenido a un grupo de receptores de manera multicast, es por eso que, como lo indica el apartado 4.3, la dirección IP o dirección lógica de red debe estar en el rango 224.0.0.0 a 239.255.255.255. Por motivo de ser transmisiones RTP se escoge la opción RTP/MPEG Transport stream, la decisión del puerto seleccionado debe estar regida bajo los estándares de la IANA (responsable de la asignación de puertos) la cual indica que el rango para usar puertos con aplicaciones está establecido desde 1024 hasta 49151, el tipo de codec a transmitir el contenido es constituido al gusto del usuario, para este proyecto el usado es el H.264 ya que es el codec habilitado y recomendado en los receptores para que decodifique el contenido recibido.

Estimando los parámetros propuestos en el párrafo anterior el proceso de distribución del contenido dinámico mediante RTP debe ser el siguiente así como se muestra en el Anexo B: Emitir, dispositivo de captura, escritorio, emitir, RTP, añadir, establecer dirección multicast y puerto, habilitar transcodificación, seleccionar el perfil deseado (para este proyecto se escogió el perfil h264), emitir todas las emisiones elementales, stream.

6.2 RED MULTICAST PIM-SM

Para la configuración de los routers se establecieron dos clientes que desean unirse a un nodo que está emitiendo contenido multimedia, para ello se estableció un punto de encuentro o “Rendezvous Point”, a su vez, la implementación se realizó utilizando routers Cisco 1841 con un IOS 12.04 (10) que soporta multicasting y enrutamiento PIM así como se ve en el Anexo E.

En primer lugar y antes de realizar cualquier configuración, es necesario asegurarse que los routers disponibles para realizar esta tarea estén con la configuración por defecto, posteriormente se realiza el procedimiento de enrutamiento unicast. Es recomendable utilizar protocolos de enrutamiento OSPF o EIGPR, ya que enfrentan una convergencia de red más rápida a diferencia de otro tipo de protocolos de enrutamiento. Después que los diferentes destinos sean vecinos y exista conectividad entre ellos se procede a configurar el enrutamiento

multicast en la red. En el caso de esta implementación se utilizó OSPF como protocolo de enrutamiento y PIM-SM como protocolo de enrutamiento multicast.

Para activar los routers como routers multicast es necesario establecer en el modo de configuración el siguiente comando "RP(config)# ip multicast-routing". Este comando debe ser introducido en todos los routers que serán parte del esquema multicast.

A continuación el paso a seguir es comprometer a todas las interfaces físicas que forman parte de la topología y proporcionar reenvío de paquetes por medio de PIM-SM, esto se hace introduciendo en el modo de configuración de la interface el comando "ip pim sparse-mode", así, el paso a seguir es:

```
RP(config)#interface xxxx  
RP(config-if)# ip pim sparse-mode
```

Nota: Aclarar que dicho comando debe ser establecido de todas las interfaces que forman parte del enrutamiento multicast

Hecho esto, de forma opcional y si surgen algunos inconvenientes con los "Joins" al grupo multicast, se puede configurar las interfaces de los routers que quieren formar parte de algún grupo multicast diciéndole al router qué interface desea unirse a cierto grupo y aceptar reenvío de paquetes multicast, es posible hacer esto estableciendo el comando "ip igmp join-group xxx.xxx.xxx.xxx". Para el caso de "xxx.xxx.xxx.xxx" es el rango de direcciones multicast establecido por la RFC 2365, en esta ocasión la dirección establecida al grupo fue 239.255.0.1. Dicho esto, la configuración correcta es la que sigue:

```
RP(config)#interface xxxx  
RP(config-if)# ip igmp join-group 239.255.0.1
```

Hay que tener en cuenta que las uniones a grupos multicast por medio de IGMP es exclusivo para las interfaces que conectan a los routers con host directamente conectados, para caso contrario donde exista un switch conectado directamente a un router, el comando correcto es utilizar "ip cgmp". No es correcto configurar uniones de grupos a las interfaces seriales ya que estas forman parte del enrutamiento PIM.

Otro componente imperioso en la configuración PIM-SM es el "Rendezvous point", que, como vimos en apartados anteriores es el encargado de especificar el lugar o punto de reunión de las sesiones multicast, la configuración del punto de reunión en los routers es habilitada de la siguiente manera:

```
RP(config)# ip pim rp-address xxxx.xxxx.xxx.xxxx
```

Donde “xxxx.xxxx.xxx.xxx” es la dirección de la interaface la cual el administrador desee establecer como punto de reunión del contenido. Para este caso, la dirección de interface fue 10.1.1.2.

Completado todo el procedimiento ya debe ser posible establecer sesiones multicast por medio de la red, por lo tanto, los archivos de configuración de todos los routers partícipes en la red quedan como se muestra en el Anexo F.

6.2.1 Comprobar pim-sm. Existen comandos útiles que ayudan a visualizar la configuración multicast expuesta en el apartado anterior, adicionalmente, son importantes a la hora de solucionar problemas de conectividad o en varias ocasiones a fallas en la configuración. En la tabla 9 se mostrarán los comandos más utilizados al momento de comprobar enrutamiento multicast

Tabla 9. Comandos útiles para multicast IP

Comando	Propósito
show ip mroute count	Verificar el flujo de trafico
show ip igmp groups	Muestra grupos multicast que están directamente conectados a el router/switch y los que aprendieron a través de IGMP
show ip igmp interface	Muestra información acerca de la interfaces pertenecientes a multicast.
show ip mroute	Muestra contenido de la tabla de enrutamiento multicast
show ip pim interface	Muestra información de las interfaces configuradas para PIM
show ip pim neighbor	Lista los vecinos PIM descubiertos por el router/switch
show ip pim rp	Muestra el router RP asociado con el grupo multicast sparse-mode

En el Anexo G se visualiza las respuestas de cada uno de los comandos escritos en el router encargado del punto de reunión y uno de los clientes que reciben el contenido.

6.3 CLIENTE

En este proyecto los receptores toman parte fundamental debido a que se encontró con la necesidad de establecer un sistema receptor capaz unirse a los grupos multicast solicitando el contenido dinámico alojado en dichos grupos y proporcionarlo al TV que es el receptor final en el cual se visualiza el contenido. Para resolver el enigma fue imprescindible establecer un proceso de investigación que cumpliera con los detalles y objetivos propuestos en este proyecto dando

como resultado a concluir que era necesario adquirir la tarjeta Raspberry para que fuese el puente que brindara el contenido dinámico por medio de una interface HDMI al TV, es decir, que Raspberry fuese el dispositivo capaz de recibir el contenido proporcionado por el servidor streaming.

6.3.1 Raspberry. A idea de no utilizar los “players” comunes que existen en digital signage para recibir todo el contenido, existe una solución más económica y adaptable para este sistema, en este proyecto es usado como sistema receptor la tarjeta Raspberry Pi, como lo indica Upton⁵⁴ es una tarjeta desarrollada por la organización Raspberry Pi Foundation como un ordenador de bajo coste sin fines lucrativos que desde un principio tuvo fines netamente educativos, convirtiéndose así en una herramienta funcional con características importantes al momento de emitir video gracias al procesador BCM2835 que tiene integrado, por lo tanto, Raspberry es el puente por el cual circula el contenido dinámico de forma multicast, además, el encargado de recibir los paquetes, reordenarlos y trasladarlos al televisor a través de HDMI para ser visualizados. Siendo Raspberry un ordenador que trabaja con kernel basando en Linux, proporciona funciones similares a las de cualquier sistema operativo que trabaja en ordenadores convencionales, por lo tanto, en este proyecto se trabajó con el sistema operativo Debian Wheezy para el entorno Raspberry utilizando omxplayer como reproductor multimedia. El Anexo H da a conocer la parte estética de la Raspberry Pi B+.

6.3.1.1 Omxplayer. Omxplayer es un reproductor multimedia que se ejecuta por medio de la línea de comandos desarrollado específicamente para entornos GPU de Raspberry el cual viene nativo en Debian Wheezy, tiene la capacidad de recibir contenido en varios formatos (aunque la recomendada es H264) y protocolos multimedia (UDP, RTP, RTMP, RTSP), asimismo, recibe el contenido de alta resolución (1080p) adecuadamente y lo transmite al televisor por medio de la interface HDMI. Para recibir el contenido en tiempo real generado desde el emisor, el cliente debe hacer la petición del contenido que está alojado en el emisor listo para ser enviado por sesiones multicast hacia el receptor, la manera de hacer dicha petición desde omxplayer es por medio de la siguiente línea.

```
Omxplayer --win 'x1 y1 x2 y2' -o hdmi rtp://dirección_de_grupo_multicast:puerto
```

Cabe aclarar que la línea anterior es incluida en el entorno de consola del sistema operativo Raspbian debian Wheezy, por lo tanto, omxplayer es el encargado de recibir el contenido multimedia alojado en una dirección de grupo multicast, la sentencia “puerto” indica el número de puerto el cual el servidor streaming está

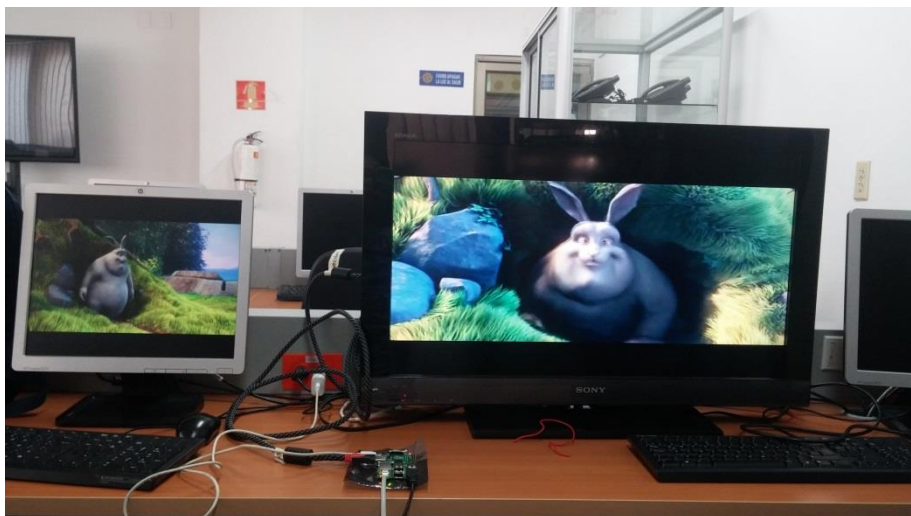
⁵⁴ UPTON, Eben y HALFACREEE, Gareth. Raspberry Pi User Guide. 3rd ed. Londres: John Wiley & Sons, 2014. 312 p.

utilizando para enviar el contenido a través de la red, asimismo, el puerto emisor y el puerto por el que se recibe la información deben ser semejantes, la sentencia "win" indica el ancho y alto de contenido recibido (en este caso 1950x1080) enviándolo a la interface HDMI asegurando así contenido en alta definición generando el resultado que se muestra las Figura 12 y la Figura 13, para demás pruebas dirigirse al Anexo I.

Figura 12. Contenido multimedia a través de sesiones multicast.



Figura 13. Contenido multimedia a través de sesiones multicast (2).

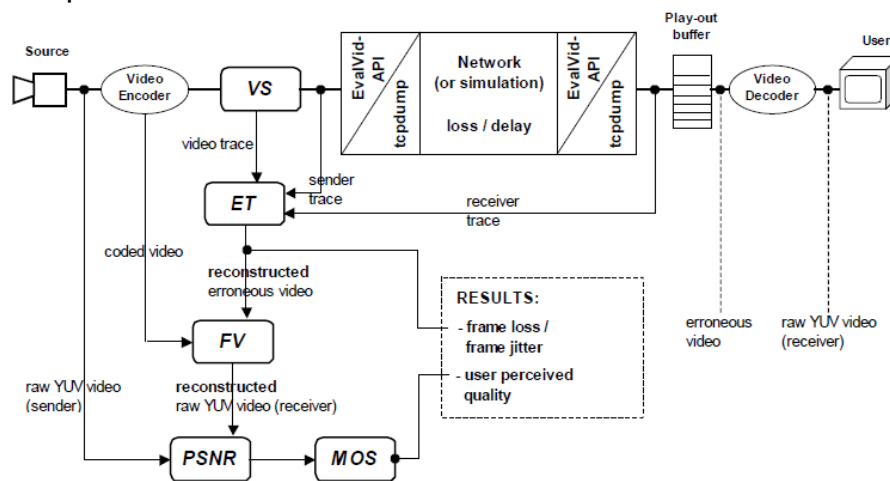


6.4 HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN

Las herramientas de evaluación son las encargadas de generar parámetros y estimaciones de los datos transmitidos a través de la red hasta el instante que se recibe, es por eso que para este proyecto se empleó Evalvid y el “sniffer” wireshark como herramientas encargadas de conceptualizar y analizar los datos enviados y recibidos en la transmisión.

6.4.1 Evalvid. Evalvid es un marco con un conjunto de herramientas que evalúan la calidad de videos transmitidos a través de la red o por medio de redes simuladas. Realiza la evaluación de parámetros como QoS, tasa de pérdidas, demoras y jitter, la Figura 14 muestra el marco estructural de Evalvid y el proceso evaluativo al que se somete un video desde la fuente hasta su destino.

Figura 14. Esquema marco Evalvid.



Fuente: ⁵⁵

Para evaluar el video que se transmite a través de la red, es necesario encontrar videos que no hayan sido codificados anteriormente con el fin de obtener datos más preciosos en el cálculo.

6.4.1.1 Herramientas evalvid. Las herramientas binarias utilizadas pueden ser descargadas desde el portal oficial de Evalvid, asimismo, existen binarios para diversos sistemas operativos. Las herramientas de evaluación trabajadas en este proyecto fueron: MP4Box, PSNR, MP4trace, etmp4 y MOS.

⁵⁵ KLAUE, Jirka; RATHKE, Berthold y WOLISZ, Adam. Evalvid—A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation. En: KEMPER, Peter, H, Sanders, William. Computer Performance Evaluation. Modelling Techniques and Tools. Berlin: Springer, 2003. 255-272 p. ISBN 0302-9743/978-3-540-45232-4

- MP4Box: Es un conversor MPEG-4 desarrollado por GPAC⁵⁶ que almacena archivos multimedia en un contenedor .mp4, posee la capacidad de codificar, decodificar, multiplexar y demultiplexar dando como resultado un flujo MPEG-4 bajo el estándar ISO.
- PSNR: Herramienta que evalúa la calidad del video resultante, por lo tanto, compara la energía de la señal máxima posible de la energía de ruido, es decir, genera el cálculo del video cuadro por cuadro. Cabe aclarar que el PSNR es calculado en relación al video fuente sin codificar y el video recibido.
- MP4trace: Herramienta utilizada para enviar un archivo mp4 a través de RTP/UDP con capacidad de apuntar a una dirección de destino.
- Etmp4: Herramienta de evaluación que permite separar el audio del video, además, puede ser utilizada para reconstruir el archivo de video recibido (dañado).
- MOS: Es una medición promedio que diferencia la calidad del video codificado y el video recibido (normalmente dañado), mos calcula cada frame del video recibido y lo relaciona con el video codificado, a su vez, MOS mantiene una tabla que representa la calidad con respecto a la escala de mos así como se muestra en la tabla 9

Tabla 10. Calidades MOS

Escala	Calidad	Discapacidad
5	Excelente	Inapreciable
4	Buena	Apreciable, no molesta
3	Favorable	Un poco molesta
2	Pobre	Molesta
1	Mala	Muy molesta

Fuente: ⁵⁷

Según la figura 12, las cajas representadas con los acrónimos VS, ET, FV, PSNR, MOS, hacen referencia a los procesos de evaluación que soporta el video, siendo así VS la fase donde el video es enviado al destino, de ahí se obtiene una traza encapsulada en un archivo que contiene la siguiente información:

⁵⁶ LE FEUVRE, Jean, et al. Experimenting with Multimedia Advances using GPAC. En: Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia. ACM, 2011. p. 715-718

⁵⁷ GROSS, J., et al. Cross-layer optimization of OFDM transmission systems for MPEG-4 video streaming. En: COMPUTER COMMUNICATIONS. 7/1.vol. 27, no. 11, p. 1044-1055

Tabla 11. Traza de video

N° de trama	Tipo de trama	Tamaño de trama	N° de paquetes UDP/RTP	Tiempo de emisión
0	H	925	2 segm	0.084 ms
1	P	50	1 segm	0.454 ms
2	I	1487	2 segm	0.578 ms
3	B	550	1 segm	160 ms
...

ET es la fase donde se genera el cálculo real de las tramas y paquetes perdidos o marcadas con retardo, para realizar el cálculo, ET necesita tres archivos con la traza enviada, recibida y de video, asimismo, FV evalúa trama por trama la calidad del video y la reconstruye, PSNR evalúa la calidad cuadro por cuadro del archivo .yuv generado por la fase.

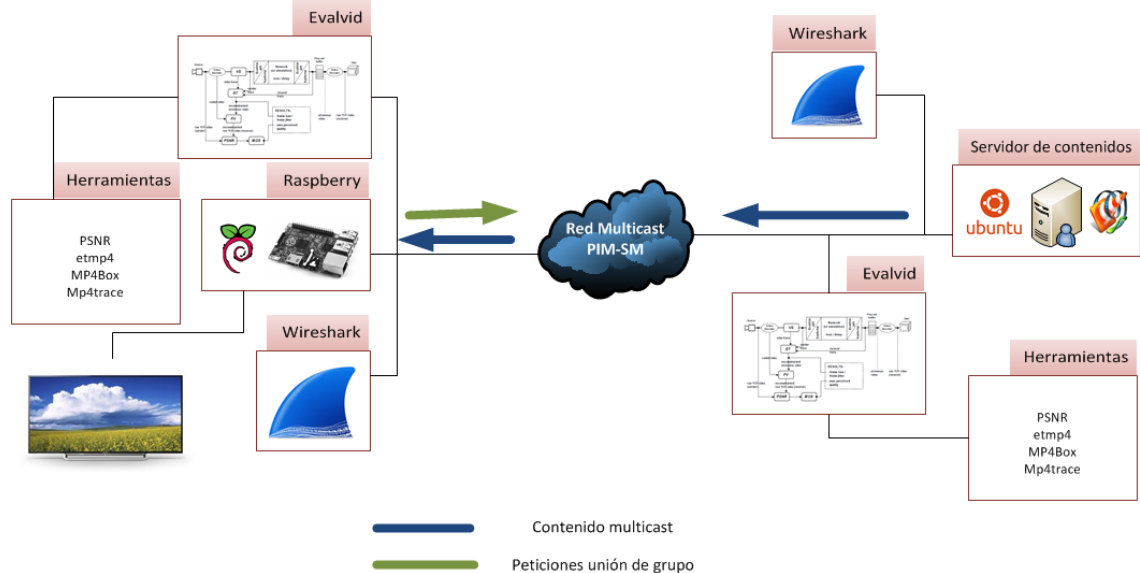
6.4.2 Analizador de protocolos. Un analizador de protocolos es una herramienta de género “sniffer” utilizada para medir parámetros cuantitativos en tiempo real, a su vez, genera documentación relacionada al servicio, además, proporciona la alternativa de filtrar y presentar información trascendental para posteriormente ser interpretada y gestionada por el administrador de red, de tal manera, wireshark es un software de código abierto y es utilizado en este proyecto para cumplir la función de capturas de tráfico del entorno multicast. Este “sniffer” es una herramienta crucial para verificar si verdaderamente los receptores están haciendo solicitudes a contenido multicast y no unicast. Como lo muestra el Anexo J se filtraron los paquetes RTP que viajaron a través de la red por medio de UDP, además, se filtraron los mensajes IGMP para visualizar las uniones del receptor hacia el grupo multicast. Como ilustra el Anexo J, en la Figura 40 el tráfico recibido es originado en la dirección unicast 10.1.1.5 y es enviado a la dirección del grupo multicast 239.255.0.1 donde es alojado el contenido multimedia a la espera de receptores que deseen unirse al grupo y empezar a recibir el contenido multimedia de manera multicast, dicho contenido se transmite en tiempo real viajando a través de UDP con un puerto aleatorio escogido para la fuente y recibido en el destino al puerto 5004, asimismo, la Figura 38 del Anexo J resalta que el receptor tiene una dirección 10.2.3.4 y hace peticiones para unirse al grupo multicast que tiene la dirección 239.255.0.1, igualmente proporciona información relacionada con la versión IGMP utilizada, que para este caso es IGMPv2.

7. RESULTADOS

7.1 FUNCIONAMIENTO

La Figura 15 provee el marco de evaluación con la topología multicast, servidor de contenidos y sistema receptor. El contenido dinámico es generado a través del servidor streaming utilizando el codec x264 y emitiendo en tiempo real, paralelamente, las herramientas de Evalvid van capturando las trazas del video para obtener una evaluación acerca del comportamiento del contenido a medida que se va transmitiendo. El contenido dinámico viajará a través de una red multicast utilizando PIM-SM (véase 4.5.3) como protocolo de enrutamiento. Del lado cliente, el contenido será recibido por medio de la tarjeta Raspberry, la cual solicitará la unión al grupo multicast pidiendo el contenido dinámico y reordenando los paquetes para ser enviados al televisor.

Figura 15. Marco de evaluación.



En cuanto el análisis de los datos transmitidos a través de la red era debido emplear herramientas capaces de generar resultados propios que dieran datos relacionados a QoS y QoE del contenido dinámico. En base a esta necesidad fue imperioso abrir una investigación de herramientas desarrolladas que cumpliera las tareas descritas en este párrafo, dando como opción la implementación de las herramientas de evaluación Evalvid y wireshark. Con estas herramientas se logró obtener los parámetros de QoS y QoE en el desarrollo de este proyecto

7.2 PARÁMETROS QoS

En el análisis de evaluación y estimaciones fueron considerados parámetros como ancho de banda, pérdidas, throughput, delay y jitter valorando resultados que permiten analizar datos y representar información relacionada a la QoS.

7.2.1 Ancho de banda instantáneo. Dentro de los parámetros de QoS es imperioso calcular el ancho de banda requerido que consume el contenido dinámico emitido, además de conocer factores como velocidad y tamaño de imagen en promedio, dicho esto, el ancho de banda consumido sería el producto de la velocidad con respecto a tamaño de imagen en promedio. En la Tabla 12 se ilustra las características del contenido multimedia transcodificado en diferentes formas.

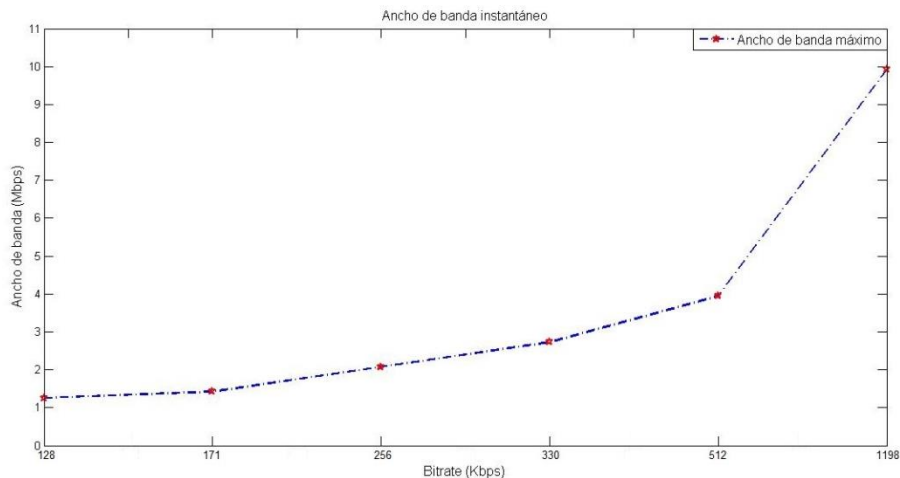
Tabla 12. Características de contenido multimedia.

Calidad	Velocidad (fps)	Bitrate(Kbps)	Resolución	Promedio de tamaño imagen (Kbps)	Ancho de banda requerido
1	24	128	1280x720	5.44	1.26 Mbps
2	24	171	1280x720	7.27	1.42 Mbps
3	24	256	1280x720	10.55	2.07 Mbps
4	24	330	1280x720	13.93	2.73 Mbps
5	24	512	1280x720	20.11	3.95 Mbps
6	24	1198	1280x720	50.47	9.92 Mbps

Según los datos proporcionados en la Tabla 12, el contenido dinámico se codificó en diferentes bitrates, dejando la misma resolución para cada una de las muestras, a medida que el video es codificado a una tasa de bits mayor el ancho de banda que ocupa el video aumenta exponencialmente. Las muestras fueron realizadas en una secuencia de tiempo resultante a 10 segundos para todas las calidades, los fps dan resultado a la frecuencia la cual el receptor reproduce distintas tramas, asimismo, el factor a tomar en cuenta en la recepción del video es el buffer, este componente da un tiempo al reproductor para que reordene los paquetes adecuadamente permitiendo la reproducción continua del contenido multimedia sin cortes ni saltos.

La figura 16 refleja los valores máximos de ancho de banda tomados de la Tabla 12 los cuales necesitaría el contenido según la forma de codificación, como se ve reflejado en la figura 16, el ancho de banda requerido aumenta siempre y cuando el tipo de codificación también aumente, por lo que a mayor bitrate mayor ancho de banda ocupará el contenido multimedia o dinámico en el enlace.

Figura 16. Ancho de banda requerido.



7.2.2 Pérdidas. Las pérdidas en una transmisión son representadas con respecto a la cantidad de datos que se envían comparadas con la cantidad de datos que se reciben en el destino, para este proyecto, esas pérdidas son basadas en el contenido multimedia enviado y el contenido multimedia recibido, es decir, separando las tramas en tipos (I, P). Este proceso es posible utilizando las herramientas de Evalvid (véase 5.1.2). Como lo indica en Anexo K, el proceso inicia codificando el video y posteriormente extrayendo las tramas del video enviado y recibido con mp4trace, en el lado receptor se captura los datos con tcpdump o wireshark, con etmp4 se reconstruye el video y se extraen las pérdidas obtenidas durante el proceso, por lo tanto, los datos resultantes son indicados en la figura 15.

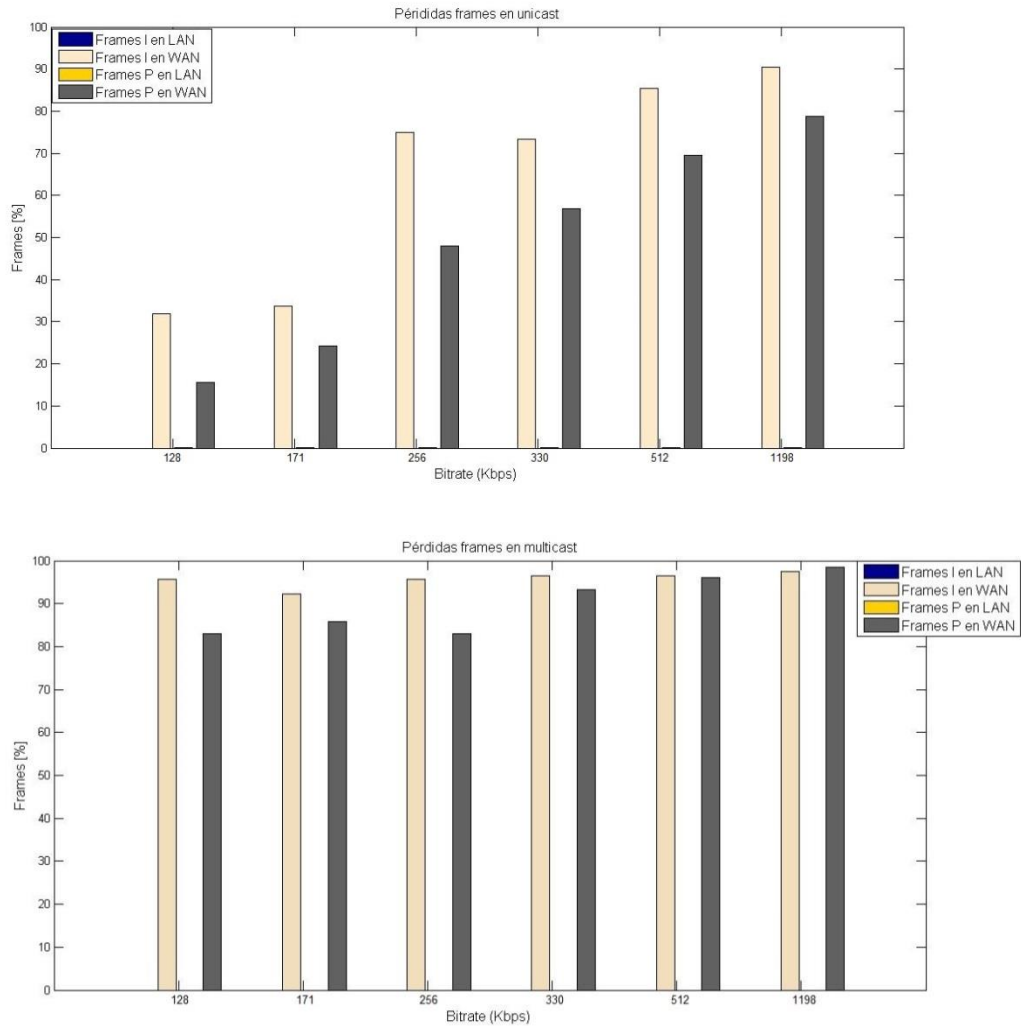
De la figura 17, las pruebas fueron realizadas en varias formas, en las gráficas de la figura 15 muestran en el eje (y) el porcentaje de frames perdidas y en el eje (x) el bitrate al cual es codificado el contenido, asimismo, la gráfica superior cita las pruebas realizadas emitiendo de forma unicast, además, se extraen los resultados en un entorno local (LAN) y por otro lado en un entorno WAN, es decir, enviando el contenido al siguiente salto del router. Esto se hace con el fin de ver el resultado diferencial entre un entorno "ideal" (En este caso LAN) y un entorno donde el ancho de banda es insuficiente para transmitir el contenido (En este caso WAN). Para estas pruebas, el ancho de banda disponible en LAN es de 100Mbps y el disponible en WAN es de 1.5 Mbps. En la gráfica inferior se establecen los mismos parámetros con la diferencia que los datos transmitidos se realizan de manera multicast.

De los datos obtenidos se indica que en unicast las pérdidas en un enlace local son mínimas e iguales para todas las tasas de bits, casi despreciables a

comparación con las pérdidas de frames P e I producidas en el enlace WAN, por lo tanto, es válido decir que la cantidad de frames perdidos son proporcionales a medida que se aumenta el bitrate.

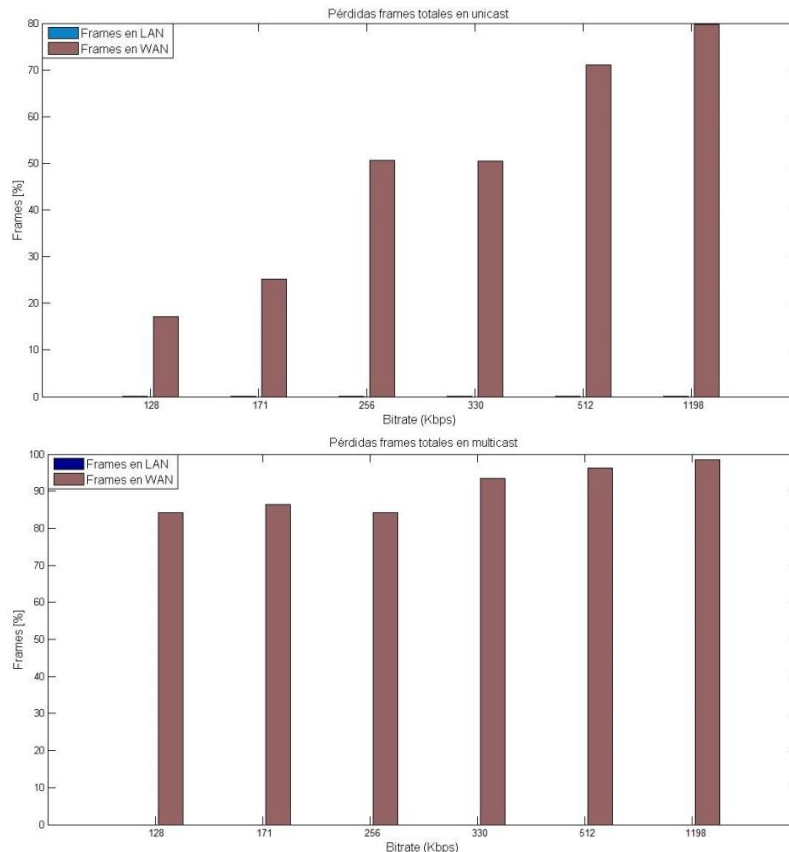
En el caso de las emisiones multicast las pérdidas se comportan de manera diferente, es por eso que, en un enlace local no existen pérdidas mientras que en un enlace WAN las pérdidas de frames P e I se aproximan a 100%.

Figura 17. Relación frames P e I enviadas y recibidas.



Obtenido los datos de pérdidas en cada caso, es posible indicar como lo muestra la figura 18 las pérdidas totales en la transmisión (eje [y]) con respecto a los flujos de datos codificados (eje [x]).

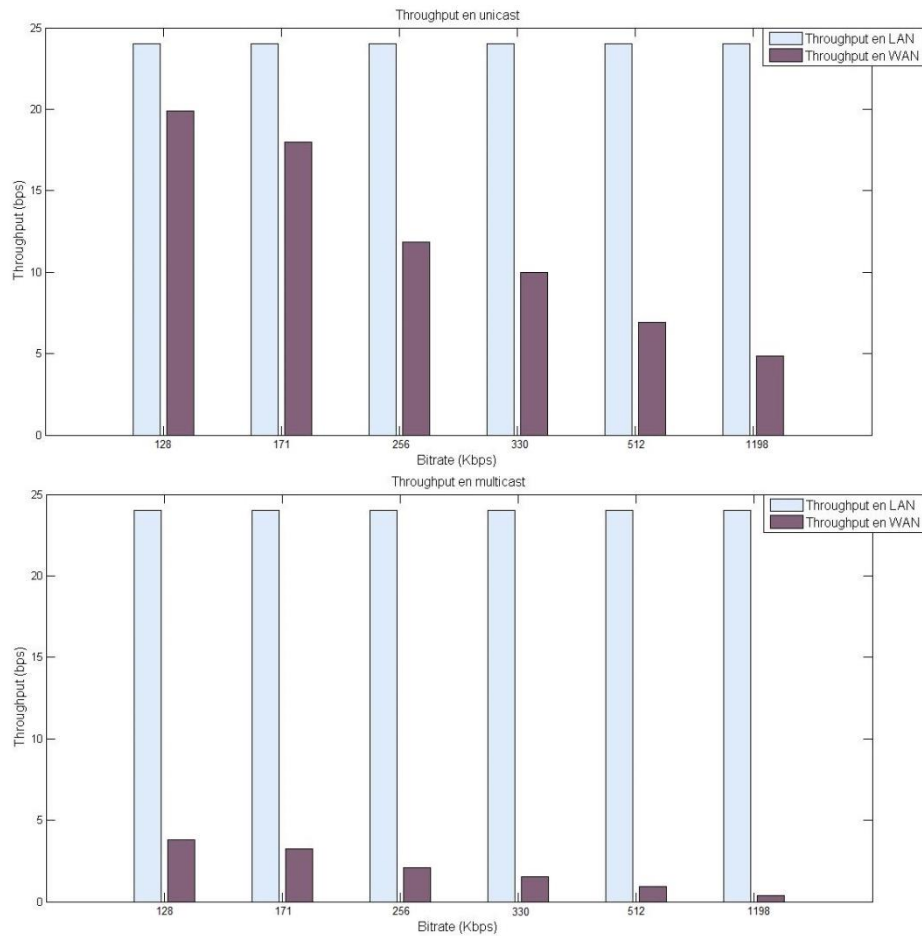
Figura 18. Pérdidas de frames totales en unicast y multicast.



7.2.3 Throughput. El “throughput” es la cifra total de los datos transmitidos de manera acertada con respecto al tiempo, además, cuantifica la suficiencia que tiene el canal para la transmisión de los datos, por lo tanto es medido en bits por segundo. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la figura 19 dictamina el “throughput” en la transmisión según las diferentes tasas de bits (bitrate).

Como fue señalado en el apartado anterior, la metodología para examinar los datos obtenidos fue la misma, es decir, las gráficas de la figura 19 indica en el eje (y) el throughput tomado en la transmisión unicast, el eje (x) muestra el bitrate al cual fue codificado el contenido, para el mismo caso se tomaron muestras del throughput en un entorno “ideal” (LAN) y un entorno limitado en ancho de banda (WAN). Asimismo en multicast se implementó la misma metodología. La figura 19 muestra similitud en entornos locales para ambos casos (unicast y multicast), caso contrario sucede en WAN, ya que existe un rendimiento mucho menor en multicast cuando el enlace es ineficiente.

Figura 19. Throughput.



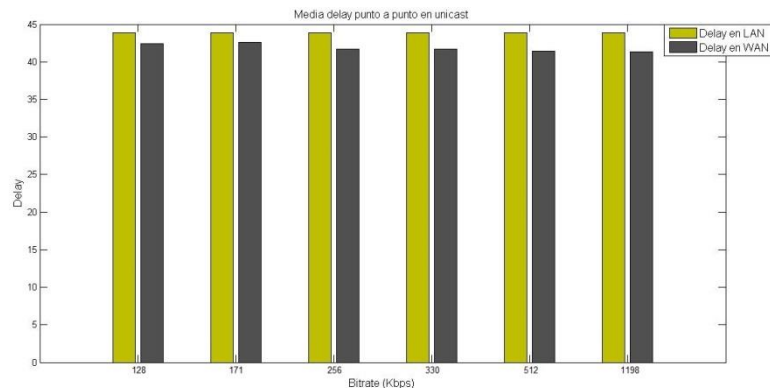
7.2.4 Delay. El delay hace referencia a la cantidad de tiempo que le lleva a un bit de datos circular en la red desde un punto a otro, para este caso desde el origen donde se genera el contenido hasta el destino. Normalmente se mide en segundos o fracciones de segundos, por lo tanto el delay es calculado restando el instante de tiempo en el cual llegó la trama con el instante el cual fue enviada esa trama.

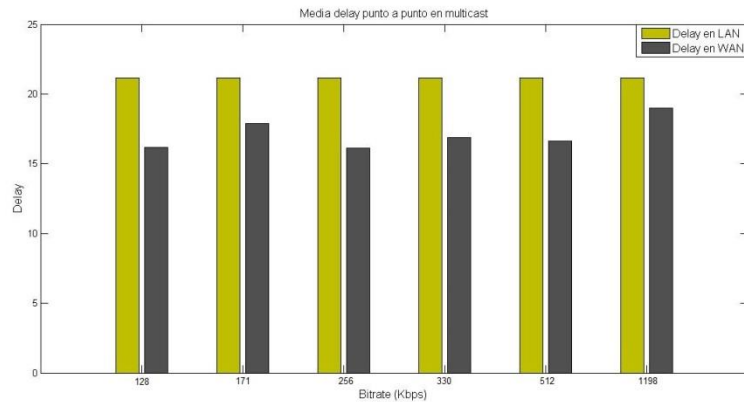
Como muestra en la figura 20, los datos del delay fueron tomados a medida que las tramas iban saliendo al destino especificado, por lo tanto, se generaba cada delay con respecto a la trama enviada de la trama recibida. Al momento de calcular el delay para cada trama deben existir dos variables que son la trama de enviada y la trama recibida, si por algún motivo la trama recibida se pierde durante la transmisión no es posible calcular el delay. Es por eso que para realizar el cálculo de valores medios de cada delay es imperioso saber la cantidad de tramas recibidas con acierto y estimar esos aciertos con el valor de cada trama recibida.

Según lo descrito en el párrafo anterior, los datos proporcionados en las gráficas a continuación ilustran en el eje (y) información acerca del delay extremo a extremo, es decir, donde se genera la trama hasta que llega al destino en transmisiones unicast y multicast, a su vez son transmitidas en dos entornos de evaluación los cuales son LAN y WAN, siendo LAN un entorno ideal con el suficiente ancho de banda para que viaje el contenido sin dificultad y el otro entorno siendo limitado en ancho de banda obligando al contenido a sufrir pérdida de datos y retrasos, además, en el eje (x) se encuentra el contenido codificado a diferentes tasas de bits para experimentar el comportamiento de la red y el contenido a medida que se va forzando a ofrecer un volumen de datos mucho mayor.

De la figura 20 es posible decir que el delay de un punto a otro es mucho menor en multicast con respecto a unicast, en este punto se ve la diferencia existente ya que multicast reduce el retardo aproximadamente a la mitad a lo que unicast puede hacerlo, además, el cálculo de la media WAN se ilustra mucho menor a comparación de LAN, esto es debido a la cantidad de tramas que se pierden en el transcurso de la transmisión del contenido cuando atraviesa el entorno WAN y para cálculos de evaluación media se debe estimar el valor del delay de cada trama con la cantidad total de tramas recibidas.

Figura 20. Media delay de extremo a extremo.

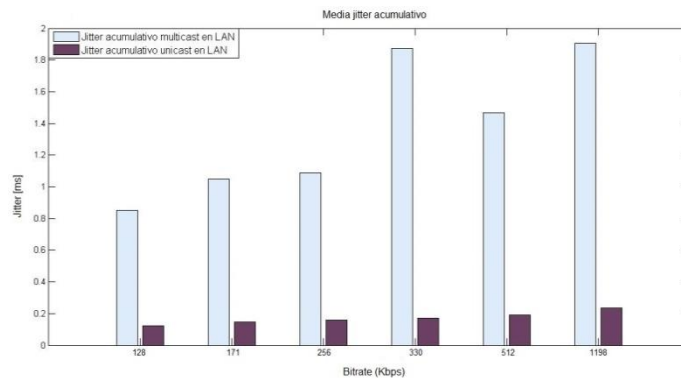




7.2.5 Jitter. El jitter es un valor variable del delay que afecta a los paquetes cuando viajan a través de la red, esto produce retardos debido a los tiempos de encolamiento que se genera cuando los paquetes atraviesan los routers pertenecientes a la red generando un retardo variable, sin embargo, aunque los valores de jitter y delay sean relativamente altos pueden ser tolerados en la transmisión del contenido.

A continuación la figura 21 proporciona información acerca de la media del jitter acumulativo en transmisiones unicast y multicast, en el eje (y) se establece el jitter en milisegundos (ms) de los paquetes involucrados en la transmisión, y el eje (x) representa el bitrate al cual se iba codificando el contenido, además, son establecidas en un entorno LAN.

Figura 21. Jitter acumulativo.



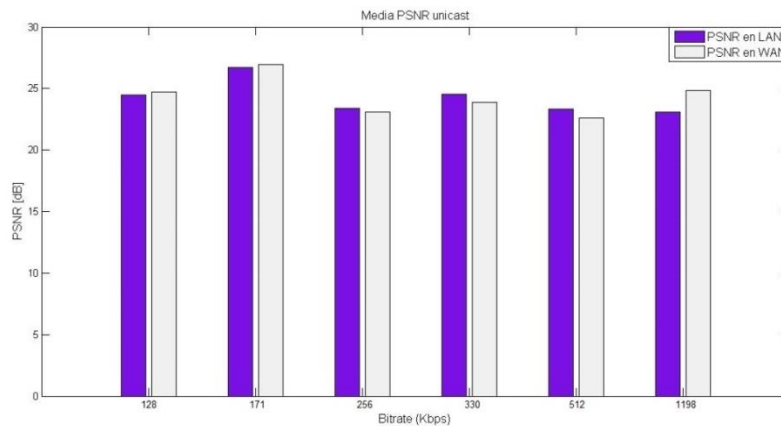
7.3 PARÁMETROS QoE

Como lo indica ⁵⁸ QoE se define como la totalidad de los mecanismos de calidad de servicio (QoS) proporcionados para establecer una buena transmisión de audio y video sobre redes IP los cuales pueden ser medidos a través de MOS y PSNR (véase 5.4.1.1), por lo tanto, las técnicas de medición fueron realizadas a través de herramienta de evaluación Evalvid.

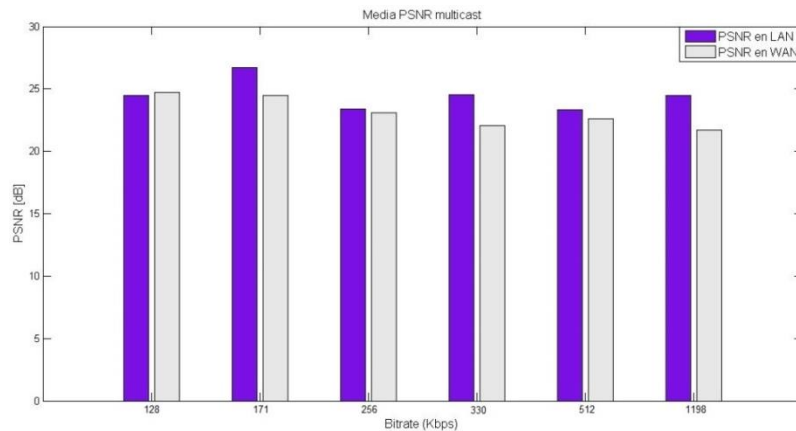
7.3.1 PSNR. En la figura 22 es posible visualizar los valores medios del PSNR para varios entornos de evaluación. En las gráficas de la figura 22 el eje (y) representa el PSNR en decibeles (dB) y el eje (x) representa el bitrate al cual fue codificado cada contenido. La gráfica superior establece un PSNR para transmisiones unicast con dos tipos de entornos (LAN y WAN). La gráfica inferior establece las medias PSNR para la transmisión multicast a diferentes flujos de datos y en entornos LAN y WAN.

Las muestras presentan datos levemente equitativos en transmisiones unicast y multicast dando como resultado una mínima diferencia cuando se transmite contenido en entornos con especificaciones normales, es decir, con un ancho de banda instantáneo adecuado, por otra parte, los valores medios de PSNR para entornos con ancho de banda limitado son más inestables cuando se hace la comparación de cada una de las gráficas.

Figura 22. Media PSNR.

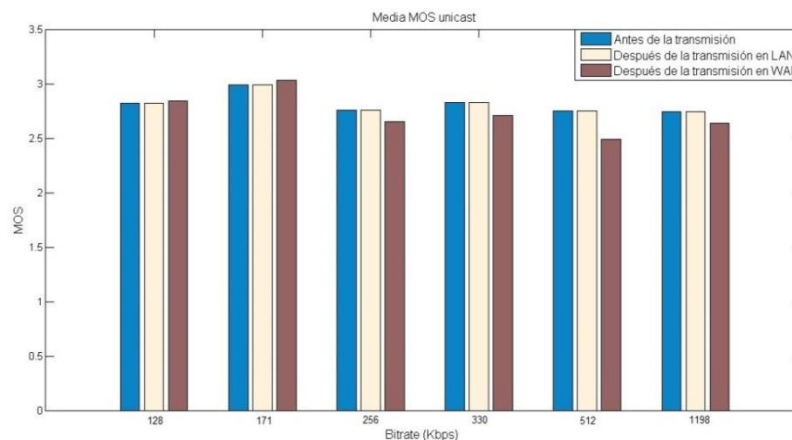


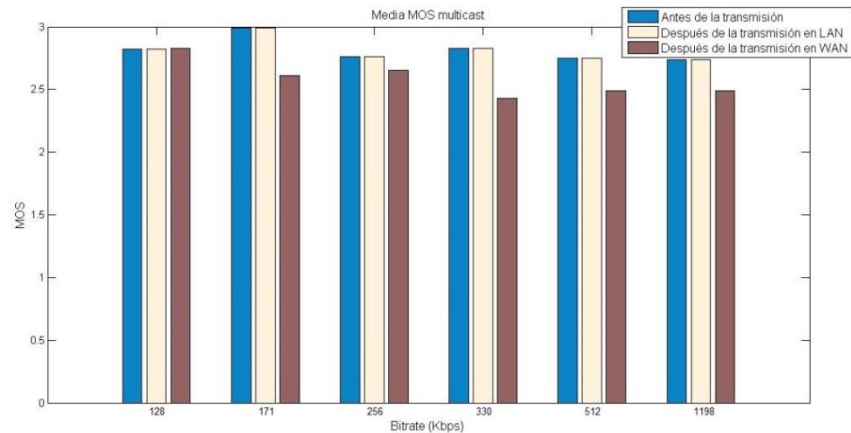
⁵⁸ O'NEIL, Timothy M. Quality of experience and quality of service for IP video conferencing. En: POLYCOM VIDEO COMMUNICATIONS, MILPITAS, CA, USA, WHITE PAPER.



7.3.2 MOS. Las muestras de valores MOS indica el promedio diferencial de la calidad de video codificado con respecto al recibido, por lo tanto, el valor de referencia debe ser el que se muestra antes de la transmisión del contenido. Los valores medidos en la figura 23 representa en el eje (y) el promedio MOS de la transmisión de video para cada momento y en el eje (x) los diferentes flujo de datos a los que fue sometido el contenido, en WAN existen variaciones considerables en comparación con transmisiones LAN, lo que indica la inestabilidad del contenido en instantes cuando el ancho de banda no es suficiente para soportar el flujo de los datos que transita por el enlace, además, no existe gran diferencia entre los valores obtenidos en transmisiones unicast y multicast ya que todas las codificaciones superan la barrera de 2.5 hasta 3.0.

Figura 23. Media MOS.





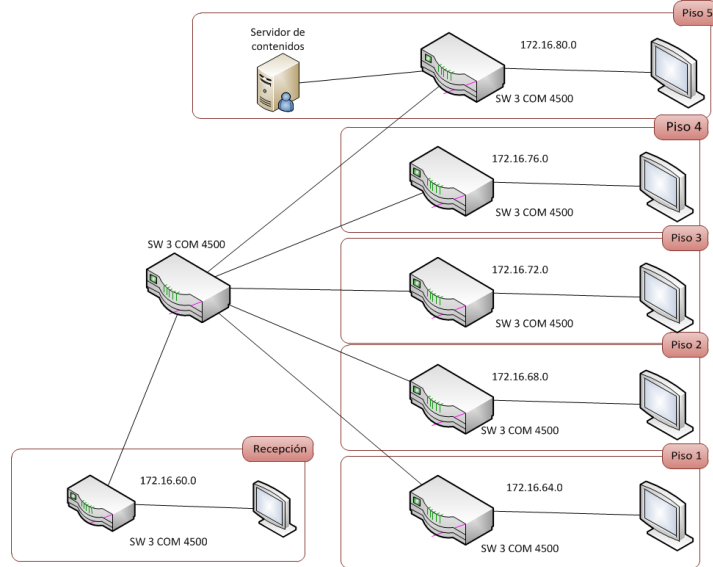
7.4 PROPUESTA DE RED

Al momento de elaborar este trabajo de grado no fue posible tener acceso a la red de operaciones de la Universidad Santo Tomas y por lo tanto tampoco se pudo tener acceso al entorno de configuración de los dispositivos de red. Es por eso que todas las pruebas desarrolladas en este proyecto fueron elaboradas en el laboratorio implementando una red física pequeña, sin embargo fue posible tener acceso a los modelos de enrutamiento utilizados y a la topología física y lógica. Por consiguiente se hace un estudio de capacidad y compatibilidad de red que posee la Universidad Santo Tomas para implementar Digital Signage de modo multicast.

Para llevar a cabo la investigación es necesario tener en cuenta la documentación de la red que existe actualmente, es decir, tener acceso a la información de la topología física y lógica que tiene implementada, posteriormente es indispensable hacer el inventario de dispositivos actuales en la Universidad y analizar si son aptos para cumplir dicha finalidad propuesta en este proyecto.

Para establecer la topología física y lógica es necesario entender y analizar la estructura de red que tiene la Universidad Santo Tomas con sede en florida (lugar donde estará alojado el servidor de contenidos), asimismo, de esos análisis concluir si la estructura de red establecida actualmente cumple con los requisitos para transmitir contenido dinámico de manera multicast y con el ancho de banda suficiente para circular el tráfico, por lo tanto, La Figura 24 ilustra la topología física que el edificio Santander actualmente tiene distribuida.

Figura 24. Topología física y lógica Edif. Santander.



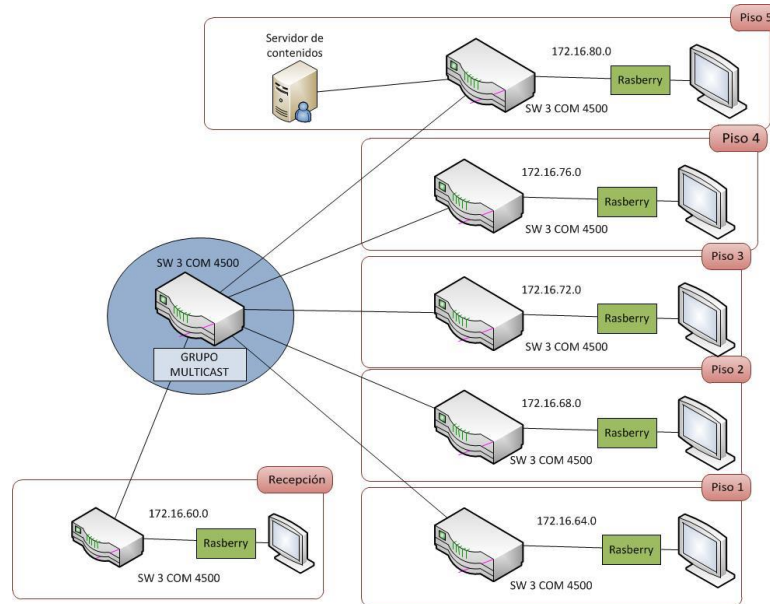
La Figura 24 ilustra la topología física y lógica en el edificio Santander de la Universidad Santo Tomas de Floridablanca, en el momento que se desarrolló este proyecto la topología desplegada es la que muestra la figura 24, asimismo, el servidor de contenidos estaría alojado en el salón de maestría ubicado en el quinto piso, el cual tiene una VLAN dedicada para que circule todo el tráfico y por lo tanto tener un ancho de banda dedicado, el edificio se dividió en “subnetting” con direcciones privadas clase c para el enrutamiento unicast, por lo tanto existen direcciones unicast disponibles para el servidor de contenidos y los televisores que recibirán el contenido dinámico.

En la tarea de conocer los tipos y modelos de enrutadores disponibles en la Universidad fue posible analizar que tiene desplegado en el edificio Santander switches capa 3 COM 4500 marca HP capaces de soportar enrutamiento dinámico y a vez comportarse como switches capa 2. El enrutador tiene la capacidad de trabajar con puertos 10Base-T y 100Base-T (10/100) proporcionando un ancho de banda hasta de 100 Mbps por puerto, además soporta IGMPv1 e IGMPv2 (véase 4.4.3) con filtrado hasta de 128 grupos multicast, por lo tanto resulta adecuado el enrutador que actualmente tiene la Universidad para el tráfico multicast.

La universidad posee televisores marca LG para presentar información de interés durante el día, estos televisores fueron adquiridos unos años antes del desarrollo del este proyecto, pero tienen la capacidad de recibir y presentar contenido a través de una interface HDMI por lo que son aceptables para este proyecto, ya que el contenido dinámico o multimedia es presentado al usuario a través de la tarjeta Raspberry conectada a una interface HDMI con el televisor, por lo tanto se logra integrar el sistema propuesto en este proyecto con los televisores actuales

que posee la Universidad Santo Tomas, por lo tanto, teniendo en cuenta los estudios realizados y descritos en esta sección, la propuesta de la topología física y lógica con el sistema multicast digital signage implementado queda como lo muestra la Figura 25.

Figura 25. Topología física y logica con sistema multicast digital signage Edif. Santander



Como lo muestra la Figura 25, el comparativo entre la topología mostrada en la Figura 24 es similar a la topología mostrada en la Figura 25, sin embargo se incluiría en la topología lógica el direccionamiento multicast y en la topología física la adición de las tarjetas Raspberry junto a los televisores asignados por la Universidad, por otra parte, la siguiente etapa lograda fue la emisión del contenido desde el servidor de digital signage ubicado en la sede de florida y recibirlo de manera unicast a través de la tarjeta Raspberry y el televisor así como se muestra en el Anexo L.

7.5 IMPACTO LOGRADO

La proyección de este trabajo de grado favorece a la línea de investigación multimedia del grupo UNITEL, a su vez, al consultorio TIC en base a temas relacionados con el área de distribución de redes de campus que generen o utilicen servicios vinculados con digital signage. Por su parte, es el inicio de una línea de investigación que abre la posibilidad a la facultad de ingeniería de telecomunicaciones de desarrollar proyectos futuros ligados al tema en cuestión, asimismo, existe un impacto personal del desarrollador de esta memoria de grado

ya que formó, estudió y aprendió una metodología paralela de investigación y de implementación.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Para implementar el servidor de contenidos o servidor streaming que fuese capaz de generar el contenido multimedia a través de RTP se concluye que VLC es el sistema adecuado para cumplir a cabalidad las tareas propuestas.

Para establecer un diseño de red multicast que fuese capaz de transportar la información dinámica o contenido dinámico desde el servidor de contenidos hasta los receptores se utilizaron dispositivos físicos Cisco 1841 proporcionados por la universidad, el protocolo de enrutamiento multicast utilizado fue PIM-SM y el protocolo para la asignación al grupo multicast por parte de los receptores (Raspberry) y servidor streaming fue IGMPv2.

El player establecido como cliente multimedia utilizado en esta memoria fue el cliente multimedia omxplayer embebido en la tarjeta Raspberry Pi B+, ya que tiene la capacidad de recibir sesiones multicast a través de RTP.

A pesar de ser un marco que trabaja bajo UDP, en las pruebas visuales y datos obtenidos a través de las herramientas de evaluación se logró captar los bajos índices de pérdida de paquetes en entorno LAN para transmisiones unicast y multicast, por otro lado, de los datos obtenidos, el delay para transmisiones multicast es mucho menor a comparación a las transmisiones unicast, además, el factor que toma protagonismo al momento de escoger el tipo de tasa de bits a utilizar es la capacidad de procesamiento que tiene el receptor, es decir, la tarjeta Raspberry, por lo tanto, según las pruebas de laboratorio en el esquema propuesto y las visualizaciones obtenidas se concluye que la tasa de bits sugerida es de 512 kbps ya que genera la menor cantidad de cortes mientras es emitido el contenido desde la fuente.

De la red en operaciones de la Universidad Santo Tomas y las investigaciones a los dispositivos de red, además de los televisores adquiridos hace un tiempo antes por la Universidad, se concluyó que todo en conjunto tiene la capacidad de resolver el marco estructural planteado en este proyecto, por lo tanto reduce aún más el presupuesto con respecto a los métodos implementados por las empresas privadas encargadas de proporcionar esta tecnología, asimismo, da la posibilidad de una implementación si así lo concluye la Universidad Santo Tomas

8.2 RECOMENDACIONES

Es importante considerar que en el momento de realizar este trabajo de grado, no es posible recibir un contenido con una resolución bastante alta sin que existan cortes y saltos en una sesión con movimientos repetitivos constantemente, es por

eso que quedó establecido como 512 Kbps como la tasa de bits recomendable para que exista una calidad de experiencia aceptable del contenido dinámico, además, esto depende de la capacidad de procesamiento que posea el receptor para reordenar los paquetes en el menor tiempo posible y acotar la latencia producida, es por eso que la capacidad de procesamiento en una versión mayor de Raspberry reduciría un poco más estos efectos.

8.3 TRABAJO FUTURO

Este estudio fue basando en el diseño e implementación de un sistema para la transmisión Digital Signage en la Universidad Santo Tomas fijando un emisor y un receptor en una red pequeña con soporte multicast. Teniendo en cuenta lo anterior, el siguiente paso es establecer el mismo diseño y marco topológico sin necesidad de dispositivos externos como puente para visualizar el contenido, siendo el televisor el encargado de recibir el contenido a través del navegador o en el reproductor, además, sería adecuado establecer un sistema para enviar cualquier tipo de información de manera multicast y recibirlos vía web.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA ESCOBAR, Mauro Antonio y TREMINIO HENRIQUEZ, Jorge Eliseo. Estudio De IP/TV Multicasting Para La Universidad De Bosco. San Salvador.: Universidad Don Bosco, 2007.

ALBANNA, Zaid, et al. Iana Guidelines for ipv4 Multicast Address Assignments. IETF. Agosto 2001. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc3171>

ARAYA SOTO, Miguel Ángel. Diseño e implementación de un sistema para la gestión de contenido multimedia y su difusión a través de pantallas. Trabajo de grado Ingeniero civil en informática. Valdivia.: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil en Informática, 2012. P. 64

ARCEIZ BAQUERO, Jose Luis. Multicast-Mbone. Scribd. [Consultado el 03/17/2015]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/97331262/MULTICAST-MBONE>. P. 7

ARRIBAS VALENCIA, Francisco Valencia. Manual Básico De Configuración De Redes Cisco. 2nd ed. Lulu.com, Septiembre 28, 2011. 252 p.

CABEZAS, Gil. Protocolo De Transporte En Tiempo Real –RTP-. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <http://www.uco.es/~i62gicaj/RTP.pdf>. p. 3.

CAIN, Brad, et al. Internet Group Management Protocol, Version 3. IETF. Octubre 2002. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc3376>

CALYAM, P., et al. Impact of Router Queuing Disciplines on Multimedia QoE in IPTV Deployments. En: Quality of Multimedia Experience, 2009. QoMEX 2009. International Workshop on. 2009. p. 92-97

CISCO. Cisco Networking Academy. [Curso administración de computadores Cisco CCNA] Bucaramanga, Santander. 2014.

DEERING, Stephen E. Host Extensions for IP Multicasting. IETF. Agosto 1989. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc1054>

FENNER, William C. Internet Group Management Protocol, Version 2. IETF. Noviembre 1997. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc2236>

FERNÁNDEZ, Jorge. Multicast. CCAPITALIA. Agosto 2009. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <http://www.ccapitalia.net/?cat=15&paged=2>

GARCÍA GAONA, Paulo Alonso y GARCÍA GAONA, Elvis Eduardo. Direccionamiento multicast y su aplicación a nivel de tráfico multimedial sobre redes de alta velocidad. En: VISION ELECTRÓNICA: ALGO MÁS QUE UN ESTADO SÓLIDO. Vol. 4, no. 1, p. 32-46

GROSS, J., et al. Cross-layer optimization of OFDM transmission systems for MPEG-4 video streaming. En: COMPUTER COMMUNICATIONS. 7/1.vol. 27, no. 11, p. 1044-1055

HANDLEY, Mark, PERKINS, Colin y JACOBSON, Van. SDP: Session Description Protocol. IETF. Julio 2006. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <http://tools.ietf.org/html/rfc4566.html>

HERNÁNDEZ, Ignacio; SANGUINETTI, José Carlos y LOMBIDE, Alejandro. Ingeniería De Tráfico Para Multicast Sobre MPLS. Montevideo.: Universidad de la república. Facultad de ingeniería. Instituto de ingeniería eléctrica, 2005.

HILLESTAD, Odd Inge; LIBAK, B. y PERKIS, A. Performance Evaluation of Multimedia Services Over IP Networks. En: Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on. 2005. p. 1464-1467

JACOBSON, Van, et al. Rtp: A Transport Protocol for Real-Time Applications. IETF. Julio 2003. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: <http://tools.ietf.org/html/rfc3550>

KLAUE, Jirka; RATHKE, Berthold y WOLISZ, Adam. Evalvid—A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation. En: KEMPER, Peter, H, Sanders, William. Computer Performance Evaluation. Modelling Techniques and Tools. Berlin: Springer, 2003. 255-272 p. ISBN 0302-9743/978-3-540-45232-4

LE FEUVRE, Jean, et al. Experimenting with Multimedia Advances using GPAC. En: Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia. ACM, 2011. P. 715-718

Li Lao, et al. Scalable and Adaptive Multicast Video Streaming for Heterogeneous and Mobile Users. En: Wireless Communication Systems, 2005. 2nd International Symposium on. 2005. p. 178-182

O'NEIL, Timothy M. Quality of experience and quality of service for IP video conferencing. En: POLYCOM VIDEO COMMUNICATIONS, MILPITAS, CA, USA, WHITE PAPER.

PEHLIVAN,S., et al. End-to-End Stereoscopic Video Streaming System. En: Multimedia and Expo, 2006 IEEE International Conference on.2006. p. 2169-2172

PIEDRA OSUNA,Marcos y FRANCO PUNTES,Daniel. Estudio De Los Mensajes De Control Del Protocolo Multicast PIM SM. Barcelona.: Universitat Autònoma de Barcelona. Escola d'Enginyeria, 2013.

SCHULZRINNE,Henning y CASNER,Stephen. RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. IEFT. Julio 2003. [Consultado el marzo/17/2015]. Disponible en: http://tools.ietf.org/html/rfc3551?christopljw_session=hfoco9qkna21qrlnq0fe9qisq6

UBUNTU. Download Ubuntu Desktop. Marzo 2015. [Consultado el 03/19/2015]. Disponible en: <http://www.ubuntu.com/download/desktop>

UPTON,Eben y HALFACREEE,Gareth. Raspberry Pi User Guide. 3rd ed. Londres: John Wiley & Sons, 2014. 312 p.

Anexo A. ESTANDAR PARA CODIFICACIÓN DE AUDIO Y VIDEO.

Figura 26. RTP Payload types (PT) for standard audio and video encodings .

PT	Encoding Name	Audio/Video (A/V)	Clock Rate (Hz)	Channels	Reference
0	PCMU	A	8000	1	[RFC3551]
1	Reserved				
2	Reserved				
3	GSM	A	8000	1	[RFC3551]
4	G723	A	8000	1	[Vineet_Kumar][RFC3551]
5	DVI4	A	8000	1	[RFC3551]
6	DVI4	A	16000	1	[RFC3551]
7	LPC	A	8000	1	[RFC3551]
8	PCMA	A	8000	1	[RFC3551]
9	G722	A	8000	1	[RFC3551]
10	L16	A	44100	2	[RFC3551]
11	L16	A	44100	1	[RFC3551]
12	QCELP	A	8000	1	[RFC3551]
13	CN	A	8000	1	[RFC3389]
14	MPA	A	90000		[RFC3551][RFC2250]
15	G728	A	8000	1	[RFC3551]
16	DVI4	A	11025	1	[Joseph_Di_Po]
17	DVI4	A	22050	1	[Joseph_Di_Po]
18	G729	A	8000	1	[RFC3551]
19	Reserved	A			
20	Unassigned	A			
21	Unassigned	A			
22	Unassigned	A			
23	Unassigned	A			
24	Unassigned	V			
25	CeIB	V	90000		[RFC2029]
26	JPEG	V	90000		[RFC2435]
27	Unassigned	V			
28	nv	V	90000		[RFC3551]
29	Unassigned	V			
30	Unassigned	V			
31	H261	V	90000		[RFC4587]
32	MPV	V	90000		[RFC2250]
33	MP2T	AV	90000		[RFC2250]
34	H263	V	90000		[Chunrong_Zhu]
35-71	Unassigned	?			
72-76	Reserved for RTCP conflict avoidance				[RFC3551]
77-95	Unassigned	?			
96-127	dynamic	?			[RFC3551]

Fuente:⁵⁹

⁵⁹ SCHULZRINNE, Henning y CASNER, Stephen. Real-Time Transport Protocol (RTP) Parameters. Op. cit. p. 1.

Figura 27. RTP Payload Format media types

Media Type	Subtype	Clock Rate (Hz)	Channels (audio)	Reference
application	1d-interleaved-parityfec			[RFC8015]
application	h224	4800		[RFC4573]
application	parityfec			[RFC3009]
application	raptorfec			[RFC8882]
application	rtx			[RFC4588]
application	smpte330m			[RFC5597]
application	ulpfec			[RFC5109]
audio	1d-interleaved-parityfec			[RFC8015]
audio	32kadpcm	8000		[RFC3802][RFC2421]
audio	ac3			[RFC4184]
audio	AMR	8000		[RFC4867][RFC3267]
audio	AMR-WB	16000		[RFC4867][RFC3267]
audio	amr-wb+	72000		[RFC4352]
audio	atrac3	44100		[RFC5584]
audio	ATRAC-ADVANCED-LOSSLESS			[RFC5584]
audio	atrac-x			[RFC5584]
audio	BV16	8000		[RFC4298]
audio	BV32	16000		[RFC4298]
audio	clearmode	8000	1	[RFC4040]
audio	CN			[RFC3389]
audio	DAT12			[RFC3190]
audio	dss-es201108			[RFC3557]
audio	dss-es202050	8000		[RFC4080]
audio	dss-es202211	8000		[RFC4080]
audio	dss-es202212	8000		[RFC4080]
audio	DV			[RFC4869]
audio	eac3			[RFC4568]
audio	EVRC	8000	1	[RFC4788]
audio	EVRC0	8000	1	[RFC4788]
audio	EVRC1	8000	1	[RFC4788]
audio	EVRCB	8000	1	[RFC4788]
audio	EVRCB0	8000	1	[RFC4788]
audio	EVRCB1	8000	1	[RFC4788]
audio	EVRCWB			[RFC5188]
audio	EVRCWB0			[RFC5188]
audio	EVRCWB1			[RFC5188]
audio	fwdred			[RFC6354]
audio	g719	48000		[RFC5404]
audio	G7221	16000	1	[RFC5577]
audio	G726-16	8000	1	[RFC3551][RFC4856]
audio	G726-24	8000	1	[RFC3551][RFC4856]
audio	G726-32	8000	1	[RFC3551][RFC4856]
audio	G726-40	8000	1	[RFC3551][RFC4856]
audio	G729D	8000	1	[RFC3551][RFC4856]
audio	G729E	8000	1	[RFC3551][RFC4856]
audio	GSM-EFR	8000	1	[RFC3551][RFC4856]
audio	L8			[RFC3551][RFC4856]
audio	raptorfec			[RFC8882]
audio	RED			[RFC2198][RFC3555]
audio	rtx			[RFC4588]
audio	VDVI		1	[RFC3551][RFC4856]
audio	L20			[RFC3190]
audio	L24			[RFC3190]
audio	MP4A-LATM			[RFC3018]

audio	mpa-robust	90000		RFC5219
audio	parityfec			RFC5109
audio	SMV	8000	1	RFC3558
audio	SMVD	8000	1	RFC3558
audio	t140c			RFC4351
audio	t38			RFC4612
audio	telephone-event			RFC4733
audio	tone			RFC4733
audio	DVI4			RFC4856
audio	G722			RFC4856
audio	G723			RFC4856
audio	G728			RFC4856
audio	G729			RFC4856
audio	GSM			RFC4856
audio	L16			RFC4856
audio	LPC			RFC4856
audio	PCMA			RFC4856
audio	PCMU			RFC4856
audio	G7291	16000		RFC4749 RFC5459
audio	GSM-HR-08	8000		RFC5993
audio	iLBC	8000		RFC3952
audio	ip-mr_v2.5	16000		RFC8282
audio	MPA	90000		RFC3555
audio	mpeg4-generic			RFC3640 RFC5891 RFC8295
audio	PCMA-WB	16000		RFC5391
audio	PCMU-WB	16000		RFC5391
audio	QCELP			RFC3555
audio	rtp-midi			RFC8295
audio	speex			RFC5574
audio	uemclip			RFC5886
audio	ulpfec			RFC5109
audio	VMR-WB	16000		RFC4348 RFC4424
audio	vorbis			RFC5215
audio	vorbis-config			RFC5215
text	1d-interleaved-parityfec			RFC8015
text	fwtdred			RFC8354
text	parityfec			RFC3009
text	raptorfec			RFC6682
text	red	1000		RFC4102
text	rtx			RFC4588
text	t140	1000		RFC4103
text	ulpfec			RFC5109
video	BMPEG	90000		RFC2343 RFC3555
video	1d-interleaved-parityfec			RFC8015
video	3gpp-tt			RFC4398
video	BT656	90000		RFC2431 RFC3555
video	ce1B			RFC3555
video	DV	90000		RFC8489
video	H261			RFC4587
video	H263	90000		RFC4628
video	H263-1998	90000		RFC4629
video	H263-2000	90000		RFC4629
video	H264			RFC8184
video	H264-RCDO	90000		RFC8185
video	H264-SVC			RFC8190
video	JPEG			RFC3555
video	JPEG2000			RFC5371
video	MP1S	90000		RFC2250 RFC3555
video	MP2P	90000		RFC2250 RFC3555
video	MP2T			RFC3555
video	MP4V-ES	90000		RFC3016
video	mpeg4-generic			RFC3640
video	MPV			RFC3555
video	nv			RFC4856
video	parityfec			RFC5109
video	pointer	90000		RFC2882
video	raptorfec			RFC6682
video	raw	90000		RFC4175
video	rtx			RFC4588
video	SMPTE292M			RFC3497
video	ulpfec			RFC5109
video	vc1	90000		RFC4426

Fuente.⁶⁰

⁶⁰ Ibid., p. 1.

Anexo B. CONFIGURACIÓN VLC EMISIÓN PANTALLA

A continuación se mostrará en imágenes los pasos de la configuración para la emisión de pantalla en el servidor streaming.

Figura 28. Paso 1.

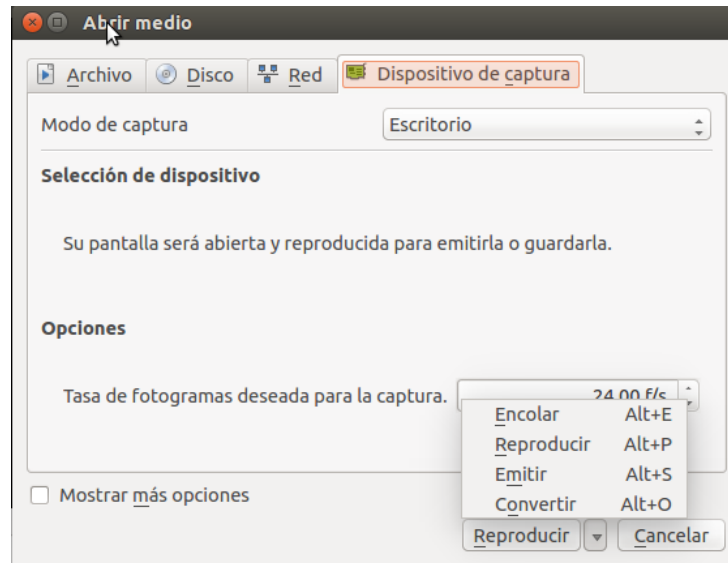


Figura 29. Paso 2.

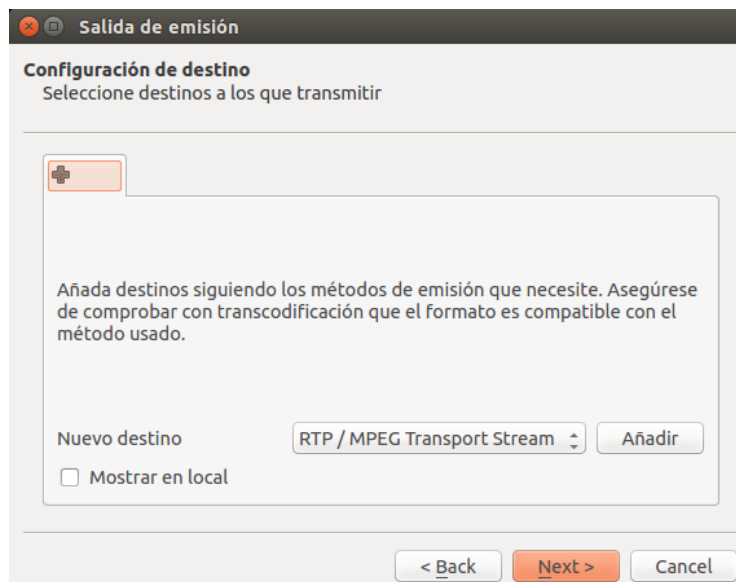


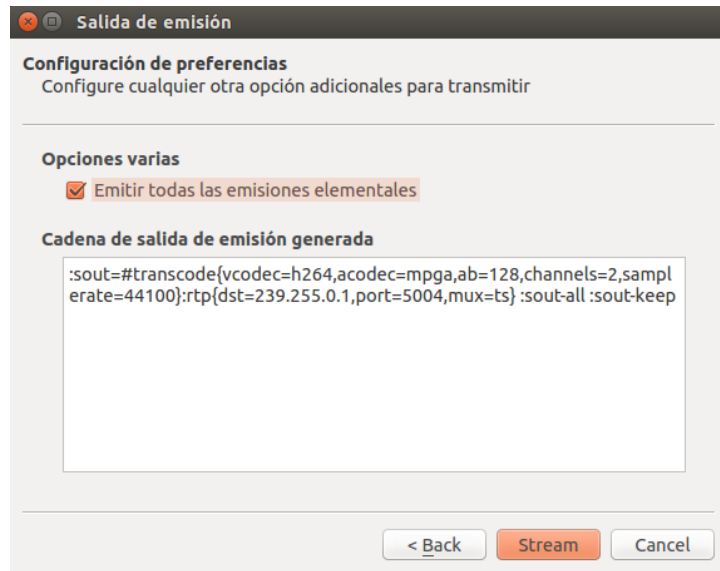
Figura 30. Paso 3.

The screenshot shows a window titled "Salida de emisión" with a sub-header "Configuración de destino" and the instruction "Seleccione destinos a los que transmitir". Below this, there is a tab labeled "RTP/TS" with a plus sign on the left and a close icon on the right. The main content area contains the text "Este módulo envía la emisión transcodificada a una red a través de RTP." followed by three input fields: "Dirección" with the value "239.255.0.1", "Puerto base" with a dropdown menu showing "5004", and "Nombre de emisión" which is currently empty. At the bottom right, there are three buttons: "< Back", "Next >" (highlighted in orange), and "Cancel".

Figura 31. Paso 4.

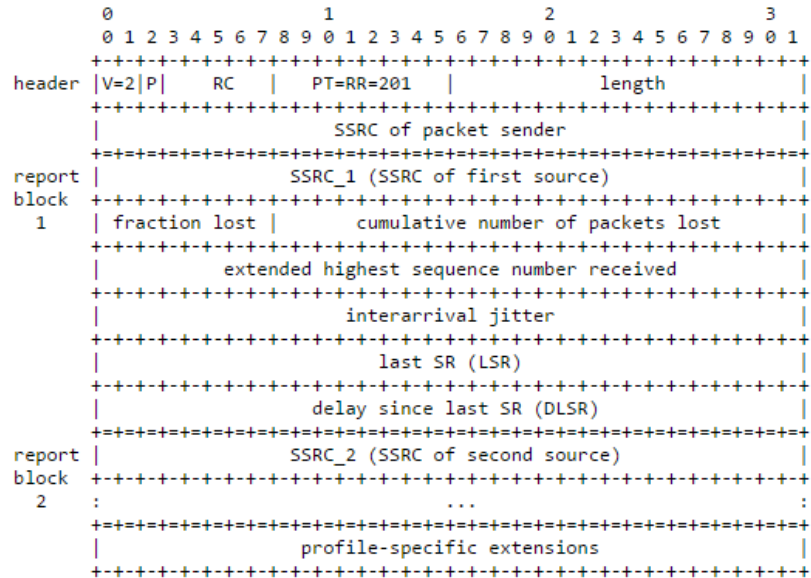
The screenshot shows the same "Salida de emisión" window, now at the "Opciones de transcodificación" step with the instruction "Seleccione y elija opciones de transcodificación". A checkbox labeled "Habilitar transcodificar" is checked. Below it, there is a "Perfil" dropdown menu showing "Video - H.264 + MP3 (MP4)". To the right of the dropdown are three icons: a magnifying glass, a red 'X', and a document icon. At the bottom right, there are three buttons: "< Back", "Next >" (highlighted in orange), and "Cancel".

Figura 32. Paso 5.



Anexo C. PAQUETE RECEPTOR RTCP

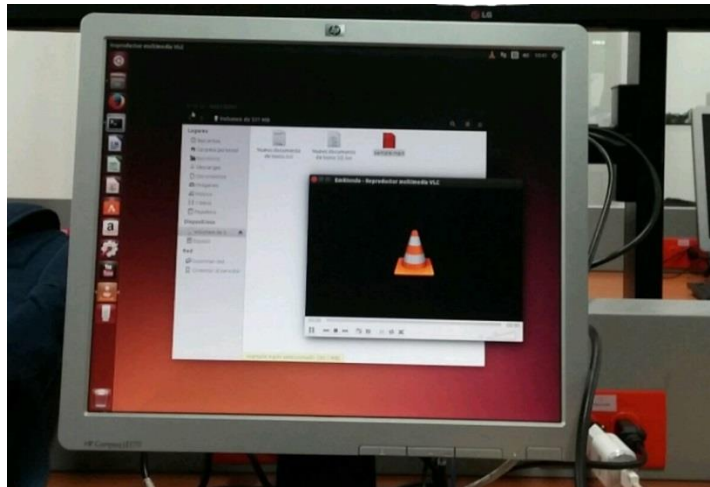
Figura 33. Estructura paquete RTCP.



Fuente:⁶¹

ANEXO D. SERVIDOR DE CONTENIDOS

Figura 34. Servidor de contenidos.



⁶¹ JACOBSON, Van, et al. Rtp: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Op. cit. p. 35

ANEXO E. DISPOSITIVOS DE RED

Figura 35. Router Cisco 1841-frontal-.



Figura 36. Router Cisco 1841-posterior- .



Anexo F. ARCHIVOS DE CONFIGURACIÓN DE ROUTERS CISCO

```
RP#sh run

ip multicast-routing

!

interface FastEthernet0/0

ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

ip pim sparse-mode

ip igmp join-group 239.255.0.1

duplex auto

speed auto

!

interface Serial0/0/0

ip address 10.2.12.2 255.255.255.252

ip pim sparse-mode

no fair-queue

clock rate 128000

!

interface Serial0/0/1

ip address 10.2.10.1 255.255.255.252

ip pim sparse-mode

clock rate 128000

!

router ospf 1
```

```
router-id 1.1.1.1
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip pim rp-address 10.1.1.2
```

```
RS1#sh run
```

```
!
ip multicast-routing
!
interface FastEthernet0/0
ip address 10.2.2.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 239.255.0.1
duplex auto
speed auto
!
interface Serial0/0/0
ip address 10.2.11.1 255.255.255.252
ip pim sparse-mode
clockrate 128000
!
```

```
interface Serial0/0/1
 ip address 10.2.10.2 255.255.255.252
 ip pim sparse-mode
!
router ospf 3
 router-id 3.3.3.3
 log-adjacency-changes
 network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
!
 ip classless
!
 no ip http server
 ip pim rp-address 10.1.1.2
```

```
RS2#sh run
```

```
 ip multicast-routing
!
 interface FastEthernet0/0
  ip address 10.2.3.1 255.255.255.0
  ip pim sparse-mode
  ip igmp join-group 239.255.0.1
  duplex auto
  speed auto
!
 interface Serial0/0/0
```

```
ip address 10.2.11.2 255.255.255.252
ip pim sparse-mode
!
interface Serial0/0/1
ip address 10.2.12.1 255.255.255.252
ip pim sparse-mode
!
router ospf 2
router-id 2.2.2.2
log-adjacency-changes
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
!
ip pim rp-address 10.1.1.2
```

Anexo G COMANDOS DE VERIFICACIÓN MULTICAST

```
RP#sh ip mr count
IP Multicast Statistics
4 routes using 3300 bytes of memory
3 groups, 0.33 average sources per group
Forwarding Counts: Pkt Count/Pkts per second/Avg Pkt Size/Kilobits per second
Other counts: Total/RPF failed/Other drops(OIF-null, rate-limit etc)
Group: 239.255.0.1, Source count: 1, Packets forwarded: 6492, Packets received:
6492
RP-tree: Forwarding: 1/0/60/0, Other: 1/0/0
```

Source: 10.1.1.5/32, Forwarding: 6491/104/1353/1126, Other: 6491/0/0

Group: 239.255.255.250, Source count: 0, Packets forwarded: 0, Packets received: 0

Group: 224.0.1.40, Source count: 0, Packets forwarded: 0, Packets received: 0

RS2#sh ip mr count

IP Multicast Statistics

4 routes using 1922 bytes of memory

3 groups, 0.33 average sources per group

Forwarding Counts: Pkt Count/Pkts per second/Avg Pkt Size/Kilobits per second

Other counts: Total/RPF failed/Other drops(OIF-null, rate-limit etc)

Group: 239.255.0.1, Source count: 1, Packets forwarded: 338, Packets received: 338

RP-tree: Forwarding: 0/0/0/0, Other: 0/0/0

Source: 10.1.1.5/32, Forwarding: 338/11/1348/120, Other: 338/0/0

Group: 239.255.255.250, Source count: 0, Packets forwarded: 0, Packets received: 0

Group: 224.0.1.40, Source count: 0, Packets forwarded: 0, Packets received: 0

RP#sh ip igmp groups

IGMP Connected Group Membership

Group Address	Interface	Uptime	Expires	Last Reporter	Group Accounted
239.255.0.1	FastEthernet0/0	01:44:42	00:02:26	10.1.1.5	
239.255.255.250	FastEthernet0/0	01:24:32	00:02:28	10.1.1.5	
224.0.1.40	Serial0/0/0	01:38:55	stopped	10.2.12.2	

RS2#sh ip igmp groups

IGMP Connected Group Membership

Group Address Accounted	Interface	Uptime	Expires	Last Reporter	Group
239.255.0.1	FastEthernet0/0	01:41:27	00:02:10	10.2.3.1	
239.255.255.250	FastEthernet0/0	01:28:49	00:02:13	10.2.3.4	
224.0.1.40	Serial0/0/1	01:39:42	stopped	10.2.12.1	

RP#sh ip igmp interface

FastEthernet0/0 is up, line protocol is up

Internet address is 10.1.1.2/24

IGMP is enabled on interface

Current IGMP host version is 2

Current IGMP router version is 2

IGMP query interval is 60 seconds

IGMP configured query interval is 60 seconds

IGMP querier timeout is 120 seconds

IGMP configured querier timeout is 120 seconds

IGMP max query response time is 10 seconds

Last member query count is 2

Last member query response interval is 1000 ms

Inbound IGMP access group is not set

IGMP activity: 2 joins, 0 leaves

Multicast routing is enabled on interface

Multicast TTL threshold is 0

Multicast designated router (DR) is 10.1.1.2 (this system)

IGMP querying router is 10.1.1.2 (this system)

Multicast groups joined by this system (number of users):

239.255.0.1(1)

FastEthernet0/1 is administratively down, line protocol is down

Internet protocol processing disabled

Serial0/0/0 is up, line protocol is up

Internet address is 10.2.12.2/30

IGMP is enabled on interface

Current IGMP host version is 2

Current IGMP router version is 2

IGMP query interval is 60 seconds

IGMP configured query interval is 60 seconds

IGMP querier timeout is 120 seconds

IGMP configured querier timeout is 120 seconds

IGMP max query response time is 10 seconds

Last member query count is 2

Last member query response interval is 1000 ms

Inbound IGMP access group is not set

IGMP activity: 2 joins, 1 leaves

Multicast routing is enabled on interface

Multicast TTL threshold is 0

IGMP querying router is 0.0.0.0 (this system)

Multicast groups joined by this system (number of users):

224.0.1.40(1)

Serial0/0/1 is up, line protocol is up
Internet address is 10.2.10.1/30
IGMP is enabled on interface
Current IGMP host version is 2
Current IGMP router version is 2
IGMP query interval is 60 seconds
IGMP configured query interval is 60 seconds
IGMP querier timeout is 120 seconds
IGMP configured querier timeout is 120 seconds
IGMP max query response time is 10 seconds
Last member query count is 2
Last member query response interval is 1000 ms
Inbound IGMP access group is not set
IGMP activity: 0 joins, 0 leaves
Multicast routing is enabled on interface
Multicast TTL threshold is 0
IGMP querying router is 0.0.0.0 (this system)
No multicast groups joined by this system

RS2#sh ip igmp int

FastEthernet0/0 is up, line protocol is up
Internet address is 10.2.3.1/24
IGMP is enabled on interface
Current IGMP host version is 2

Current IGMP router version is 2
IGMP query interval is 60 seconds
IGMP configured query interval is 60 seconds
IGMP querier timeout is 120 seconds
IGMP configured querier timeout is 120 seconds
IGMP max query response time is 10 seconds
Last member query count is 2
Last member query response interval is 1000 ms
Inbound IGMP access group is not set
IGMP activity: 2 joins, 0 leaves
Multicast routing is enabled on interface
Multicast TTL threshold is 0
Multicast designated router (DR) is 10.2.3.1 (this system)
IGMP querying router is 10.2.3.1 (this system)
Multicast groups joined by this system (number of users):
 239.255.0.1(1)
Serial0/0/0 is up, line protocol is up
Internet address is 10.2.11.2/30
IGMP is enabled on interface
Current IGMP host version is 2
Current IGMP router version is 2
IGMP query interval is 60 seconds
IGMP configured query interval is 60 seconds
IGMP querier timeout is 120 seconds

IGMP configured querier timeout is 120 seconds
IGMP max query response time is 10 seconds
Last member query count is 2
Last member query response interval is 1000 ms
Inbound IGMP access group is not set
IGMP activity: 0 joins, 0 leaves
Multicast routing is enabled on interface
Multicast TTL threshold is 0
IGMP querying router is 0.0.0.0 (this system)
No multicast groups joined by this system
Serial0/0/1 is up, line protocol is up
Internet address is 10.2.12.1/30
IGMP is enabled on interface
Current IGMP host version is 2
Current IGMP router version is 2
IGMP query interval is 60 seconds
IGMP configured query interval is 60 seconds
IGMP querier timeout is 120 seconds
IGMP configured querier timeout is 120 seconds
IGMP max query response time is 10 seconds
Last member query count is 2
Last member query response interval is 1000 ms
Inbound IGMP access group is not set
IGMP activity: 1 joins, 0 leaves

Multicast routing is enabled on interface

Multicast TTL threshold is 0

IGMP querying router is 0.0.0.0 (this system)

Multicast groups joined by this system (number of users):

224.0.1.40(1)

RP#sh ip mroute

Outgoing interface flags: H – Hardware switched, A – Assert winner

Timers: Uptime/Expires

Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(* , 239.255.0.1), 01:29:59/00:03:20, RP 10.1.1.2, flags: SJCL

Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0

Outgoing interface list:

Serial0/0/1, Forward/Sparse, 00:45:45/00:02:40

Serial0/0/0, Forward/Sparse, 01:27:13/00:03:20

FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 01:27:16/00:02:43

(10.1.1.5, 239.255.0.1), 00:00:49/00:02:40, flags: LT

Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 0.0.0.0

Outgoing interface list:

Serial0/0/1, Forward/Sparse, 00:00:49/00:02:40

Serial0/0/0, Forward/Sparse, 00:00:49/00:03:20

(* , 239.255.255.250), 01:29:50/00:03:19, RP 10.1.1.2, flags: SJC

Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0

Outgoing interface list:

Serial0/0/1, Forward/Sparse, 00:45:45/00:03:03

```
Serial0/0/0, Forward/Sparse, 01:27:13/00:03:19
FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 01:27:16/00:02:44
(*, 224.0.1.40), 01:41:40/00:03:01, RP 10.1.1.2, flags: SJCL
Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
  Serial0/0/1, Forward/Sparse, 01:29:50/00:02:39
  Serial0/0/0, Forward/Sparse, 01:41:40/00:03:01
```

```
RS2#sh ip mr
```

```
Outgoing interface flags: H – Hardware switched, A – Assert winner
```

```
Timers: Uptime/Expires
```

```
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode
```

```
(*, 239.255.0.1), 01:32:34/stopped, RP 10.1.1.2, flags: SJCL
```

```
Incoming interface: Serial0/0/1, RPF nbr 10.2.12.2
```

```
Outgoing interface list:
```

```
  FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 01:32:33/00:02:25
```

```
(10.1.1.5, 239.255.0.1), 00:05:30/00:01:17, flags: LJT
```

```
Incoming interface: Serial0/0/1, RPF nbr 10.2.12.2
```

```
Outgoing interface list:
```

```
  FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:05:30/00:02:25
```

```
(*, 239.255.255.250), 01:31:33/00:02:26, RP 10.1.1.2, flags: SJC
```

```
Incoming interface: Serial0/0/1, RPF nbr 10.2.12.2
```

```
Outgoing interface list:
```

```
  FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 01:31:33/00:02:26
```

```
(*, 224.0.1.40), 01:42:26/stopped, RP 10.1.1.2, flags: SJPCL
```

Incoming interface: Serial0/0/1, RPF nbr 10.2.12.2

Outgoing interface list: Null

RP#sh ip 100 hip100t

Address	Interface	Ver/	Nbr	Query	DR	DR
	Mode	Count	Intvl	Prior		
10.1.1.2	FastEthernet0/0	v2/S	0	30	1	10.1.1.2
0.0.0.0	FastEthernet0/1	v2/S	0	30	1	0.0.0.0
10.2.12.2	Serial0/0/0	v2/S	1	30	1	0.0.0.0
10.2.10.1	Serial0/0/1	v2/S	1	30	1	0.0.0.0

RS2#sh ip 100 hip100t

Address	Interface	Ver/	Nbr	Query	DR	DR
	Mode	Count	Intvl	Prior		
10.2.3.1	FastEthernet0/0	v2/S	0	30	1	10.2.3.1
10.2.11.2	Serial0/0/0	v2/S	1	30	1	0.0.0.0
10.2.12.1	Serial0/0/1	v2/S	1	30	1	0.0.0.0

RP#sh ip pim neighbor

PIM Neighbor Table

Mode: B – Bidir Capable, DR – Designated Router, N – Default DR Priority,

P – Proxy Capable, S – State Refresh Capable, G – GenID Capable

Neighbor	Interface	Uptime/Expires	Ver	DR
Address			Prio/Mode	
10.2.12.1	Serial0/0/0	01:43:45/00:01:44	v2	1 / S P G
10.2.10.2	Serial0/0/1	01:42:17/00:01:24	v2	1 / S G

```
*****  
RS2#sh ip pim neighbor
```

PIM Neighbor Table

Mode: B – Bidir Capable, DR – Designated Router, N – Default DR Priority,
P – Proxy Capable, S – State Refresh Capable, G – GenID Capable

Neighbor Address	Interface	Uptime/Expires	Ver	DR
10.2.11.1	Serial0/0/0	01:42:54/00:01:20	v2	1 / S G
10.2.12.2	Serial0/0/1	01:44:12/00:01:21	v2	1 / S P G

```
RP#sh ip pim rp
```

Group: 239.255.0.1, RP: 10.1.1.2, next RP-reachable in 00:00:31

Group: 239.255.255.250, RP: 10.1.1.2, next RP-reachable in 00:00:40

Group: 224.0.1.40, RP: 10.1.1.2, next RP-reachable in 00:00:38

```
*****  
RS2#sh ip pim rp
```

Group: 239.255.0.1, RP: 10.1.1.2, v2, uptime 01:35:35, expires never

Group: 239.255.255.250, RP: 10.1.1.2, v2, uptime 01:34:32, expires never

Group: 224.0.1.40, RP: 10.1.1.2, v2, uptime 01:45:25, expires never

Anexo H. RASPBERRY PI B+

Figura 37. Raspberry Pi B+



Anexo I. CONTENIDO MULTIMEDIA EN SESIÓN MULTICAST

Figura 38. Contenido multimedia a través de sesiones multicast (3).

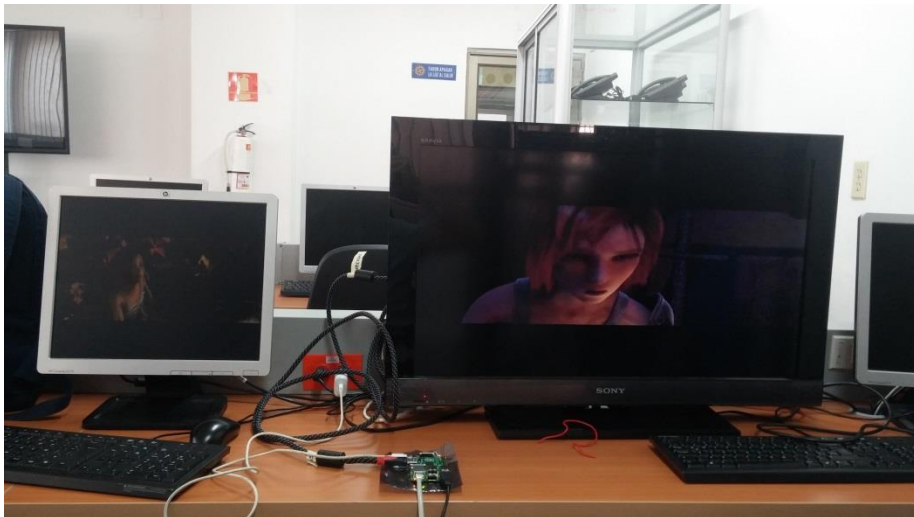


Figura 39. Contenido multimedia a través de sesiones multicast (4).



Anexo J. PAQUETES UDP E IGMP EN WIRESHARK

Figura 40 Trafico UDP en receptor.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
2	0.597398	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
3	0.597403	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
4	1.326524	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
5	1.335871	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
6	1.335879	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
7	2.012170	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
8	2.012175	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
9	2.746180	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
10	2.746186	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
11	2.746189	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
12	2.884038	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
13	3.440226	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
14	3.440232	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
15	4.227238	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
16	4.227244	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
17	4.227247	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
18	5.134942	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
19	5.134948	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
20	5.134951	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004
21	5.924295	10.1.1.5	239.255.0.1	UDP	1370	Source port: 42736 Destination port: 5004

Frame 21: 1370 bytes on wire (10960 bits), 1370 bytes captured (10960 bits)
Ethernet II, Src: Hewlett_79:27:04 (d8:d3:85:79:27:04), Dst: IPv4mcast_7f:00:01 (01:00:5e:7f:00:01)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.1.1.5 (10.1.1.5), Dst: 239.255.0.1 (239.255.0.1)
User Datagram Protocol, Src Port: 42736 (42736), Dst Port: 5004 (5004)
Data (1328 bytes)

Figura 41 Captura IGMP en receptor.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
407	34.8047820	10.2.3.1	224.0.0.1	IGMPv2	60	Membership Query, general
438	37.1814520	10.2.3.4	224.0.0.252	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.252
473	40.1813680	10.2.3.4	239.255.255.250	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.255.250
491	41.6813240	10.2.3.4	224.0.0.251	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.251
498	42.1813300	10.2.3.4	239.255.0.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.0.1
919	94.7990100	10.2.3.1	224.0.0.1	IGMPv2	60	Membership Query, general
920	95.6802550	10.2.3.4	239.255.255.250	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.255.250
923	97.1801780	10.2.3.4	224.0.0.251	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.251
924	97.6801680	10.2.3.4	224.0.0.252	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.252
925	99.1801380	10.2.3.4	239.255.0.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.0.1
942	154.793238	10.2.3.1	224.0.0.1	IGMPv2	60	Membership Query, general
943	155.413385	10.2.3.1	239.255.0.1	IGMPv2	60	Membership Report group 239.255.0.1
946	159.178922	10.2.3.4	224.0.0.252	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.252
948	160.678855	10.2.3.4	224.0.0.251	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.251
950	162.678815	10.2.3.4	239.255.255.250	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.255.250
963	214.787447	10.2.3.1	224.0.0.1	IGMPv2	60	Membership Query, general
967	217.677710	10.2.3.4	239.255.0.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.0.1
968	219.177644	10.2.3.4	224.0.0.252	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.252
970	223.177570	10.2.3.4	224.0.0.251	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.251
971	224.177538	10.2.3.4	239.255.255.250	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.255.250
985	274.781665	10.2.3.1	224.0.0.1	IGMPv2	60	Membership Query, general
986	275.176511	10.2.3.4	224.0.0.251	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.251
987	275.676467	10.2.3.4	224.0.0.252	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.252
991	280.676397	10.2.3.4	239.255.255.250	IGMPv2	46	Membership Report group 239.255.255.250
992	280.801287	10.2.3.1	239.255.0.1	IGMPv2	60	Membership Report group 239.255.0.1
1005	334.775887	10.2.3.1	224.0.0.1	IGMPv2	60	Membership Query, general
1006	335.175278	10.2.3.4	224.0.0.251	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.251
1011	339.675168	10.2.3.4	224.0.0.252	IGMPv2	46	Membership Report group 224.0.0.252

Frame 407: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0
 Ethernet II, Src: Cisco_09:62:36 (b4:a4:e3:09:62:36), Dst: IPv4mcast_01 (01:00:5e:00:00:01)

```

0000 01 00 5e 00 00 01 b4 a4 e3 09 62 36 08 00 45 c0  ..^.....b6..E.
0010 00 1c 04 47 00 00 01 02 c7 d5 0a 02 03 01 e0 00  ...G.....
0020 00 01 11 64 ee 9b 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ...d.....
0030 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
  
```

Anexo K. PASOS PARA UTILIZAR HERRAMIENTAS EVALVID

Emisión:

```
ffmpeg -i contenido_entrada_original.mp4 contenido_salida_original.yuv
```

```
ffmpeg -s size -i contenido_salida_original.yuv -vcodec libx264 -b:v rate -s size -r 24 -g 12 -bf 2 contenido_salida_codificado.h264
```

Nota: size:resolución, Rate:bitrate.

```
MP4Box -hint -mtu 1024 -fps 24 -add contenido_salida_codificado.h264 contenido_salida_codificado.mp4
```

```
mp4trace -f -s dirección_multicast puerto contenido_salida_codificado.mp4 > trace_contenido_salida.log
```

```
tcpdump -n -tt -v udp port puerto > tcp_emisor
```

PSNR:

```
ffmpeg -i contenido_entrada_original.mp4 contenido_salida_original.yuv
```

```
ffmpeg -i contenido_salida_codificado.mp4 contenido_salida_codificado.yuv
```

```
psnr 352 288 420 contenido_salida_original.yuv contenido_salida_codificado.yuv >
psnr.txt
```

Recepción:

```
tcpdump -n -tt -v udp port 12346 > tcp_receptor
```

Reconstruyendo el video:

```
etmp4 -F -x tcp_emisor tcp_receptor trace_contenido_salida.log
video_reconstruido.mp4 video_reconstruido
```

PSNR receptor:

```
ffmpeg -i video_reconstruido.mp4 video_reconstruido.yuv
```

```
psnr 352 288 420 contenido_salida_original.yuv video_reconstruido.yuv >
psnr_receptor.txt
```

MOS:

```
mos /carpeta_con_varios_psnr psnr.txt 25 > mos.txt
```

Anexo L. PRUEBA DE RECEPCIÓN DE CONTENIDO DINÁMICO DE MANERA UNICAST EN FLORIDA

Figura 42 Recepción unicast Digital Signage.



Figura 43 Recepción unicast Digital Signage (2).

