

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### CALIDAD DE SERVICIO EN EL DESPLIEGUE DE UN SERVICIO DE VIDEO STREAMING

Tesis para optar el Título de ingeniero de las telecomunicaciones, que presenta el  
bachiller:

**JOHN ANGEL CALDERÓN ESPINOZA**

**ASESOR: MG. ANTONIO OCAMPO ZÚÑIGA**

Lima, marzo de 2014

## Resumen

En la presente tesis se desarrolla una red de telecomunicaciones que cuenta con la tecnología multicast y calidad de servicio, con el fin de desplegar un servicio de video streaming. Esto se logra a través de MVPN (Multicast VPN), QoS Diffserv (Quality of Service Differentiated Service), y L2 QoS (Layer 2 Quality of Service). A continuación se describe el contenido de cada componente de contiene este documento.

En el capítulo 1, se identificará el actual problema suscitado en la red del servicio que se encuentra en producción, a partir de esto se analizará los requerimientos que las empresas deben tener en cuenta al desplegar servicios similares, asimismo se limitará el alcance y plantearan objetivos para la búsqueda de una solución concreta.

En el capítulo 2, se presentarán los temas necesarios de comprender ya que estos serán los fundamentos sobre los cuales se desarrolle la etapa de diseño e implementación realizada en el capítulo 3. Para lo cual se tendrá en consideración conceptos de multicast, calidad de servicio en capa de red y de enlace, y el uso de software propietario o de código libre disponibles.

Finalmente, en el capítulo 4 se analizarán los resultados conseguidos a partir de las diferentes pruebas realizadas. Además, se realizará un análisis de costos del diseño e implementación del sistema y se brindan las conclusiones y recomendaciones que se obtienen del desarrollo de esta tesis.

## Dedicatoria

*A mis padres Yolanda y Carlos,  
a mis hermanos Erick y Ericka  
y a mi sobrina Melanie*

*Por su constante apoyo e inspiración para superar todos mis retos.*



## Índice

Introducción .....	1
Capítulo 1: Identificación del problema en la red del servicio.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Estudio del escenario actual .....	3
1.2.1 Problema actual.....	3
1.2.2 Necesidades de la red del servicio.....	3
1.3 Objetivos .....	4
Capítulo 2: Conceptos de video streaming.....	5
2.1 Definición .....	5
2.2 Protocolo Multicast.....	5
2.2.1 IGMP .....	5
2.2.2 PIM .....	6
2.2.3 Multicast VPN.....	9
2.3 Calidad de servicio.....	10
2.3.1 Capa de Red .....	10
2.3.2 Capa de Enlace.....	11
2.4 Software de video streaming.....	13
2.4.1 Software servidor.....	13
2.4.2 Software cliente .....	15
Capítulo 3: Diseño e implementación del servicio de video streaming.....	18
3.1 Diseño a implementar .....	18
3.2 Herramientas a utilizar .....	19
3.3 Planteamiento del sistema .....	20
3.4 Configuración en los routers .....	22
3.4.1 Enrutamiento .....	22

3.4.2 Multicast .....	23
3.4.3 Calidad de servicio .....	24
3.5 Configuración de calidad de servicio en los switches .....	24
Capítulo 4: Pruebas realizadas y análisis de los resultados.....	27
4.1 Pruebas realizadas .....	27
4.1.1 Transmisión multicast.....	27
4.1.2 Variación de calidad de servicio .....	31
4.2 Análisis de resultados .....	39
4.3 Reporte de costos .....	39
4.3.1 Honorarios profesionales.....	40
4.3.2 Materiales de oficina.....	40
4.3.3 Servicios.....	40
Conclusiones .....	42
Recomendaciones .....	43
Bibliografía.....	44

## Lista de figuras

Figura 2.1: Intercambio de mensajes en PIM-DM .....	7
Figura 2.2: Intercambio de mensajes en PIM-SM .....	8
Figura 2.3: Protocolos IGMP y PIM funcionando en una misma red .....	9
Figura 2.4: Funcionamiento general de los Servicios Diferenciados .....	11
Figura 2.5: Funcionamiento general de calidad de servicio en la capa de enlace .....	12
Figura 2.6: Interfaz gráfica de VLC .....	13
Figura 2.7: Interfaz gráfica de BroadCam .....	14
Figura 2.8: Interfaz gráfica de QuickTime .....	15
Figura 2.9: Interfaz gráfica de RealPlayer .....	16
Figura 3.1: Esquema actual desplegado .....	20
Figura 3.2: Esquema propuesto .....	21
Figura 3.3: Diseño general de la red .....	22
Figura 3.4: Configuración de un queue-set .....	24
Figura 4.1: Transmisión hacia un grupo multicast en VLC .....	27
Figura 4.2: Recepción multicast en VLC .....	27
Figura 4.3: Unión al grupo multicast 225.0.0.114 con IGMPv3 .....	28
Figura 4.4: Unión al grupo multicast 225.0.0.111 con IGMPv3 .....	29
Figura 4.5: Verificación en el router .....	30
Figura 4.6: Configuración de marcado de paquetes .....	30
Figura 4.7: Marcado de paquetes con DSCP 32 .....	31
Figura 4.8: Calidad de la imagen con un ancho de banda de 9 Mbps .....	32
Figura 4.9: Calidad de la imagen con un ancho de banda de 5 Mbps .....	32
Figura 4.10: Calidad de la imagen con un ancho de banda de 2 Mbps .....	33
Figura 4.11: Ancho de banda mínimo otorgado .....	35
Figura 4.12: Configuración en el puerto de entrada .....	35
Figura 4.13: Marcado de paquetes en el puerto de entrada .....	36
Figura 4.14: Configuración de la interfaz de salida .....	37
Figura 4.15: Asignación de paquetes al primer umbral de la primera cola .....	37

## Lista de tablas

Tabla 2.1: Características principales de las versiones IGMP .....	6
Tabla 2.2: Comparación de softwares de video streaming.....	17
Tabla 4.1: Costos de honorarios profesionales .....	40
Tabla 4.2: Costos de materiales de oficina.....	40
Tabla 4.3: Costos de servicios.....	41
Tabla 4.4: Costo total de la implementacion.....	41



## Introducción

Los servicios de video streaming se presentan como una alternativa viable para la transmisión de contenidos multimedia en áreas como el entretenimiento y la educación, creando nuevas oportunidades de desarrollo y negocios tanto para las compañías generadoras de contenido como para las que se encargan de administrar la red de transporte.

Conforme aumenta el número de usuarios con acceso a estos servicios, se ocupa un mayor ancho de banda; Lo cual puede afectar la calidad en la recepción de los contenidos. En consecuencia, para asegurar el correcto funcionamiento del servicio de video streaming se debe desplegar una red confiable, escalable y asegurar una adecuada calidad de servicio con el propósito de administrar de forma óptima el transporte de paquetes.

La presente tesis propone una solución para el diseño e implementación de un servicio de video streaming usando transmisión en multicast y aplicando políticas de calidad de servicio con el objetivo de proveer un servicio eficiente y asegurar su correcto funcionamiento de forma continua.

Finalmente, la implementación se llevó a cabo en un ambiente de laboratorio controlado con el fin de demostrar el diseño planteado. Se demostró el correcto funcionamiento de la red desplegada realizando pruebas de transmisión y análisis de los paquetes.

## **Capítulo 1**

### ***Identificación del problema en la red del servicio***

#### **1.1 Introducción**

Existen diversas aplicaciones y servicios de video streaming que son desplegadas sobre redes IP, las cuales presentan diferentes requerimientos en cuanto al consumo de ancho de banda. El ancho de banda ocupado no solo varía en función del formato de video sino también del tipo de transmisión usado.

Es por ello que los proveedores de la red deben tener en consideración la forma de transmisión, el tratamiento de los paquetes y el ancho de banda consumido por cada flujo de información cuando diseñan la arquitectura de la red sobre la cual se va a desplegar servicios de video streaming. En consecuencia, el diseño no solo debe lo suficientemente flexible para cumplir con los requerimientos de los servicios sino también escalable para atender a futuros usuarios.

## 1.2 Estudio del escenario actual

### 1.2.1 Problema actual

Actualmente ciertas empresas implementan servicios de video streaming para transmitir contenido multimedia entre sus sedes remotas y su sede principal con lo cual se puede generar alteraciones en la arquitectura de la red y el uso de nuevas tecnologías. Usualmente la implementación de estos servicios solo toman en cuenta ciertos aspectos como el ancho de banda consumido, software cliente, entre otros.

La deficiencia de una implementación que no toma en cuenta el grado de escalabilidad de los servicios y su impacto en la red de producción radica en las fallas que se presentan en la puesta en marcha de video streaming en conjunto con otros servicios como telefonía IP y datos. Cuando los equipos tienen que operar con todos estos servicios y no se tiene una política para el tratamiento de cada uno de ellos surgen inconvenientes como baja calidad de imagen y sonido, cortes de servicios, entre otros.

Esto implica que bajo una situación como la mencionada anteriormente el transporte de paquetes estaría sujeto al mejor esfuerzo de los equipos de networking y se corre el riesgo que se presenten fallas en el servicio de video streaming. Esto podría derivar en un rediseño de todo el sistema incluyendo el reemplazo de equipos.

Este problema ha afectado a la empresa de transporte público acerca de la cual se desarrolla la presente tesis; debido a que luego de la puesta en marcha de todos los servicios, se presentaron deficiencias en el sistema de video streaming lo cual implica un despliegue limitado y aumento en los costos operativos del proyecto como consecuencia de la consultoría que se debe llevar a cabo para encontrar una solución.

### 1.2.2 Necesidades de la red del servicio

Las necesidades que se encontraron en la empresa de transporte son:

- Rediseño de la red interna para el transporte de información entre la fuente de video y los clientes finales

- Implementación de políticas de calidad de servicio para un correcto tratamiento de los paquetes de datos.
- Implementación de multicast para la adecuada transmisión de video desde las diferentes fuentes.
- Optimización el uso del ancho de banda para que los servicios sean escalables en el tiempo.

### 1.3 Objetivos

#### Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema de video streaming que cuente con políticas de calidad de servicio para asegurar su correcto funcionamiento y optimizar el uso del ancho de banda.

#### Objetivos específicos

- Implementar políticas de calidad de servicio en los niveles de enlace y red del modelo de referencia OSI para optimizar el uso de ancho de banda.
- Diseñar e Implementar una red multicast para la visualización de video desde los equipos clientes.



## **Capítulo 2**

### **Conceptos de video streaming**

#### **2.1 Definición**

El video streaming es un servicio que involucra el uso de redes de computadoras para el envío de información usando la conmutación de paquetes. Esto permite emplear diversas herramientas, equipos y técnicas con el objetivo de desplegar un servicio eficiente y seguro el cual puede ser accedido de forma local o remota brindando un mayor número de opciones a los operadores que administran la red para transmitir el contenido multimedia.

#### **2.2 Protocolo Multicast**

##### **2.2.1 IGMP**

Internet Group Management Protocol (IGMP) es un protocolo usado por los host para enviar una solicitud de unión a un grupo multicast (IGMP Report) dirigido hacia los routers

inmediatamente adyacente a ellos y de la misma forma envían un mensaje para dejar el grupo del que son miembros (IGMP Leave) [10].

IGMP es usado para aplicaciones de red que involucra el envío de información de uno a muchos como el streaming de video. Actualmente se tienen tres versiones del protocolo las cuáles serán mencionadas en la siguiente tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Características principales de las versiones IGMP [4]**

Versión	Características principales
IGMP v1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe un mensaje para dejar un grupo multicast.</li> <li>• Routers usan un mecanismo basada en un límite de tiempo para determinar que grupos no tenían host interesados.</li> </ul>
IGMP v2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se agregaron mensajes para dejar un grupo multicast.</li> <li>• Permite un reporte rápido de la desafiliación a un grupo multicast.</li> </ul>
IGMP v3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite que los host especifiquen las fuentes de tráfico multicast de las cuales desean recibir información.</li> </ul>

La mayoría de equipos de networking que están actualmente en el mercado son compatibles con la versión 1 y 2, pero paulatinamente están incluyendo la versión 3.

### 2.2.2 PIM

Protocol Independent Multicast (PIM) es un protocolo de enrutamiento similar a RIP o OSPF el cual fue diseñado para permitir el enrutamiento de tráfico multicast sin la necesidad de depender en protocolos de enrutamiento unicast. Existen dos modos principales de operación: Dense mode y Sparse mode [4].

#### PIM-DM

Protocol Independent Multicast Dense Mode (PIM-DM) es un modo de operación bajo el cual un router asume que los demás routers que forman parte de la red multicast desean recibir datos de un grupo específico y en caso contrario se envía un mensaje “prune” para evitar recibir estos paquetes. En este escenario se envía tráfico por toda la red al inicio del proceso y luego de la caducidad del mensaje “prune”, la cual es cada tres minutos, y enseguida se inunda nuevamente la red con mensajes de grupos.

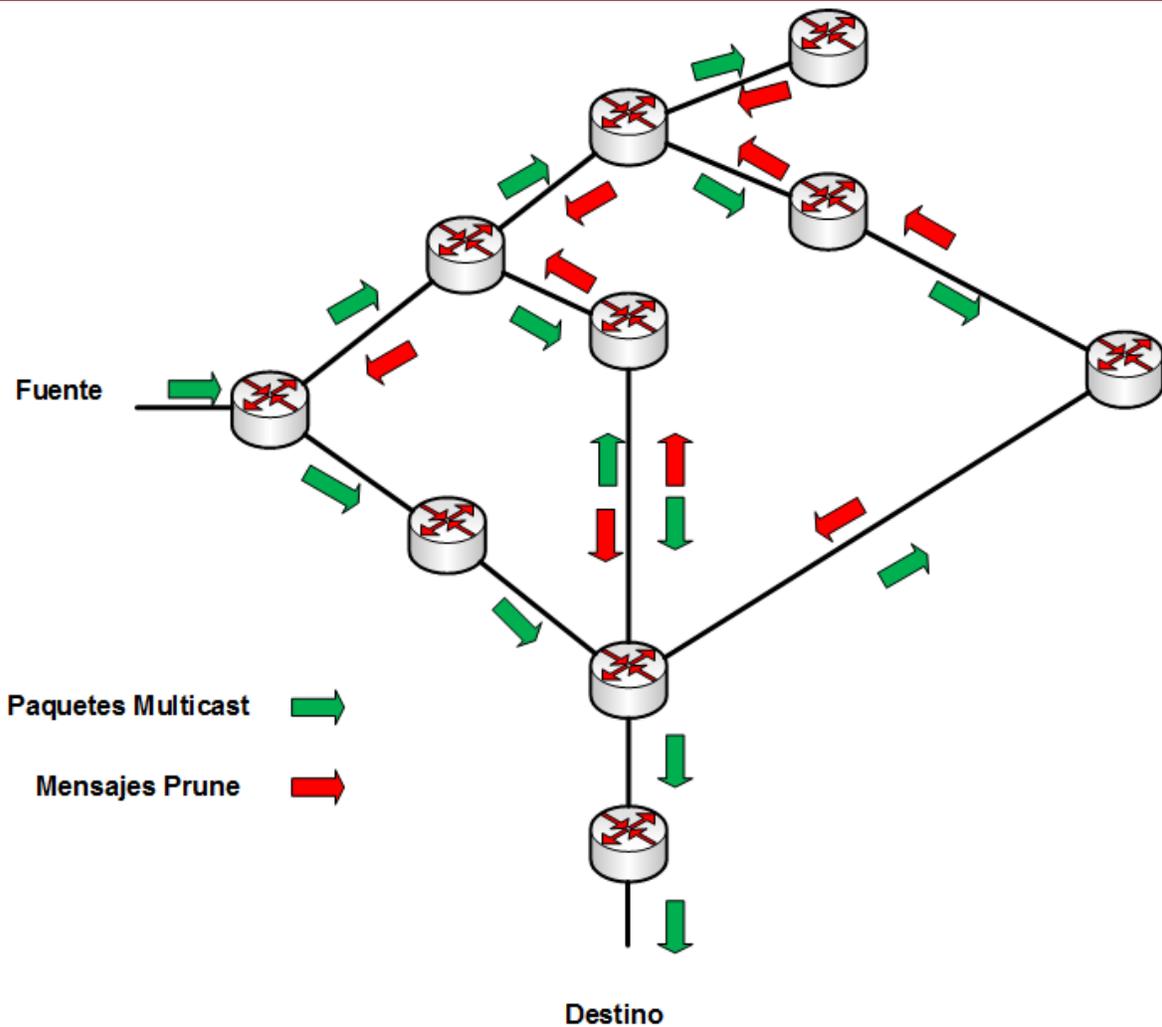


Figura 2.1: Intercambio de mensajes en PIM-DM

### PIM-SM

Protocol Independent Multicast Sparse Mode (PIM-SM) funciona bajo un modelo opuesto al anterior ya que un router asume que ningún otro router desea recibir tráfico multicast. En este caso un router debe comunicar a otros routers vecinos en sentido ascendente su petición de unirse a un grupo específico. Los routers usan mensajes “join” y “prune” para unirse y dejar grupos multicast.

Luego que un router recibe un mensaje join hacia un grupo multicast lo redirige hacia un Rendezvous Point (RP), el cual es un router designado como punto de encuentro. El trabajo de un RP es hacer un seguimiento de todos los grupos multicast que están siendo

usados en la red. Luego el RP envía mensajes join en sentido ascendente hacia la fuente de tráfico multicast.

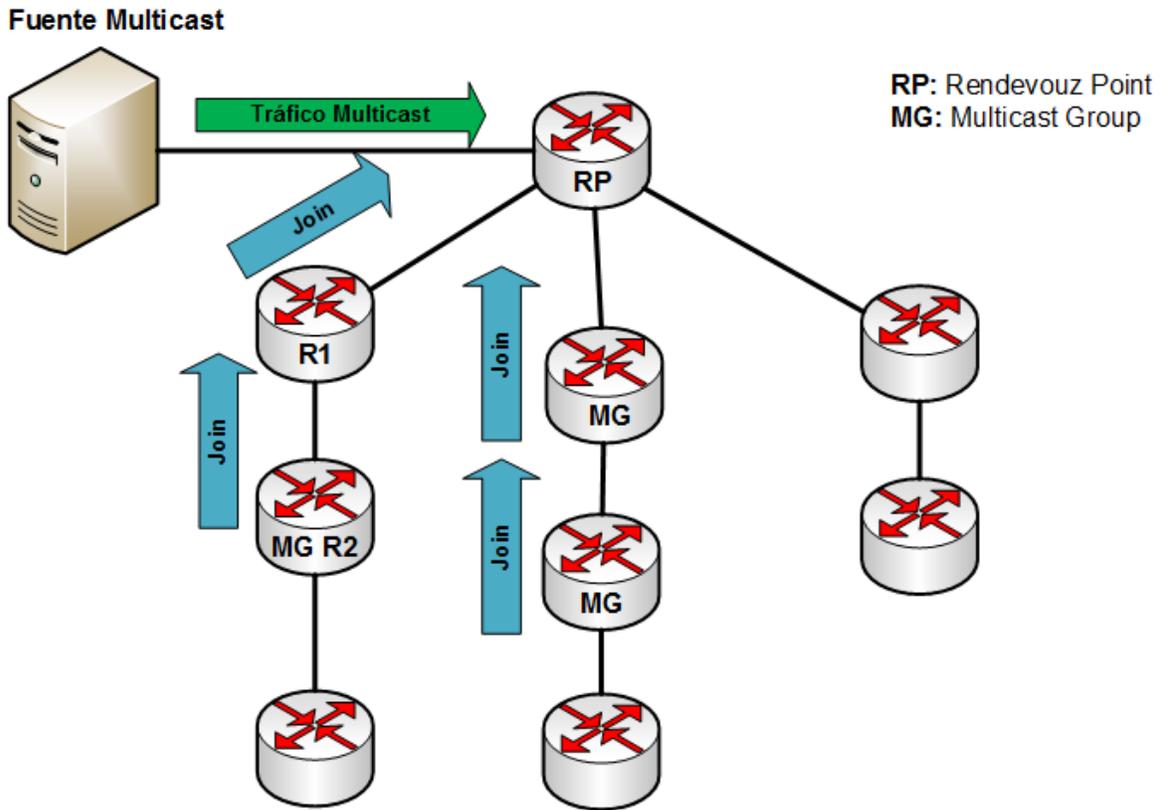
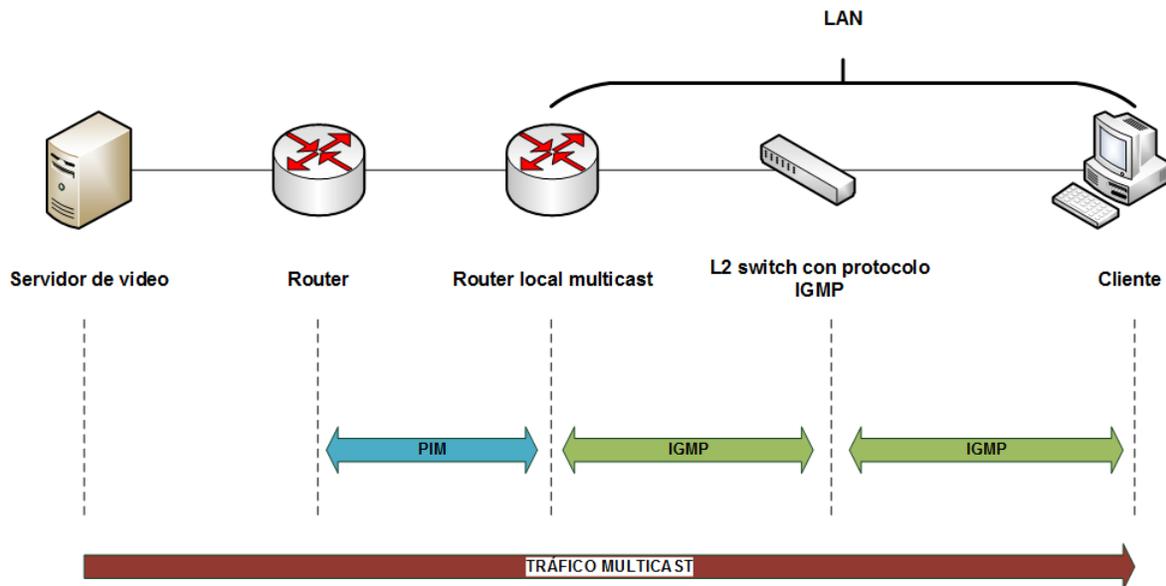


Figura 2.2: Intercambio de mensajes en PIM-SM

A continuación se muestra un gráfico en donde se puede observar cómo interactúan los protocolos IGMP y PIM dentro de una red.



**Figura 2.3: Protocolos IGMP y PIM funcionando en una misma red**

### 2.2.3 Multicast VPN

Multicast Virtual Private Network (Multicast VPN) es un concepto en donde se despliega el servicio multicast usando como base una infraestructura MPLS L3VPN la cual permite en envío de tráfico entre diferentes VRF's (VPN Routing and Forwarding). VRF es una tecnología que posibilita el uso de múltiples instancias de una misma tabla de enrutamiento dentro de un router al mismo tiempo [4].

Multicast VPN se basa en tres componentes principales:

- Multicast VRF (MVRF): VRF habilitada para envío y recepción de tráfico multicast.
- Multicast Domain (MD): Conjunto de MVRF's asociadas mediante túneles MTI (Multicast Tunnel Interface) creadas por cada una de ellas asemejándose a una red de área local desde su punto de vista.
- Multicast Distribution Tree: Trayecto generado para cada Multicast Domain con el fin de encaminar el tráfico multicast a través de la red.

## 2.3 Calidad de servicio

### 2.3.1 Capa de Red

#### Mejor esfuerzo

El mejor esfuerzo (best effort) indica que los servicios provistos en una red no cuentan con ninguna garantía de entrega de la información o que los usuarios poseen cierto nivel de priorización. Bajo este esquema los usuarios obtienen una tasa de tráfico variable dependiendo de la carga total presente.

#### Servicios integrados

El modelo de servicios integrados (IntServ) permite realizar una reserva de recursos en todos los equipos implicados en la comunicación creando un camino de extremo a extremo dentro de la red usando un protocolo de reserva como Reservation Protocol (RSVP). Se provee un tratamiento de la información basadas en flujos de tráfico donde un flujo se define como un conjunto de paquetes que comparten la misma dirección de origen, destino y puerto.

El principal inconveniente radica en la necesidad de mantener información sobre cada flujo en cada equipo lo cual conduce a problemas de escalabilidad.

#### Servicios diferenciados

El esquema de servicios diferenciados (DiffServ) permite que componentes individuales de la red realicen una priorización del tráfico basada en clases y se les asigne prioridades a cada clase. Los diferentes flujos de datos se pueden identificar a través de la información que se encuentra en la cabecera de cada paquete como el IP Precedence, IP DSCP, CoS, entre otros [3].

De esta manera todos los paquetes que pertenecen a una determinada clase se marcan con un código específico y la diferenciación de servicios se consigue mediante la definición de políticas específicas para cada clase de tráfico en cada equipo de la red, lo que se conoce como PHB (Per Hop Behavior). La ventaja de este esquema es que se evita crear información de estado a lo largo de la trayectoria de cada flujo individual de tráfico lo cual lo hace más escalable y flexible.

Por ejemplo, en equipos Cisco este esquema es representado por un modelo denominado Modular Quality of Service Command Line Interface (MQC) el cual es una estructura que

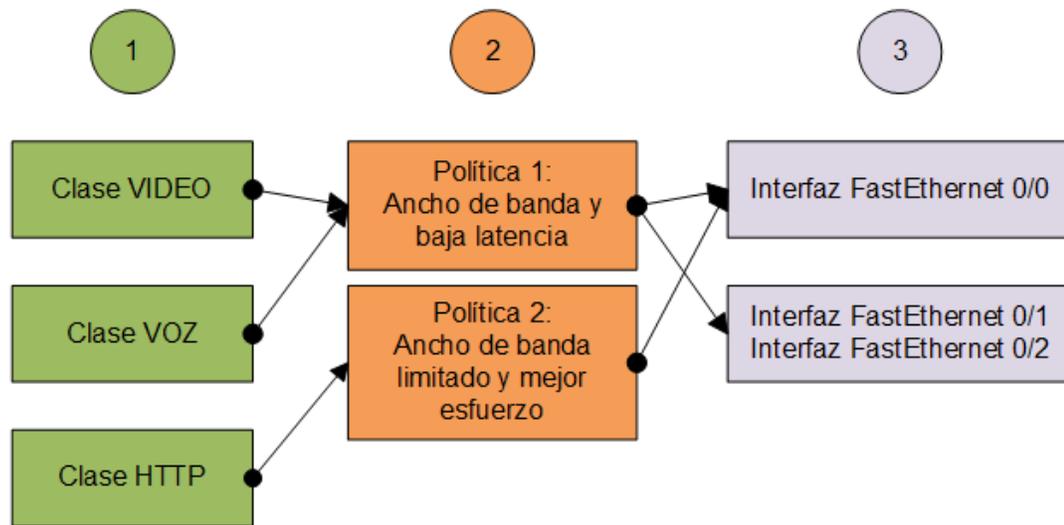
permite a los usuarios crear políticas de tráfico y agregar estas políticas a interfaces. Una política contiene una o varias clases las cuales ayudan a clasificar el tráfico mientras que las políticas determinan que tratamiento se le dará a cada tráfico clasificado.

El modelo MQC se basa en tres características básicas:

1. Definición de clases de tráfico (class-maps)
2. Definición de políticas para cada clase (policy maps)
3. Aplicación de políticas (service policy)

La siguiente figura muestra el funcionamiento general de los servicios diferenciados:

**Funcionamiento general de QoS DiffServ**



**Figura 2.4: Funcionamiento general de los Servicios Diferenciados**

### 2.3.2 Capa de Enlace

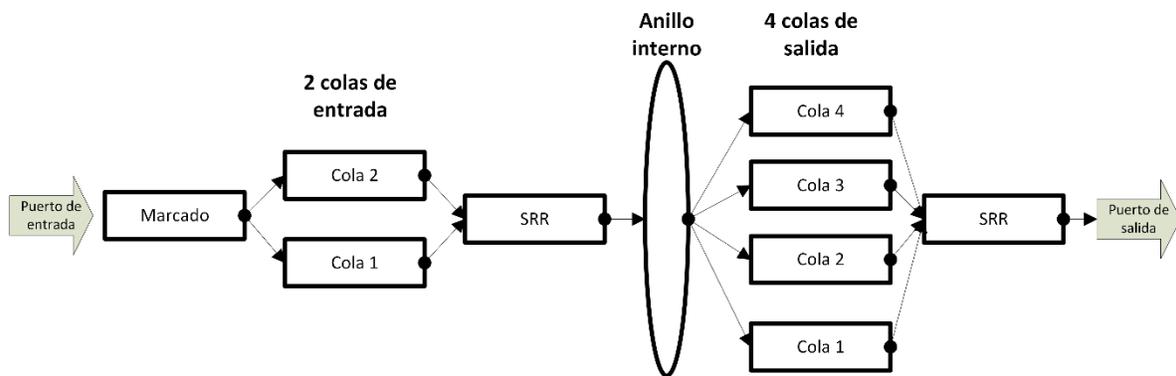
En comparación a la capa de Red, la calidad de servicio en la capa de enlace se administra a nivel de hardware y no de software, es decir, se configuran parámetros relacionados directamente al equipo. Para diferenciar los tipos de tráfico se usa el valor de Class of Service (CoS) presente en la cabecera de las tramas, luego estos valores son asignados a diferentes colas de salida en los puertos.

Para el desarrollo de la presente tesis, se usaron Switches Cisco 2960 los cuales cuentan con cuatro colas de salida en cada puerto. Cada cola posee una cantidad de buffers dedicados y niveles de umbrales para administrar la cantidad de paquetes a almacenar antes de ser eliminados. El algoritmo empleado en estos equipos para el manejo de las colas es el Shaped Round Robin (SRR) el cual controla la tasa a la cual los paquetes son enviados [11].

Se debe tener en cuenta que diferentes fabricantes manejan su propio planificador de colas. Por ejemplo, para los switches Juniper de la serie QFX el algoritmo usado se denomina Hierarchical Port Scheduling que permite asignar recursos a colas y a grupos de colas [12]. Para switches HP de las series 9300 y 6200 se maneja un planificador basado en pesos y otro en prioridades para atender a cuatro colas diferentes [13].

El SRR envía los paquetes provenientes de las colas de ingreso a un anillo interno mientras que desde las colas de egreso las envía hacia los puertos. Para trabajar con calidad de servicio en la capa de enlace primero se marcan los paquetes en los puertos de entrada, luego se asignan a una determinada cola y luego una cola es asignada a un puerto.

En la figura 2.5 se muestra el funcionamiento general del switch cisco 2960 utilizado en las pruebas de calidad de servicio en la capa de enlace.



**Figura 2.5: Funcionamiento general de calidad de servicio en la capa de enlace**

## 2.4 Software de video streaming

### 2.4.1 Software servidor

#### 2.4.1.1 VLC

Es un software de código abierto multiplataforma desarrollado por la organización VideoLan, el cual puede desempeñar funciones tanto de cliente como servidor. Soporta varios métodos de compresión en audio y video y permite transmitir contenido usando unicast o multicast [6].

Cuenta con un diseño modular lo que permite incluir extensiones de manera ordenada y sencilla para el soporte de nuevos formato de archivos, codecs y formas de transmisión. Entre las muchas extensiones con las que cuenta VLC se encuentra el NPAPI que permite a los usuarios ver archivos embebidos en sitios web sin usar softwares adicionales.

En la figura 2.6 se puede apreciar la interfaz gráfica del VLC y algunas de las opciones con las que cuenta.

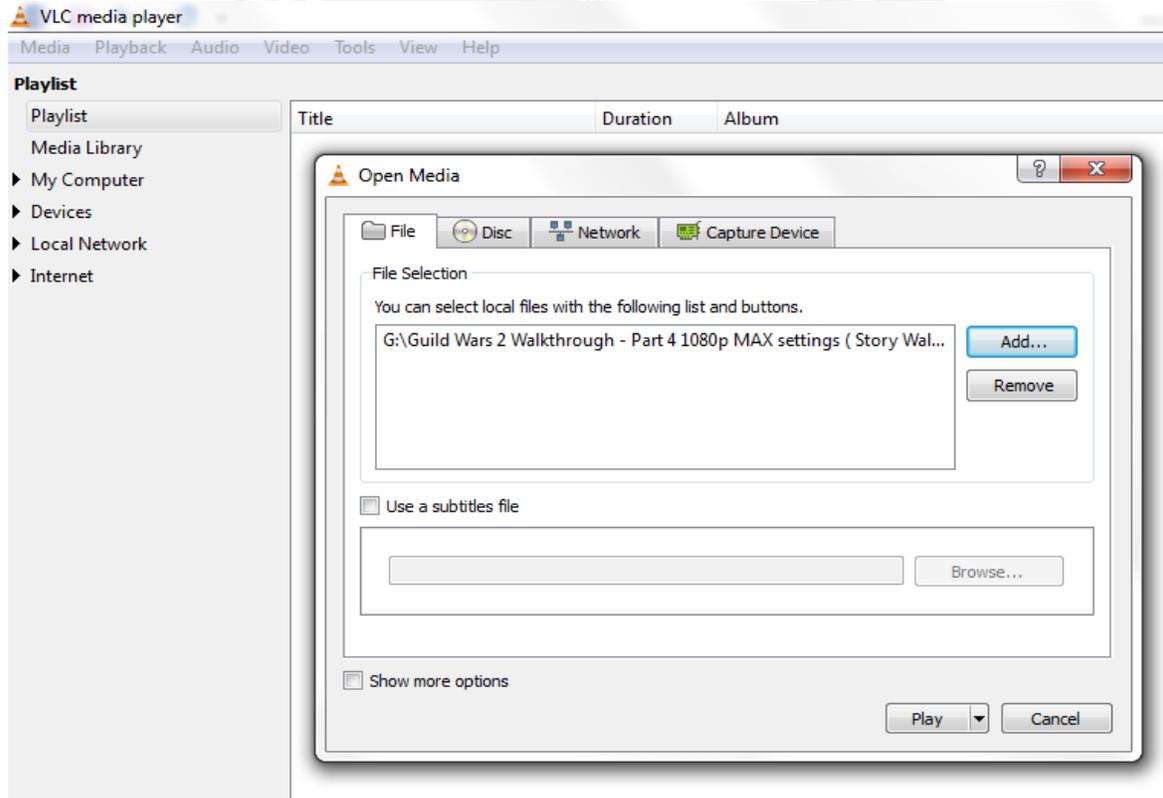


Figura 2.6: Interfaz gráfica de VLC

### 2.4.1.2 BroadCam

Este software permite la transmisión desde una PC de escritorio a través de internet brindando soporte para diferentes formatos de entrada y opera sobre sistemas operativos Windows 7, 8, XP, y Vista de 64 bits. Los usuarios pueden visualizar el video streaming desde cualquier web browser que cuente con la extensión flash o a través del software cliente Windows Media Player [7].

El software se encarga de la compresión del audio y video, formato de reproducción y los ajustes de ancho de banda. Su uso está orientado a profesores y estudiantes que desean compartir contenido multimedia sobre clases ya que se puede invitar a una lista selecta de usuarios.

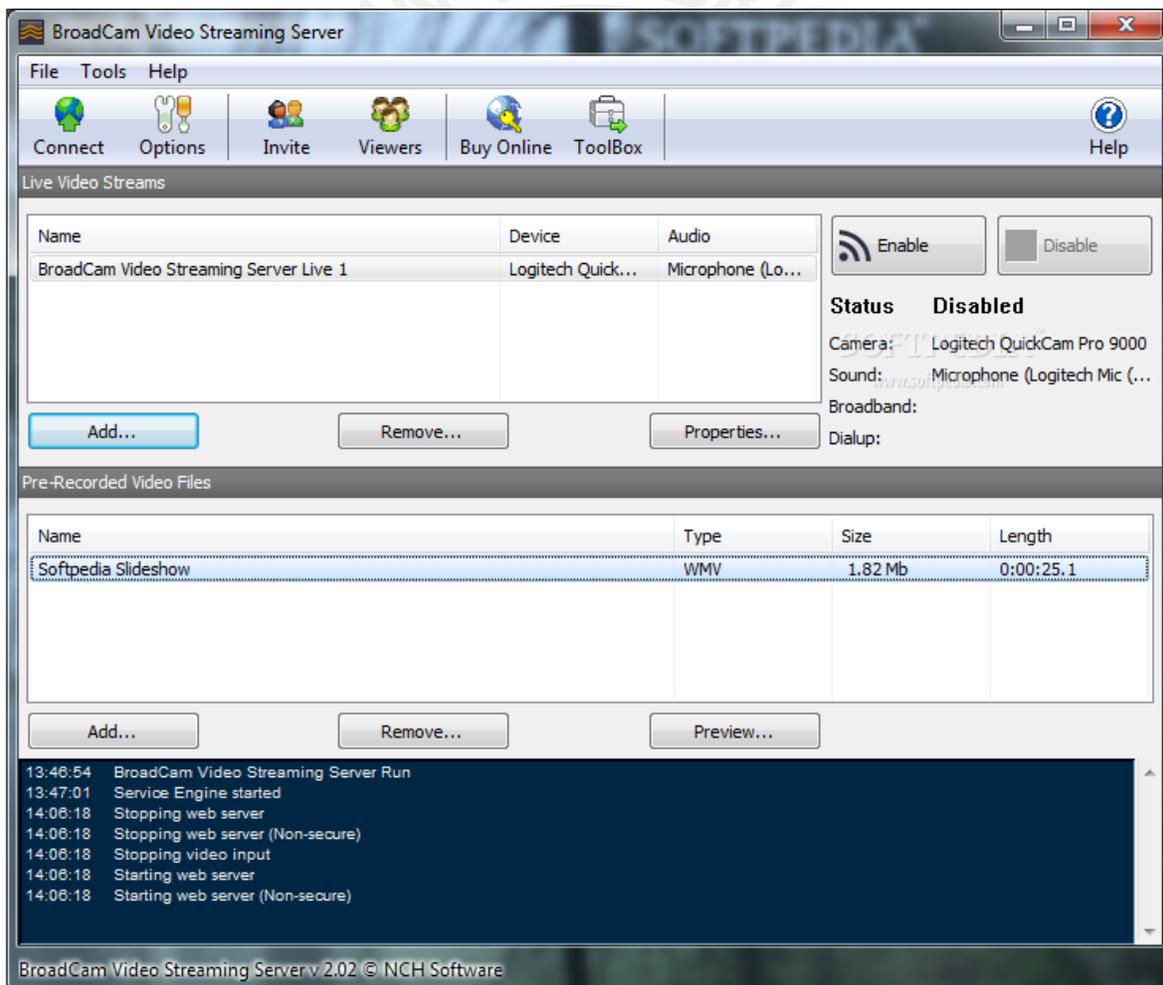


Figura 2.7: Interfaz gráfica de BroadCam [7]

## 2.4.2 Software cliente

### 2.4.2.1 Quick Time

Es un reproductor multimedia desarrollado por Apple Inc. capaz de manejar varios formatos de video, sonido e imágenes y está disponible solo para sistemas operativos Windows y Mac. Se distribuye de forma libre, pero también existe una versión de pago que incluyen extensiones para ampliar su uso incluyendo el video streaming vía http [8].

Por otro lado, también se encuentra disponible una versión de código abierto bajo el nombre de Darwin Streaming Server que permite transmitir contenido en vivo o grabado usando los protocolos RTP/RTSP.

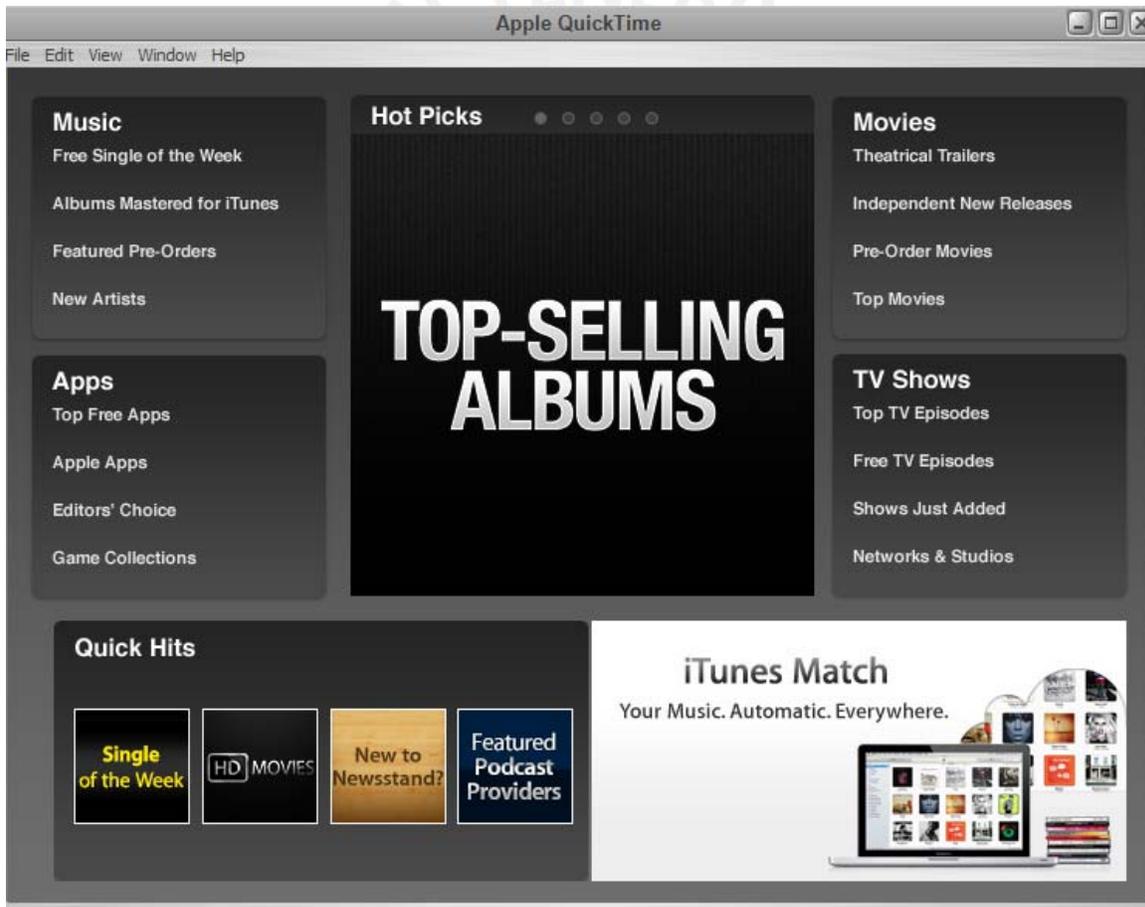


Figura 2.8: Interfaz gráfica de QuickTime

### 2.4.2.2 RealPlayer

Es un software multiplataforma desarrollado por RealNetworks que está desarrollado en base a una distribución de código libre llamado Helix. Brinda soporte para varios formatos incluyendo propietarios como mov de quicktime y wmv de Windows media. Además cuenta con una variedad de extensiones para ampliar su uso [9].

Actualmente existen versiones tanto para sistemas operativos como Windows, Mac y Linux y para dispositivos móviles como android, symbian y palm ampliando su uso entre los consumidores.

La interfaz gráfica del gestor se puede apreciar en la figura 2.9.

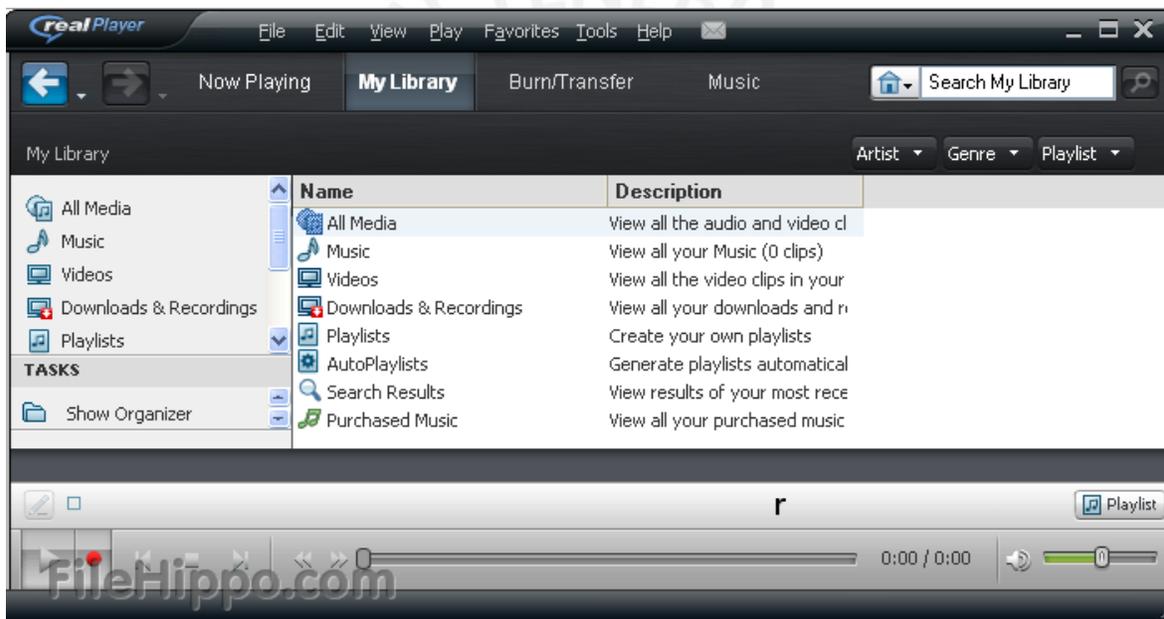


Figura 2.9: Interfaz gráfica de RealPlayer

En la siguiente tabla X.Y se muestra una comparación entre los diferentes tipos de software de video streaming mencionados anteriormente.

**Tabla 2.2: Comparación de softwares de video streaming**

	<b>VLC</b>	<b>BroadCam</b>	<b>Quick Time</b>	<b>RealPlayer</b>
Formato de audio	wav, mp3, aac, wma, mp4, aiff, flac, m3u, mid, midi, ogg, ra.	wav, mp3, aac.	wav, mp3, aac, aiff.	mp3, aac, wma, ra.
Formatos de video	avi, mov, mp4, xvid, mpeg, 3g2, 3gp, asf, asx, dvdmedia, flv, m2p, m4v, mkv, mod, mpg, mts, ogm	avi, wmv, asf, mpg, mpeg, mpe, vob, mov, 3gp, mp4, m4v, flv, mkv, mod, ogm, divx, dv.	avi, mp4, mpeg, 3g2, 3gp.	avi, mov, mp4, xvid, mpeg, 3gp, flv, wmv, H.264.
Sistemas Operativos	Linux, Mac OS X, Windows 7, Windows Vista, Windowx XP.	Windows 7, Windows XP, Windows Vista, Windows 8.	Mac OS X, Windows 7, Windows Vista, Windows XP	Windows 7, Windows Vista, Windows XP.

## **Capítulo 3**

### ***Diseño e implementación del servicio de video streaming***

#### **3.1 Diseño a implementar**

El diseño fue estructurado tomando en consideración las necesidades presentes de la red en producción las cuales involucran el uso de multicast para la transmisión desde las fuentes de video y la configuración de calidad de servicio en los equipos de networking. De esta forma, se asegura un correcto funcionamiento de los equipos y en consecuencia del servicio de video streaming.

Por otro lado, se tomó en cuenta una solución que no solo se adecue a las actuales requerimientos sino que sea lo suficientemente flexible y escalable para que pueda seguir siendo usada en casos de expansión donde el número de sedes remotas que soliciten el servicio se incremente [1].

Además, se debe mencionar que el diseño presentado en esta tesis se implementó en un ambiente de laboratorio que cuenta con el equipamiento necesario para simular un

escenario real con el objetivo que la configuración propuesta sirva como una opción viable para futuros proyectos.

### 3.2 Herramientas a utilizar

Las siguientes herramientas fueron empleadas para el desarrollo de la implementación propuesta:

- Sistema operativo Windows 7 de 32 bits: Sistema operativo desarrollado por Microsoft usado para instalar los paquetes de software necesarios para llevar a cabo las pruebas.
- VLC: Video LAN es un software gratuito y de código libre multiplataforma usado para reproducir localmente y de forma remota archivos de música y video. Se usó este software para llevar a cabo las pruebas de transmisión de video usando multicast.
- Wireshark: es un software gratuito y de código libre usado para analizar el tráfico que circula por la red. Se usa esta herramienta para verificar el contenido de los paquetes y la información de las cabeceras. Además cuenta con opciones que brindan información sobre el consumo de ancho de banda.
- Router Cisco 2821: Equipo de networking de capa tres usado para implementar el enrutamiento básico, la configuración multicast y calidad de servicio. Estos cuentan con la versión de IOS necesaria para llevar a cabo configuraciones avanzadas necesarias para esta tesis.
- Switch Cisco 2960: Equipo de networking de capa 2 usado para implementar las configuraciones de calidad de servicio a un nivel de enlace permitiendo manejar los paquetes de extremo a extremo.

### 3.3 Planteamiento del sistema

La arquitectura actual de la empresa está distribuida en 16 sedes remotas conectadas a una sede principal a través de enlaces de fibra óptica multimodo y monomodo. Sobre esta red se despliegan diferentes servicios como telefonía IP, video vigilancia, difusión sonora, etc. La red de telecomunicaciones se divide en dos segmentos principales denominados red administrativa y red operativa.

La red administrativa se encarga de transportar el tráfico correspondiente a los usuarios dentro del cual se incluye el acceso a internet, manejo de servidores e impresoras entre otros. Por otro lado, la red operativa transporta todo lo relacionado a información de gestión, control y señalización.

Todas las sedes se encuentran enlazadas a través de la red Open Transport Network (OTN) que usa la tecnología Time Division Multiplexing (TDM). La OTN usa enlaces duales de fibra óptica dónde un anillo permanece activo, mientras que el segundo actúa como respaldo ante alguna falla.

El sistema actual de video streaming y video vigilancia se encuentra desplegado sobre la red operativa consistente de switches de capa dos y tres ubicadas en las sedes secundarias y en la sede principal. Mientras que la red OTN es la que se encarga de comunicarlas a través de enlaces de fibra óptica. En consecuencia, todo el enrutamiento se limita a la capacidad brindada por estos equipos.

Las sedes secundarias consisten básicamente de un servidor conectadas a un switch de capa dos que transmiten en forma unicast a las estaciones locales y remotas, ubicadas en la sede principal. La sede principal consiste en switches de capa tres para redireccionar diferentes flujos de tráfico entre las diversas áreas que conforman la red.

Para identificar los distintos tipos de tráfico originados en cada sede secundaria se hace uso de VLAN's y cada una de estas corresponden a un tipo de servicio específico. Además, la calidad de servicio no se encuentra implementada en los switches lo cual indica que no existe una priorización del tráfico de video.

En la figura 3.1 se muestra de forma general el diseño que actualmente se encuentra en operación.

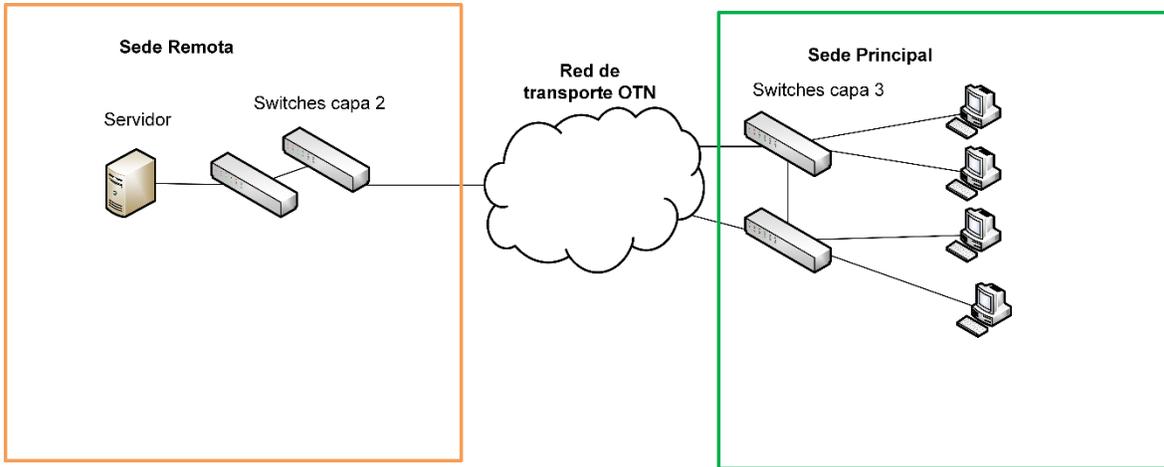


Figura 3.1: Esquema actual desplegado

En esta tesis se plantea rediseñar el esquema de la red con el objetivo que se pueda optimizar el uso del ancho de banda y se obtenga un mejor servicio. Esto se desarrollará mediante el uso de multicast VPN para el envío de video desde diferentes sedes y aplicando políticas de calidad de servicio para priorizar este tráfico. Además, se busca que la solución provista sea flexible y escalable en el tiempo.

En la figura 3.2 se muestra el esquema general sobre el cual está basada la solución.

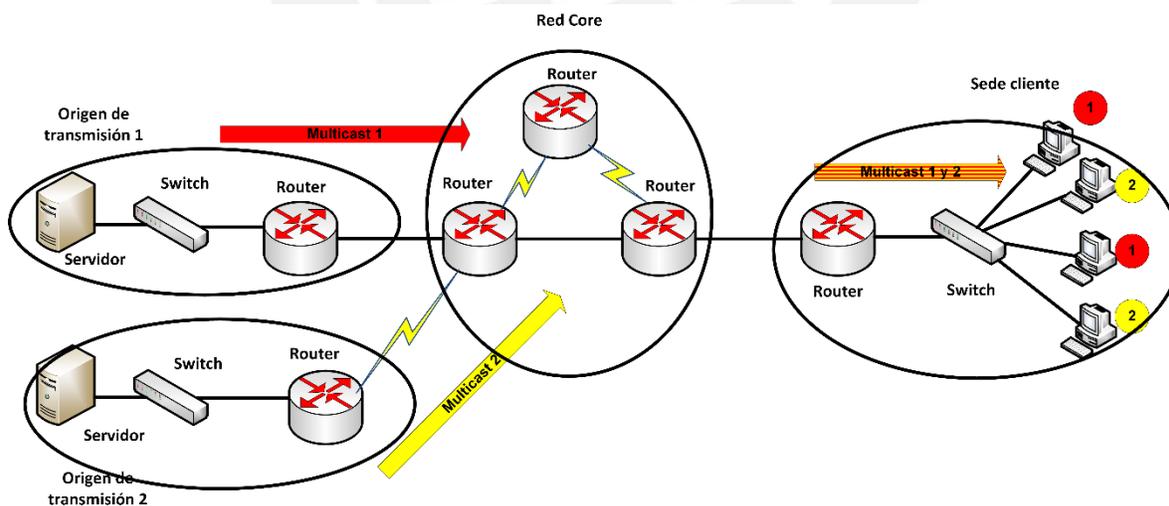


Figura 3.2: Esquema propuesto

### 3.4 Configuración en los routers

Actualmente, la infraestructura de red solo cuenta con switches de capa dos y tres los cuales se encargan de tareas tales como el enrutamiento entre la sede principal y las secundarias. Esto limita en gran medida el nivel de escalamiento y flexibilidad del servicio de video streaming y otros tipos de servicios con los cuales se piense contar.

En consecuencia, la solución propuesta en esta tesis está basada en el uso de routers ya que son los equipos mas adecuados para realizar toda la tarea de enrutamiento y permite implementar configuraciones para el envío del tráfico de video a través de multicast. También se consideró el uso de switches como acceso directo al usuario y para la aplicación de calidad de servicio a nivel de la capa de enlace.

En este apartado se explicaran los detalles del proceso en la implementación de multicast VPN para el envío de video desde dos sedes remotas hacia la sede principal y la aplicación de políticas de calidad de servicio a nivel de la capa de red. Cabe mencionar que los comandos se mostraran en los anexos A y B.

#### 3.4.1 Enrutamiento

El objetivo de este acápite es brindar de una base sólida a la red en lo referente al direccionamiento unicast de paquetes a partir de lo cual se puedan implementar soluciones más complejas. El esquema que se presenta a continuación muestra el detalle de las conexiones entre los equipos.

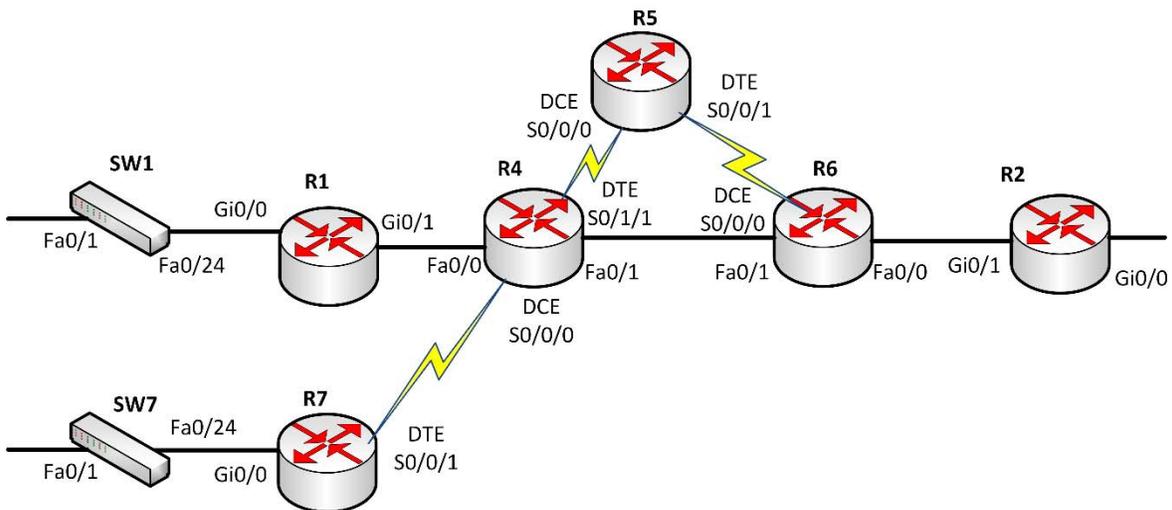


Figura 3.3: Diseño general de la red

Las configuraciones básicas que se realizaron se encuentran divididas en equipos de la red core y equipos pertenecientes a las sedes. Para la red core se empleó el protocolo de enrutamiento interno IS-IS, mientras que para las sedes se empleó un enrutamiento estático especificando como interfaz de salida la conexión hacia la red core.

Luego que se tiene el protocolo de enrutamiento básico se procede a implementar la tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching) en la red core. Se habilitan las sesiones LDP (Label Distribution Protocol) en las interfaces por donde se transportará el tráfico de usuario. Esta configuración servirá como base para luego implementar multicast VPN.

La configuración solo se realiza en los routers que se encargaran del etiquetado y la conmutación de paquetes propios de los usuarios ( Client Edge) que en nuestro caso serían los routers R4 y R6 conocidos como PE's (Provider Edge) en una red MPLS. No considero R5 ya que este actuará como route reflector y se encargará del tráfico de control.

### 3.4.2 Multicast

Una vez que se tiene desplegado MPLS en la red, se pasa a implementar las aplicaciones que le agregan valor que en este caso será multicast VPN. En primer lugar se tienen que configurar las sesiones iBGP entre el route reflector y los routers PE's. Se consideró el uso de un route reflector debido a que representa un ahorro en el número de conexiones y permite un despliegue mas ordenado.

Luego se pasa a configurar Multiprotocol BGP (MP-BGP) que sirve para propagar familias de direcciones (address family) tales como el prefijo VPNv4 que pertenece a una VRF. Las VRF se configuran en los PE's ubicados en los extremos de la red core próximos a los clientes ya que solo ellos conocen estas tablas de enrutamiento.

Enseguida se procede a configurar lo concerniente a Multicast VPN. Como primer paso se tienen que configurar las VRF asociadas al servicio multicast (mVRF) en los PE's declarando la direcciones MDT (Multicast Distribution Tree): Es en este punto donde se establecen los túneles MTI para agrupar varias mVRF dentro del dominio multicast. De esta forma los routers de la red core podrán direccionar el tráfico multicast de una sede a otra.

Luego se tiene que habilitar el transporte de tráfico multicast en la red core esto involucra la implementación de IGMP y PIM sparse mode a nivel general en los PE's especificando el RP (Rendezvous Point) de las direcciones mdt. Además, se debe configurar IGMP y PIM sparse mode, pero a nivel de multicast VRF especificando el RP de los grupos multicast a los clientes se van a unir. Para que las direcciones mdt se propaguen entre las mVRF's se debe agregar otra familia de direcciones conocida como mdt entre el route reflector y los PE's.

Finalmente se deben configurar los routers en las sedes para habilitar el envío y recepción del tráfico multicast y también configurar los PE's para que reconozcan estos equipos dentro de sus mVRF's. Esto se realiza configurando PIM sparse mode en las interfaces de los CE's (Client Edge) conectados a sus respectivos PE's y haciendo las redistribuciones necesarias para que los usuarios reconozcan las redes de las otras sedes.

### 3.4.3 Calidad de servicio

La calidad de servicio en la red core se hará en base a la marca dscp que se encuentra en la cabecera de los paquetes. Como se mostró en el apartado 2.3.1 se hará uso de los servicios diferenciados que permite definir clases de tráfico y aplicar políticas para realizar un control mas adecuado sobre estas.

En los routers de las sedes se configuró una clase para el tráfico multicast proveniente de las fuentes de transmisión con el objetivo de marcarlas con valor DSCP 32. Luego en los routers de core se hará uso de esta marca para reconocer el tráfico y aplicar otras políticas.

Se limitó el ancho de banda a 10 Mbps entre los router R4 y R6 (shape average 10240000) con el motivo de aplicar la configuración ya que si no existe escasez de ancho de banda no se hará efectivo la calidad de servicio. Se asignó la 5 Mbps como mínimo para el video, es decir, cuando el enlace se encuentre al máximo de su consumo la mitad del tráfico será de video.

### 3.5 Configuración de calidad de servicio en los switches

En los switches se emplea la marca CoS, como se mencionó en el apartado 2.3.2, para diferenciar tipos de tráfico. Se empleó la marca CoS 4 para el tráfico de video y esta se

aplica directamente sobre el puerto de origen. Luego se modificó las colas de los puertos para asignarles diferentes capacidades de acuerdo al tráfico que se les desee asignar

En el switch Cisco 2960 solo existen dos conjuntos de colas (queue-sets) [5] de los cuales el primero es usado por defecto y cada conjunto posee cuatro colas. En cada cola se pueden configurar cinco parámetros: cantidad de buffers asignables, dos niveles de umbrales, cantidad mínima de buffers a asignar y la cantidad máxima de buffers a asignar. En la siguiente figura 3.4 se muestra un ejemplo de esta configuración.

```
TEST#sh mls qos queue-set 2
Queueset: 2
Queue   :   1   2   3   4
-----
buffers :   70  10  10  10
threshold1:  90 200 100 100
threshold2:  80 200 100 100
reserved :  100  50  50  50
maximum  400 400 400 400
```

**Figura 3.4: Configuración de un queue-set**

La tabla anterior se interpreta de la siguiente forma: El parámetro buffers indica el porcentaje de los recursos que se le puede asignar a una cola. Los umbrales (threshold1 y threshold2) indica el límite de saturación a partir del cual se empieza a eliminar paquetes. El parámetro reserved indica la cantidad mínima de buffers que puede tener una cola, mientras que maximum indica el porcentaje máximo al cual se puede expandir.

Cabe mencionar que las colas obtienen los buffers de una fuente común y por ello estas pueden usar mayores recursos siempre y cuando estén disponibles. Debido a esto, los valores de threshold y maximum pueden ser superiores al 100 %. Por otro lado, luego que se tiene configurado las diferentes colas a usar se asignan las marcas de CoS. Para asignar un tipo de tráfico se debe especificar la cola y el umbral.

También se puede realizar un control de ancho de banda por colas en cada puerto usando los conceptos de shaping (limitación) o sharing (compartición). Con el uso de shaping se asegura un ancho de banda mínimo; sin embargo, no puede usar más

recursos del valor asignado aun cuando estén disponibles. En comparación, el uso de sharing permite usar los recursos libres de una cola en las demás.

Se debe tener en cuenta que shaping tiene la prioridad sobre el sharing, en consecuencia en el momento de calcular el ancho de banda de las colas que trabajan en modo sharing se debe sustraer el ancho de banda asignado a las colas en modo shaping. .

En la implementación de la red, se configuró el segundo conjunto de colas modificando los buffers y umbrales de cada cola para luego asignar el tráfico de video a la primera de estas. Después se usó el segundo conjunto (queue-set 2) en la interfaz de salida que se conecta al router donde se asigna 10 Mbps en modo shaping a la cola número uno por donde se transporta el video.

Como se mencionó en el punto 3.1 las pruebas se realizaron en un ambiente de laboratorio con equipos reales que cuentan con la versión de sistema operativo necesaria para admitir los comandos detallados en los anexos A y B. Estas pruebas consistieron en monitorear el envío de tráfico usando multicast donde se especifica la fuente vía IGMPv3 y comprobar la marcación de paquetes a la vez que se limita el ancho de banda para aplicar políticas de calidad de servicio. Los resultados de estas pruebas se mostrarán en el capítulo 4.

## **Capítulo 4**

### ***Pruebas realizadas y análisis de los resultados***

#### **4.1 Pruebas realizadas**

En las pruebas que se llevaron a cabo se usaron los paquetes de software VLC para el envío y recepción de video y el analizador de protocolos Wireshark para el análisis de los paquetes. De esta forma se obtuvieron resultados cualitativos y cuantitativos con lo cual se pudo comprobar el funcionamiento del diseño.

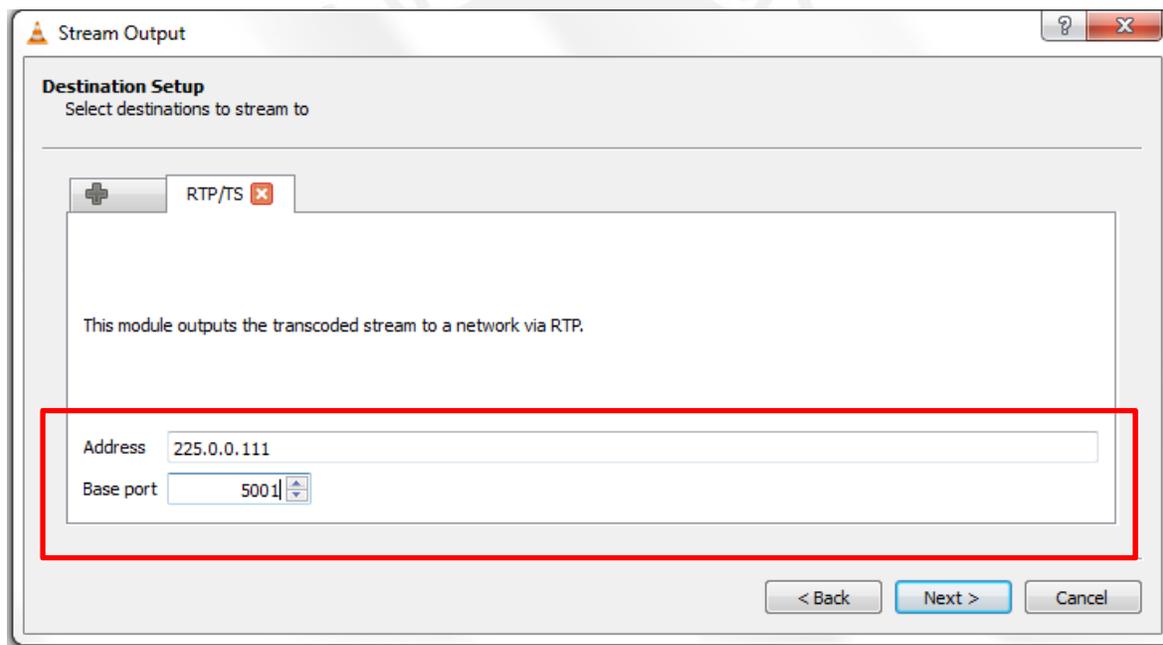
##### **4.1.1 Transmisión multicast**

Luego de realizar las configuraciones necesarias en los equipos de red, se procedió a la transmisión de video hacia dos grupos multicast usando VLC. Para el primero grupo multicast se usó la dirección 225.0.0.111:5001 y para el segundo grupo la dirección 225.0.0.114:5004 de esta forma los usuarios de la sede principal pueden unirse a cualquiera de los grupos.

Los parámetros usados en la transmisión del VLC fueron los siguientes:

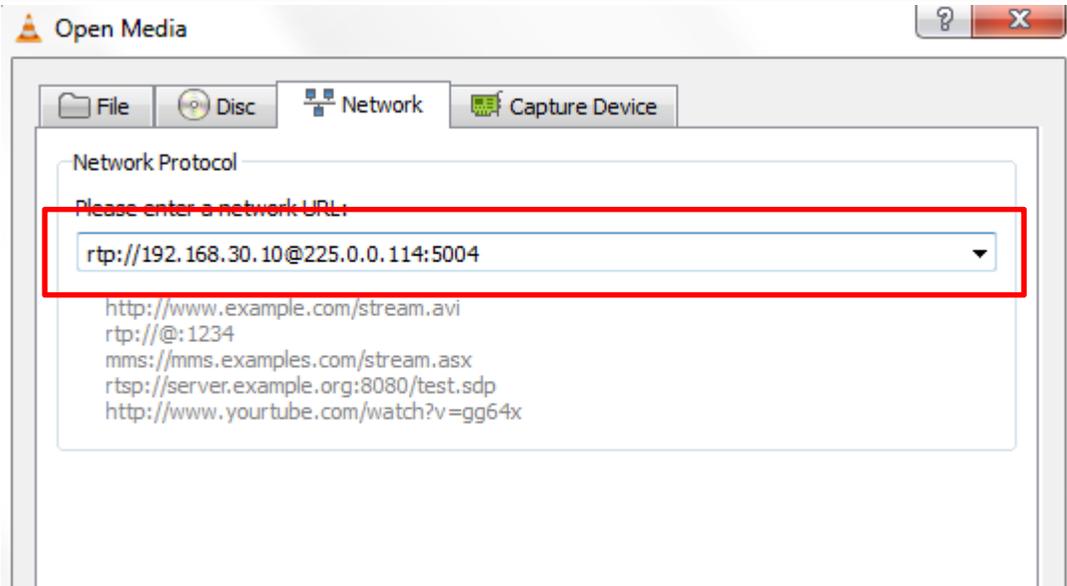
- Media: Stream
- Streaming method: RTP/MPEG Transport Stream
- Transcoding options: Ninguno
- Option Setup
  - ✓ Stream all elementary streams
  - ✓ Time-To-Live (TTL): 10

En la figura 4.1 se muestra la pantalla del VLC para especificar el primer grupo hacia dónde va dirigido la transmisión.



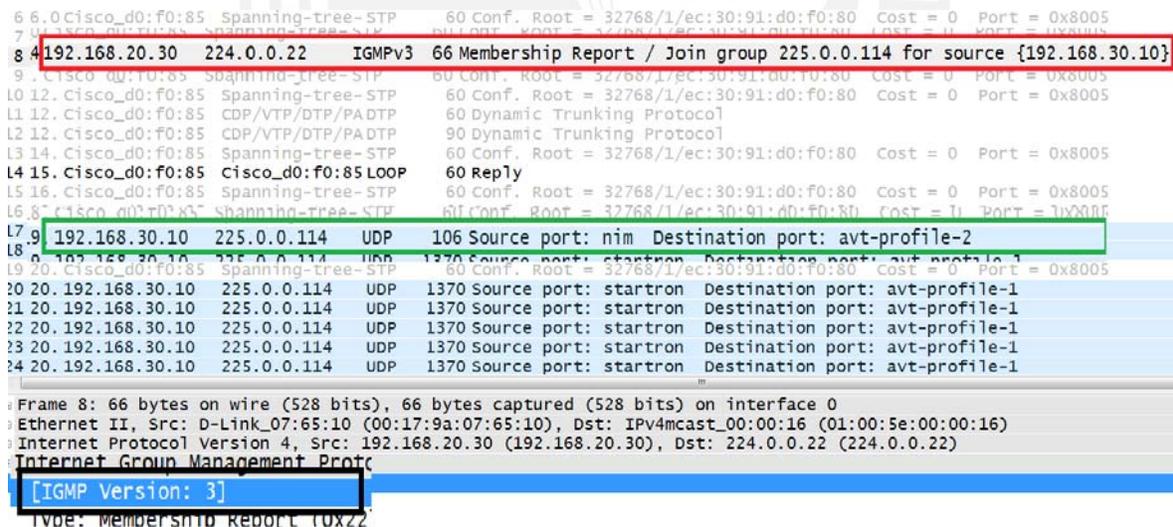
**Figura 4.1: Transmisión hacia un grupo multicast en VLC**

Una vez realizada la transmisión, se verifica la recepción en los equipos de la sede principal. Para comprobar la unión al grupo multicast usando IGMPv3 se especificó en el VLC la fuente de transmisión junto a la dirección del grupo y el puerto como se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.2: Recepción multicast en VLC**

Para verificar que se está llevando a cabo el comportamiento esperado se usó el software Wireshark en la computadora que recibe el tráfico como se muestra en la figura 4.3 y 4.4.



**Figura 4.3: Unión al grupo multicast 225.0.0.114 con IGMPv3**

```

22 17.192.168.20.40 224.0.0.22 IGMPv3 66 Membership Report / Join group 225.0.0.111 for source {192.168.10.10}
24 19.Cisco_d0:TU:87 Cisco_d0:TU:LOOP ou Reply
25 20.Cisco_d0:f0:87 Spanning-treeSTP 60 Conf. Root = 32768/1/ec:30:91:d0:f0:80 Cost = 0 Port = 0x8007
26 22.Cisco_d0:f0:87 Spanning-treeSTP 60 Conf. Root = 32768/1/ec:30:91:d0:f0:80 Cost = 0 Port = 0x8007
27 24.Cisco_d0:f0:87 Spanning-treeSTP 60 Conf. Root = 32768/1/ec:30:91:d0:f0:80 Cost = 0 Port = 0x8007
28 26.Cisco_d0:f0:87 Spanning-treeSTP 60 Conf. Root = 32768/1/ec:30:91:d0:f0:80 Cost = 0 Port = 0x8007
29 28.Cisco_d0:f0:87 Spanning-treeSTP 60 Conf. Root = 32768/1/ec:30:91:d0:f0:80 Cost = 0 Port = 0x8007
30 29.Cisco_d0:f0:87 Cisco_d0:f0:LOOP 60 Reply
32 31.192.168.10.10 225.0.0.111 UDP 106 Source port: icp Destination port: rfe
33 31.192.168.10.10 225.0.0.111 UDP 370 Source port: lmsocialserver Destination port: 5001
34 31.192.168.10.10 225.0.0.111 UDP 370 Source port: lmsocialserver Destination port: 5001

* Frame 22: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface 0
* Ethernet II, Src: D-Link_09:9d:cd (00:17:9a:09:9d:cd), Dst: IPv4mcast_00:00:16 (01:00:5e:00:00:16)
* Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.20.40 (192.168.20.40), Dst: 224.0.0.22 (224.0.0.22)
* Internet Group Management Protocol
  [IGMP Version: 3]
  Type: Membership Report (0x22)
  Header checksum: 0x3edf [correct]
    
```

**Figura 4.4: Unión al grupo multicast 225.0.0.111 con IGMPv3**

Las figuras 4.3 y 4.4 se describen de la siguiente forma: El rectángulo de color rojo es el paquete enviado por el usuario para unirse a un grupo multicast. La información contenida en este paquete incluye la dirección del grupo multicast y la de la fuente. Por otro lado, cuando el proceso ha sido exitoso se muestran paquetes como el resultado de color verde donde se indica como origen la fuente y el destino la dirección del grupo.

También se tuvo en consideración verificar el comportamiento del router próximo al cliente que recibe los mensajes de unión a los grupos multicast como se muestran en la figura 4.5.

```

Nov 23 22:46:01.591: IGMP(0): Received v3 Report for 2 groups on
GigabitEthernet0/0 from 192.168.20.10
Nov 23 22:46:01.591: IGMP(0): Received Group record for group
225.0.0.111, mode 1 from 192.168.20.10 for 1 sources
Nov 23 22:46:01.591: IGMP(0): Updating expiration time on
(192.168.10.10,225.0.0.111) to 180 secs
Nov 23 22:46:01.591: IGMP(0): MRT Add/Update GigabitEthernet0/0 for
(192.168.10.10,225.0.0.111) by 0
Nov 23 22:46:04.315: IGMP(0): Received v3 Report for 2 groups on
GigabitEthernet0/0 from 192.168.20.20
Nov 23 22:46:04.319: IGMP(0): Received Group record for group
225.0.0.114, mode 1 from 192.168.20.20 for 1 sources
    
```

```
Nov 23 22:46:04.319: IGMP(0): Updating expiration time on  
(192.168.30.10,225.0.0.114) to 180 secs  
Nov 23 22:46:04.319: IGMP(0): MRT Add/Update GigabitEthernet0/0 for  
(192.168.30.10,225.0.0.114) by 0
```

**Figura 4.5: Verificación en el router**

#### 4.1.2 Variación de calidad de servicio

Para verificar el funcionamiento de la calidad de servicio se tuvo en cuenta el grado de degradación de la imagen al variar parámetros tanto en la capa de red como en la capa de enlace. Como se mencionó en el punto 3.4.3, el tráfico proveniente del video se marcó con un valor de DSCP 32 (DSCP 0x20) con el motivo de identificarlo y asignarle un ancho de banda mínimo.

Para comprobar el marcado de los paquetes, se muestra el resultado de la configuración de los routers en la figura 4.6 y además con Wireshark se capturaron paquetes en los equipos cliente para confirmar la configuración como se muestra en la figura 4.7.

```
R1#sh policy-map interface gigabitEthernet 0/1  
GigabitEthernet0/1  
Service-policy output: VIDEO  
Class-map: UDP (match-all)  
508848 packets, 696828536 bytes  
5 minute offered rate 5464000 bps, drop rate 0 bps  
Match: access-group 111  
QoS Set  
dscp cs4  
Packets marked 508848
```

**Figura 4.6: Configuración de marcado de paquetes**

```

4 0.00513400 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
5 0.00777400 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
6 0.00903700 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
7 0.01174900 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
8 0.01294100 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
9 0.01567200 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
10 0.01685800 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
11 0.01826700 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
12 0.01958700 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
13 0.02088100 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
14 0.02344200 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
15 0.02468800 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
16 0.02735000 192.168.30.10 225.0.0.114 UDP 1370 Source port: startron Destination port: avt-profile-1
...
[+] Frame 1: 1370 bytes on wire (10960 bits), 1370 bytes captured (10960 bits) on interface 0
[+] Ethernet II, Src: Cisco_58:7d:b0 (e4:d3:f1:58:7d:b0), Dst: IPv4mcast_00:00:72 (01:00:5e:00:00:72)
[+] Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.30.10 (192.168.30.10), Dst: 225.0.0.114 (225.0.0.114)
    Version: 4
    Header length: 20 bytes
    [+] Differentiated Services Field: 0x80 (DSCP 0x20: Class Selector 4; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))
        1000 00.. = Differentiated Services Codepoint: Class Selector 4 (0x20)
        .... 0000 = Explicit Congestion Notification: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport) (0x00)
    Total Length: 1356
    Identification: 0x600c (24588)
    [+] Flags: 0x00
    Fragment offset: 0
    Time to live: 6
    Protocol: UDP (17)
    [+] Header checksum: 0x8ef0 [correct]
        Source: 192.168.30.10 (192.168.30.10)
        Destination: 225.0.0.114 (225.0.0.114)
        [Source GeoIP: Unknown]
        [Destination GeoIP: Unknown]
    [+] User Datagram Protocol, Src Port: startron (1057), Dst Port: avt-profile-1 (5004)
    [+] Data (1328 bytes)
    
```

**Figura 4.7: Marcado de paquetes con DSCP 32**

Luego de esto, se procedió a modificar el límite del ancho de banda en la interfaz del router con dirección al destino del grupo multicast con el objetivo de visualizar el impacto sobre la calidad de la imagen usando un video con formato mp4 en alta definición.

De esta manera se puede obtener un valor mínimo de ancho de banda a partir del cual un determinado formato de video empieza a degradarse. Se puede contrastar las variaciones realizadas con las especificaciones que brinda la recomendación ITU-T G.1080 en su apartado 6.1.3 donde se indica que los videos en alta definición (HDTV) deben ser transmitidos con un ancho de banda aproximado de 10 Mbps.

Los resultados mostrados en las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 corresponden a los límites de ancho de banda de 9 Mbps, 5 Mbps y 2 Mbps respectivamente.



Figura 4.8: Calidad de la imagen con un ancho de banda de 9 Mbps

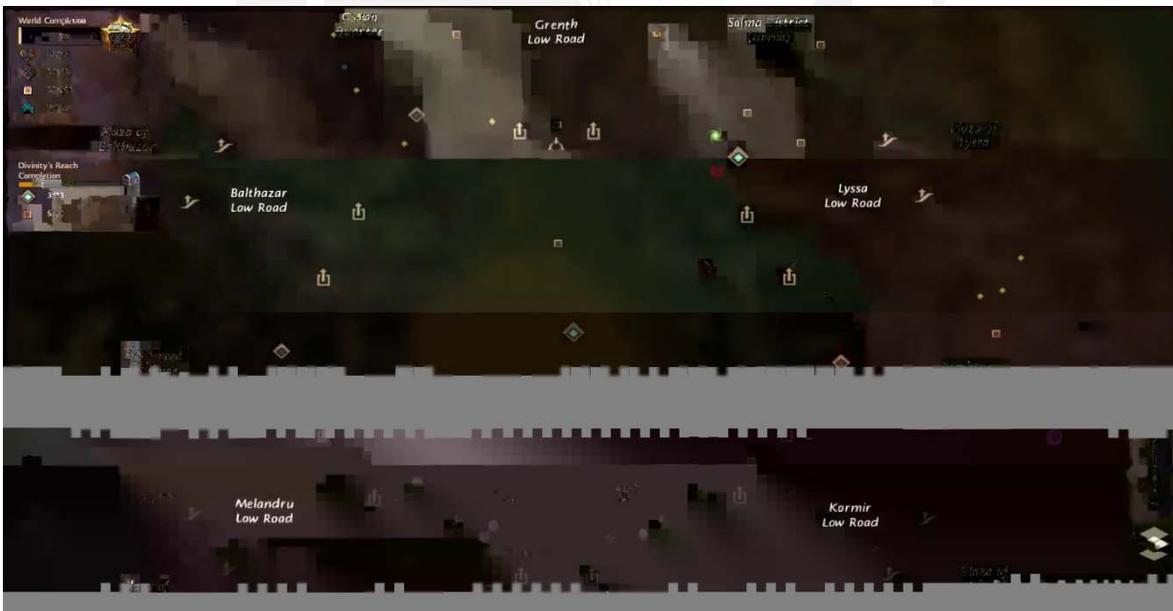
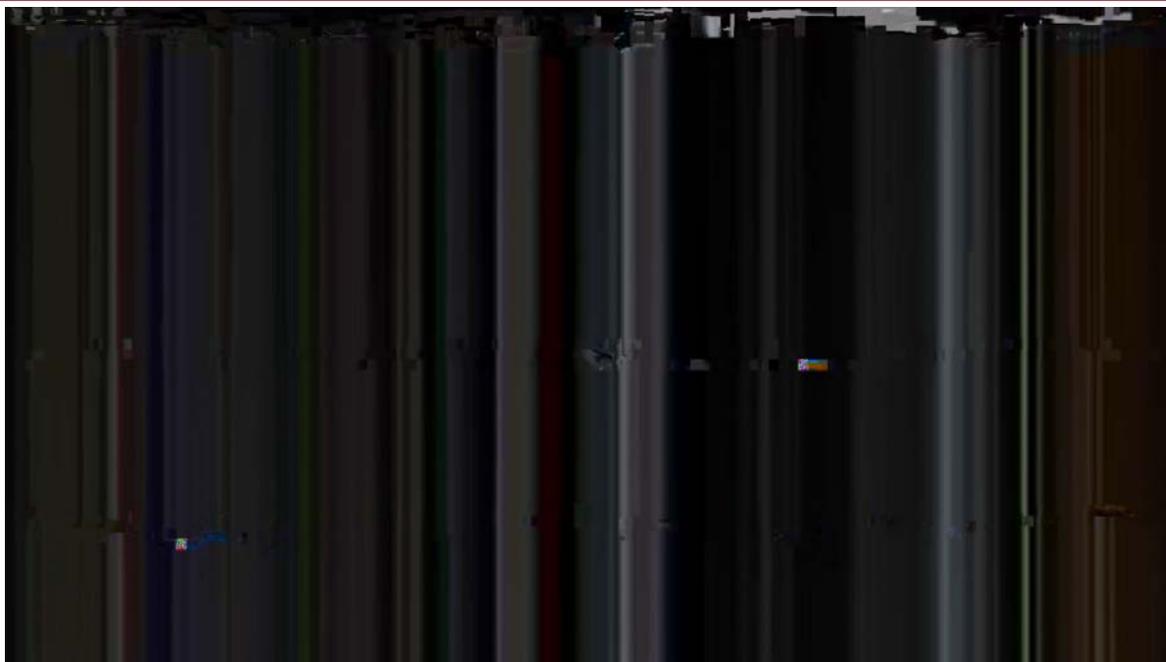


Figura 4.9: Calidad de la imagen con un ancho de banda de 5 Mbps



**Figura 4.10: Calidad de la imagen con un ancho de banda de 2 Mbps**

Las pruebas se realizaron otorgándole al tráfico de video un ancho de banda mínimo de 500 kbps para analizar el límite a partir del cual el video comienza a degradarse. En consecuencia, podemos tomar como referencia que ante una situación de escasez de ancho de banda donde se requiera priorizar la transmisión de un video en formato mp4 de alta definición se debe asignar como mínimo un ancho de banda entre 9 y 10 Mbps

La figura 4.11 muestra el ancho de banda mínimo otorgado durante las pruebas y la marca de calidad de servicio.

R4#sh policy-map interface fastEthernet 0/1

FastEthernet0/1

Service-policy output: 2M

Class-map: class-default (match-any)

233806 packets, 325644384 bytes

5 minute offered rate 5817000 bps, drop rate 261000 bps

Match: any

Queueing

queue limit 64 packets

(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/5326/0

(pkts output/bytes output) 155007/215848005

shape (average) cir 10240000, bc 40960, be 40960

target shape rate 10240000

Service-policy : TRAFICO

Class-map: UDP (match-all)

160203 packets, 223229446 bytes

5 minute offered rate 4505000 bps, drop rate 170000 bps

Match: dscp cs4 (32)

Queueing

queue limit 64 packets

(queue depth/total drops/no-buffer drops) 0/5326/0

(pkts output/bytes output) 154874/215805876

bandwidth 500 kbps

Exp-weight-constant: 9 (1/512)

Mean queue depth: 0 packets

class	Transmitted pkts/bytes	Random drop pkts/bytes	Tail drop pkts/bytes	Minimum thresh	Maximum thresh	Mark prob
0	0/0	0/0	0/0	20	40	1/10
1	0/0	0/0	0/0	22	40	1/10
2	0/0	0/0	0/0	24	40	1/10
3	0/0	0/0	0/0	26	40	1/10
4	154874/215805876	1669/2325322	3657/5094066	28	40	1/10

5	0/0	0/0	0/0	30	40	1/10
6	0/0	0/0	0/0	32	40	1/10
7	0/0	0/0	0/0	34	40	1/10

**Figura 4.11 Ancho de banda mínimo otorgado**

Luego de estas pruebas se procedió a variar el comportamiento en el switch para limitar el ancho de banda en la interfaz de salida al router y comprobar que los paquetes con marca de Cos 4 para el tráfico de video sea enviado a una cola de salida específica del puerto donde se está limitando el ancho de banda. De esta forma se puede evaluar la degradación del video a nivel de la capa de enlace.

En la siguiente figura 4.12 se muestra la configuración realizada en el puerto de entrada para marcar los paquetes de video.

```
SW1#sh mls qos interface fastEthernet 0/1
FastEthernet0/1
trust state: trust cos
trust mode: trust cos
trust enabled flag: ena
COS override: dis
default COS: 4
DSCP Mutation Map: Default DSCP Mutation Map
Trust device: none
qos mode: port-based
```

**Figura 4.12: Configuración en el puerto de entrada**

Luego de la configuración previa realizada en el punto 3.5, donde se asigna el tráfico de video a la primera cola de la interfaz y se usa una configuración de colas diferente, se procedió a limitar el ancho de banda usando los mismos valores configurados en los routers. De esta manera se obtuvieron los mismos resultados cualitativos mostrados anteriormente en las figuras 4.8, 4.9 y 4.10.

Luego de esto se procedió a verificar el marcado correcto de los paquetes en el puerto de entrada en el switch como se muestra en la figura 4.13.

```
SW1#sh mls qos interface fastEthernet 0/1 statistics
FastEthernet0/1 (All statistics are in packets)
```

```

cos: incoming
-----

0 - 4 :      1118968          0          0          0
198310
5 - 7 :      17456           0          0
cos: outgoing
-----

0 - 4 :          236          0          0          0
0
5 - 7 :          0           74          0
output queues enqueued:
queue:  threshold1  threshold2  threshold3
-----
queue 0:      20          0          0
queue 1:      29          0          3133
queue 2:       0          0          0
queue 3:       0          0          381

output queues dropped:
queue:  threshold1  threshold2  threshold3
-----
queue 0:       0          0          0
queue 1:       0          0          0
queue 2:       0          0          0
queue 3:       0          0          0

Policer: Inprofile:          0 OutofProfile:          0
    
```

**Figura 4.13: Marcado de paquetes en el puerto de entrada**

Por otro lado, también se tuvo en consideración la verificación de la configuración realizada en el puerto de salida. En la figura 4.14 se muestra el resultado de esta

configuración y en la figura 4.15 se observa la asignación de paquetes al primer umbral (Weight 0) de la primera cola (Queue 0).

```
SW1#sh mls qos interface fastEthernet 0/24 queueing
FastEthernet0/24
Egress Priority Queue : disabled
Shaped queue weights (absolute) : 10 0 0 0
Shared queue weights : 25 25 25 25
The port bandwidth limit : 100 (Operational Bandwidth:100.0)
The port is mapped to qset : 2
```

**Figura 4.14: Configuración de la interfaz de salida**

```
SW1#show platform port-asic stats drop fastEthernet 0/24

Interface Fa0/24 TxQueue Drop Statistics
Queue 0
  Weight 0 Frames 24379
  Weight 1 Frames 0
  Weight 2 Frames 0
Queue 1
  Weight 0 Frames 36
  Weight 1 Frames 0
  Weight 2 Frames 0
Queue 2
  Weight 0 Frames 0
  Weight 1 Frames 0
  Weight 2 Frames 0
Queue 3
  Weight 0 Frames 0
  Weight 1 Frames 0
  Weight 2 Frames 0
```

**Figura 4.15: Asignación de paquetes al primer umbral de la primera cola**

#

## 4.2 Análisis de resultados

Las pruebas realizadas en el punto 4.1 estuvieron orientadas a comprobar el funcionamiento de la tecnología multicast VPN y hacer uso de la calidad de servicio para hacer un seguimiento del tráfico con el fin de asignar un ancho de banda adecuado.

El despliegue de la tecnología multicast VPN consistió en el uso de PIM Sparse Mode en conjunto con mVRF ya que tiene la ventaja de permitir especificar las fuentes de los grupos multicast al usar IGMPv3 en las computadoras clientes como se mostró usando VLC. De esta forma se logra evitar sobrecargar con tráfico de control a la red.

La calidad de servicio se dividió en dos partes al usar la capa de red y la capa de enlace para administrar el tráfico. En los router se empleó el concepto de servicios diferenciados y se marcaron los paquetes con el valor de DSCP 32 para identificar el tráfico de video con el fin de aplicar políticas sobre el mismo.

En los switches se empleó la marca CoS 4 y la calidad de servicio se gestionó a nivel de hardware basándome en el manejo de buffers y umbrales de las colas en los puertos de salida hacia los routers. De esta forma se puede realizar una evaluación del ancho de banda necesario para transmitir un video en específico como se mostró en el punto 4.1.2.

De esta manera se logró desplegar una red que sea flexible y escalable en el tiempo ya que cuando sea necesario agregar otra sede desde donde se trasmite tráfico multicast se tendría que realizar las configuraciones en su respectivo CE y se tendría que realizar el aprovisionamiento en los PE's necesarios.

## 4.3 Reporte de costos

El presupuesto para la implementación del diseño planteado incluye los costos referentes a los honorarios profesionales, los servicios y materiales de oficina durante un período de seis meses que dura el proyecto. En la tabla 4.4 se muestra el resumen de estos costos.

#### 4.3.1 Honorarios profesionales

Se toma en cuenta que el desarrollo del diseño fue realizado por una sola persona con 1 año de experiencia en el área de redes a un nivel profesional trabajando a tiempo completo en una empresa local y estimando S/.120.00 el costo de la hora hombre. En la siguiente tabla 4.1 se muestra el costo total de los honorarios profesionales.

**Tabla 4.1: Costos de honorarios profesionales**

	<b>Honorarios profesionales</b>
<b>Costo Hora Hombre</b>	120.00
<b>Cantidad de horas laborales por día</b>	8
<b>Costo de viáticos por día</b>	50.00
<b>Costo transporte privado por día</b>	40.00
<b>Número de días laborales por mes</b>	20
<b>Número de meses</b>	6
<b>Total (S/.)</b>	126,000.00
<b>Margen de venta (%)</b>	25
<b>Costo (S/.)</b>	168,000.00

#### 4.3.2 Materiales de oficina

En el presente trabajo se tomaron en cuenta los materiales de oficinas utilizados, como lapiceros, cuadernos, lápices, entre otros. Necesarios para los apuntes en reuniones, diseño de la solución y configuraciones de los equipos. El costo de estos materiales se muestra en la siguiente tabla 4.2.

**Tabla 4.2: Costos de materiales de oficina**

<b>Materiales de oficina</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Cuaderno	20.00
Lapiceros	5.00
<b>Costo total</b>	25.00

#### 4.3.3 Servicios

En este punto se tomó en consideración los gastos producidos por el uso de servicios básicos como luz, teléfono, transporte y conexión a internet. Con el fin de tener facilidades para realizar consultas y compartir información. El costo de estos servicios se muestra en la tabla 4.3

Tabla 4.3: Costos de servicios

Servicio	Costo mensual	Número de meses	Costo (S/.)
Luz	50.00	6	300.00
Teléfono	30.00	6	180.00
Internet (4 Mbps)	100.00	6	600.00
<b>Costo total</b>			<b>1,320.00</b>

Tabla 4.4: Costo total de la implementación

	Costo (S/.)
Honorarios profesionales	168,000.00
Materiales de oficina	25.00
Servicios	1,320.00
<b>Costo total</b>	<b>169,345.00</b>

## Conclusiones

- Se cumplió con el objetivo de implementar multicast VPN en la transmisión de video streaming en combinación con PIM Sparse Mode e IGMPv3 para permitir unirse a dos grupos multicast como se demuestra en las pruebas realizadas en el punto 4.1.1. De esta manera se logra un diseño mas ordenado y no se sobrecarga a la red con el tráfico de control.
- El diseño emplea calidad de servicio a nivel de la capa de red con lo cual se puede manejar una clasificación y aplicar políticas apropiadas para diferentes tipos de tráfico. Además, la configuración de calidad de servicio en los switches permite tener un control de extremo a extremo sobre el tráfico de video como se comprueba en el punto 4.1.2 al limitar el ancho de banda en la interfaz de salida provocando que la imagen se distorsione.
- Se comprobó la recomendación presentada por la ITU-T G.1080 al asignar un ancho de banda entre 9 y 10 Mbps a un tráfico de video en alta definición a partir de la cual la imagen no se distorsiona como se comprueba en las figuras presentadas en el punto 4.1.2.
- El diseño presentado en el punto 3.3 cumple con ser ordenado, flexible y escalable en el tiempo permitiendo la implementación de nuevos servicios o ampliar los existentes al incluir nuevas sedes.

## Recomendaciones

- El diseño presentado en el punto 3.3 solo considera el uso de un Route Reflector (RR) lo cual representa un único punto de falla. Por tal motivo, se debería utilizar un RR de respaldo sobre todo en situaciones donde se tengan desplegadas en la red aplicaciones de nivel crítico.
- Para realizar la implementación de los puntos 3.4 y 3.5, se debe tener en cuenta la versión del sistema operativo de los equipos debido a que en muchos de los casos solo se dispone de las capacidades básicas y es necesario adquirir las versiones de nivel avanzado.
- La presente tesis estuvo orientada al área de redes en un servicio de video streaming. Para un estudio futuro sobre este tema se debe tener en consideración lo relacionado a los tipos de formato de video, capacidad de almacenamiento y los requerimientos de ancho de banda para cada uno de estos.

## Bibliografía

- [1] CISCO SYSTEMS  
2009 “Cisco IP Video Surveillance Design Guide”  
Consulta: 15 de marzo de 2013.  
<[http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Video/IPVS/IPVS\\_DG/IPVS\\_DG.pdf](http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Video/IPVS/IPVS_DG/IPVS_DG.pdf)>
- [2] OCAMPO, Antonio  
2012 “Fundamentos de MPLS” [Diapositivas]. Lima
- [3] OCAMPO, Antonio  
2012 “Calidad de servicio IP - MPLS” [Diapositivas]. Lima
- [4] OCAMPO, Antonio  
2012 “Multicast” [Diapositivas]. Lima
- [5] DIB, Daniel  
2013 “Catalyst Qos – A deeper look at the egress queues”  
Consulta: 7 de julio de 2013.  
<<http://lostintransit.se/category/qos/>>
- [6] VIDEOLAN ORGANIZATION  
2013 “VLC”.  
Consulta: 14 de agosto de 2013.  
<<http://www.videolan.org/vlc/index.html>>
- [7] NCH SOFTWARE  
2013 “BroadCam Video Streaming Software”.  
Consulta: 30 de octubre de 2013.  
<<http://www.nchsoftware.com/broadcam/>>

- [8] APPLE  
2013 “QuickTime”.  
Consulta: 14 de agosto de 2013.  
<<http://www.apple.com/quicktime/download/>>
- [9] REAL NETWORKS  
2013 “Real Player”.  
Consulta: 14 de agosto de 2013.  
<<http://mx.real.com/>>
- [10] INTERNET ENGINEERING TASK FORCE  
2013 “Internet Group Management Protocol, Version 2”.  
Consulta: 10 de marzo de 2013.  
<<http://tools.ietf.org/html/rfc2236>>
- [11] CISCO SYSTEMS  
2013 “Configuring QoS”.  
Consulta: 10 de septiembre de 2013.  
<[http://www.cisco.com/en/US/docs/switches/lan/catalyst2960/software/release/15.0\\_2\\_se/configuration/guide/swqos.pdf](http://www.cisco.com/en/US/docs/switches/lan/catalyst2960/software/release/15.0_2_se/configuration/guide/swqos.pdf)>
- [12] JUNIPER  
2013 “Understanding CoS Hierarchical Port Scheduling”.  
Consulta: 4 de noviembre de 2013.  
<[http://www.juniper.net/techpubs/en\\_US/junos13.2/topics/concept/cos-qfx-series-schedulers-hierarchical-ets-understanding.html](http://www.juniper.net/techpubs/en_US/junos13.2/topics/concept/cos-qfx-series-schedulers-hierarchical-ets-understanding.html) >

- [13] HP  
2013 “Chapter 2 Quality of Service (QoS)”.  
Consulta: 4 de noviembre de 2013.  
<[http://www.hp.com/rnd/support/manuals/  
pdf/release\\_06628\\_07110/Bk2\\_Ch2\\_QoS.pdf](http://www.hp.com/rnd/support/manuals/pdf/release_06628_07110/Bk2_Ch2_QoS.pdf)>
- [14] ITU-T  
2008 “G.1080: Quality of experience requirements for IPTV  
services”  
Consulta: 15 de noviembre de 2013.  
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.1080-200812-I>>

