



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO MULTICAST SOBRE MULTIPROTOCOLO LABEL SWITCHING APLICADO A LA PROVISIÓN DEL SERVICIO DE IPTV”**

**DIOSELINA ISABEL TENE SALCAN**

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**Enero 2020**

**@ 2020, Ing. Dioselina Isabel Tene Salcán**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

#### EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO MULTICAST SOBRE MULTIPROTOCOLO LABEL SWITCHING APLICADO A LA PROVISIÓN DEL SERVICIO DE IPTV”, de responsabilidad de Dioselina Isabel Tene Salcan ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

#### Tribunal:

ING. OSWALDO MARTÍNEZ GUASHIMA; MSc.

**PRESIDENTE**

ING. RUTH BARBA VERA; MSc.

**DIRECTOR**

LIC. RAÚL LOZADA YÁNEZ; MSc.

**MIEMBRO**

ING. JONNY GUAÍÑA YUNGÁN; MSc.

**MIEMBRO**

Riobamba, Enero 2020

## DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Dioselina Isabel Tene Salcán, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



---

Dioselina Isabel Tene Salcan

N° de Cédula: 0603360603

Yo, Dioselina Isabel Tene Salcan, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.



---

Dioselina Isabel Tene Salcan

Nº de Cédula: 0603360603

## **DEDICATORIA**

Este trabajo le dedico a Dios por todas sus bendiciones otorgadas y por darme la oportunidad de seguir cumpliendo mis sueños, me ha acompañado a lo largo de mi vida, dándome fuerza y serenidad en aquellos momentos difíciles.

A mi señora madre pues ha sido mi luz y soporte, la que me apoyado incondicionalmente y ahora poder cumplir con mi anhelada maestría, le dedico a usted, pues siempre ha cristalizado mis metas. A mis hermanos Yolanda y Marcelo, a mis amigos por motivarme, darme la mano y su afecto sincero.

Dioselina Tene

## **AGRADECIMIENTO**

Mi eterno agradecimiento a Dios por haberme regalado la vida, para alcanzar una meta más.

Un especial y muy reconocido agradecimiento a la directora de tesis Ing. Ruth Barba MSc., a los miembros de tesis: Ing. Jonny Guaiña MSc. y Lic. Raúl Lozada MSc y amigos por su colaboración y ayuda desinteresada para la elaboración de esta tesis.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii

### CAPITULO I

<b>1. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Justificación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<i>1.4.1. Objetivo General.....</i>	<i>3</i>
<i>1.4.2. Objetivos Específicos .....</i>	<i>3</i>
<b>1.5. Hipótesis.....</b>	<b>3</b>

### CAPITULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Protocolo Multicast .....</b>	<b>4</b>
<i>2.1.1. Definición .....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.1.1.1 GMP (Protocolo de Administración de Grupos de Internet).....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.1.2. MLD (Descubrimiento de Escucha de Multidifusión).....</i>	<i>6</i>
<b>2.1.2. Clasificación de los protocolos Multicast .....</b>	<b>7</b>
<i>2.1.2.1. DENSE MODE.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.2.2. SPARSE MODE .....</i>	<i>10</i>
<b>2.1.3. Direccionamiento IP Multicast.....</b>	<b>11</b>
<i>2.1.3.1. Direcciones IP Multicast Especiales.....</i>	<i>12</i>
<i>2.1.3.2. Grupo Permanente .....</i>	<i>12</i>
<i>2.1.3.3. Grupo Transitorio .....</i>	<i>13</i>

<b>2.1.4.</b>	<b><i>Comunicación Multicast</i></b> .....	13
<b>2.1.5.</b>	<b><i>Beneficios de la Tecnología Multicast</i></b> .....	14
<b>2.1.6.</b>	<b><i>Aplicaciones de Multicast</i></b> .....	15
<b>2.2.</b>	<b>MPLS</b> .....	16
<b>2.2.1.</b>	<b><i>Definición de MPLS</i></b> .....	16
<b>2.2.1.1.</b>	<b><i>Campos de la cabecera MPLS</i></b> .....	18
<b>2.2.2.</b>	<b><i>Características de MPLS</i></b> .....	18
<b>2.2.3.</b>	<b><i>MPLS- Arquitectura</i></b> .....	20
<b>2.2.3.1.</b>	<b><i>Plano de Control</i></b> .....	20
<b>2.2.3.2.</b>	<b><i>Plano de Datos</i></b> .....	22
<b>2.2.4.</b>	<b><i>Dispositivos MPLS</i></b> .....	23
<b>2.2.4.1.</b>	<b><i>LSR (Label Switching Enrutador o Enrutadores Conmutadores de Etiquetas )</i></b> .....	24
<b>2.2.4.1.1.</b>	<b><i>Arquitectura del LSR</i></b> .....	24
<b>2.2.4.2.</b>	<b><i>LSR (Frontera de Ingreso o Ingress LER Label Edge Router)</i></b> .....	25
<b>2.2.4.3.</b>	<b><i>LSR (Interior o LSR Label Switching Router)</i></b> .....	25
<b>2.2.4.4.</b>	<b><i>LSR (Frontera de Egreso o Egress LER Label Edger Router)</i></b> .....	26
<b>2.2.4.5.</b>	<b><i>Edge-LSR (PE) (Edge Label Switch Router)</i></b> .....	26
<b>2.2.4.6.</b>	<b><i>LER (Label Edge Enrutador - Enrutadores de Etiquetas de Borde)</i></b> .....	27
<b>2.2.4.7.</b>	<b><i>LDP (Label Distribution Protocol – Protocolo de Distribucion de Etiquetas)</i></b> .....	27
<b>2.2.4.8.</b>	<b><i>CR-LDP (Constraint Shortest Path First Based LSP)</i></b> .....	28
<b>2.2.4.9.</b>	<b><i>LSP (Label Switching Path – Caminos Conmutados mediante Etiquetas)</i></b> .....	28
<b>2.2.4.10.</b>	<b><i>FEC (Forwarding Equivalence Class – Clase Equivalente de Envió)</i></b> .....	28
<b>2.2.4.11.</b>	<b><i>LIB (Label Information Base)</i></b> .....	29
<b>2.2.5.</b>	<b><i>Estructura MPLS</i></b> .....	29
<b>2.2.5.1.</b>	<b><i>Campos de la Cabecera MPLS</i></b> .....	30
<b>2.2.6.</b>	<b><i>Funcionamiento de MPLS</i></b> .....	30
<b>2.2.7.</b>	<b><i>Convergencia de MPLS</i></b> .....	32
<b>2.2.8.</b>	<b><i>Objetivos de MPLS</i></b> .....	32
<b>2.2.9.</b>	<b><i>Aplicaciones de MPLS</i></b> .....	33

<b>2.2.10.</b>	<b><i>Beneficios de MPLS</i></b> .....	34
<b>2.3.</b>	<b>Servicio IPTV</b> .....	34
<b>2.3.1.</b>	<b><i>Concepto de IPTV</i></b> .....	34
<b>2.3.2.</b>	<b><i>Características de IPTV</i></b> .....	34
<b>2.3.3.</b>	<b><i>Modelo TCP/IP</i></b> .....	35
<b>2.3.3.1.</b>	<b><i>Modelo OSI</i></b> .....	36
<b>2.3.3.2.</b>	<b><i>Modelo TCP/IP</i></b> .....	37
<b>2.3.4.</b>	<b><i>Video - Streaming</i></b> .....	38
<b>2.3.4.1.</b>	<b><i>RTCP ( Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real )</i></b> .....	39
<b>2.3.4.2.</b>	<b><i>RTSP (Protocolo de Transmisión en Tiempo Real)</i></b> .....	39
<b>2.3.4.3.</b>	<b><i>IGMP (Protocolo de Manejo de Grupos d Internet)</i></b> .....	39
<b>2.3.5.</b>	<b><i>Arquitectura de IPTV</i></b> .....	40
<b>2.3.6.</b>	<b><i>Infraestructura de IPTV</i></b> .....	41
<b>2.3.6.1.</b>	<b><i>Centro de Datos</i></b> .....	42
<b>2.3.6.2.</b>	<b><i>Red de Banda Ancha</i></b> .....	43
<b>2.3.6.3.</b>	<b><i>Decodificadores</i></b> .....	43
<b>2.3.6.4.</b>	<b><i>Red de Casa</i></b> .....	44
<b>2.3.7.</b>	<b><i>Requerimientos de QoS para IPTV</i></b> .....	44
<b>2.3.7.1.</b>	<b><i>Controlador de QoS</i></b> .....	45
<b>2.3.7.2.</b>	<b><i>Encoder de Mejora QoS</i></b> .....	45
<b>2.3.8.</b>	<b><i>Redes de Acceso Utilizadas para transmitir IPTV</i></b> .....	45
<b>2.3.9.</b>	<b><i>Diferencias entre IPTV y TV por Internet</i></b> .....	46

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN</b> .....	48
<b>3.1.</b>	<b>Parámetros de Calidad del Servicio IPTV</b> .....	48
<b>3.1.1.</b>	<b><i>Retardo</i></b> .....	49
<b>3.1.2.</b>	<b><i>Pérdida de Paquete de Datos</i></b> .....	49
<b>3.1.3.</b>	<b><i>Jitter</i></b> .....	49

<b>3.2.</b>	<b>Software para las Pruebas</b> .....	51
<b>3.2.1.</b>	<i>Wireshark</i> .....	51
<b>3.2.2.</b>	<i>Iperf/ Jperf</i> .....	52
<b>3.3.</b>	<b>Alcance del Diseño</b> .....	53
<b>3.4.</b>	<b>Diseño de la Arquitectura</b> .....	54
<b>3.4.1.</b>	<i>Headend</i> .....	54
<b>3.4.1.1.</b>	<i>Servidores de Contenidos Multimedia</i> .....	54
<b>3.4.1.2.</b>	<i>Software para la Emisión de los Streamings de IPTV</i> .....	55
<b>3.4.1.3.</b>	Video para la Simulación de canales de Televisión .....	56
<b>3.4.2.</b>	<i>Core/Borde Regional</i> .....	57
<b>3.4.2.1.</b>	<i>Diseño</i> .....	57
<b>3.4.3.</b>	<i>Red Local Hacia el Usuario</i> .....	59
<b>3.4.3.1.</b>	<i>SET-TOP BOX</i> .....	60
<b>3.5.</b>	<b>Implementación del Escenario de Pruebas</b> .....	61
<b>3.5.1.</b>	<i>Configuración del Core</i> .....	62
<b>3.5.2.</b>	<i>Configuración del Sistema de IPTV</i> .....	64
<b>3.5.3.</b>	<i>Configuración del FTP Server</i> .....	67
<b>3.5.4.</b>	<i>Configuración del Probador Festream</i> .....	68

## **CAPITULO IV**

<b>4.</b>	<b>PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	71
<b>4.1.</b>	<b>Pruebas del Escenario IPTV</b> .....	71
<b>4.1.1.</b>	<i>Muestra de Datos</i> .....	71
<b>4.1.1.1.</b>	<i>Métodos de Muestreo de Datos</i> .....	72
<b>4.1.1.1.1.</b>	<i>Parámetros de Calidad</i> .....	72
<b>4.1.1.1.1.1.</b>	<i>Retardo</i> .....	72
<b>4.1.1.1.1.2.</b>	<i>Jitter</i> .....	73
<b>4.1.1.1.1.3.</b>	<i>Pérdida de Paquetes</i> .....	75
<b>4.2.</b>	<b>Análisis de los Datos Obtenidos</b> .....	76

4.2.1.	<b>Retardo</b> .....	76
4.2.2.	<b>Jitter</b> .....	77
4.2.3.	<b>Pérdida de Paquetes</b> .....	77
4.2.4.	<b>Calidad de Transmisión</b> .....	78
4.3.	<b>Probador de IPTV FESTREAM</b> .....	79
4.3.1.	<b>Variables a Medir</b> .....	81
4.3.1.1.	<i>Average Audio/Video MOS</i> .....	82
4.3.1.2.	<i>MAX PCR JITTER</i> .....	83
4.3.1.3.	<i>Video Packet LOSS RATE</i> .....	83
4.4.	<b>Consideraciones para la Ejecución de las Pruebas</b> .....	84
4.5.	<b>Ejecución de la Prueba</b> .....	84
4.5.1.	<b>Pruebas con el Protocolo PIM SIM</b> .....	85
4.5.2.	<b>Pruebas con el Protocolo PIM DM</b> .....	86
4.5.3.	<b>Pruebas con el Protocolo PIM SM-DM</b> .....	86
4.5.4.	<b>Resultados Generales</b> .....	87
4.5.5.	<b>Modelo Estadístico</b> .....	88
4.5.5.1.	<i>Diseño Factorial Mixto 2*3</i> .....	88
4.5.5.1.1.	<i>PASOS para realizar un diseño factorial:</i> .....	89
4.5.5.2.	<i>Tabla ANOVA</i> .....	89
4.5.5.3.	<i>Protocolo Ganador</i> .....	90
4.5.6.	<b>Experimento 1</b> .....	92
4.5.6.1.	<i>Descripción del Experimento</i> .....	93
4.5.6.2.	<i>Hipótesis</i> .....	93
4.5.6.3.	<i>Resultados</i> .....	93
4.5.6.4.	<i>Comparación de Medidas</i> .....	95
4.5.6.5.	<i>Protocolo Ganador</i> .....	97
4.5.7.	<b>Experimento 2</b> .....	97
4.5.7.1.	<i>Descripción del Experimento</i> .....	97
4.5.7.2.	<i>Hipótesis</i> .....	97

4.5.7.3.	<i>Resultados</i> .....	98
4.5.7.3.1.	<i>Tabla ANOVA</i> .....	98
4.5.7.4.	<i>Protocolo Ganador</i> .....	97
<b>4.5.8.</b>	<b><i>Experimento 3</i></b> .....	98
4.5.8.1.	<i>Descripción del Experimento</i> .....	99
4.5.8.2.	<i>Hipótesis</i> .....	99
4.5.8.3.	<i>Resultados</i> .....	99
4.5.8.3.1.	<i>Tabla ANOVA</i> .....	99
4.5.8.4.	<i>Comparación de Medidas</i> .....	101
4.5.8.5.	<i>Protocolo Ganador</i> .....	102
<b>4.5.9.</b>	<b><i>Evaluación de los Elementos Ganadores de los Experimentos</i></b> .....	103
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	104
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	105
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXO</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Mensajes de Multicast.....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Clases de mensajes MLD .....	6
<b>Tabla 3-2:</b> Clases de Protocolos Multicast.....	7
<b>Tabla 4-2:</b> Protocolos con su Función .....	8
<b>Tabla 5-2:</b> Direcciones IP .....	11
<b>Tabla 6-2:</b> Implementación de Comunicación Multicast .....	13
<b>Tabla 7-2:</b> Beneficios de la Tecnología Multicast .....	14
<b>Tabla 8-2:</b> Protocolos que soportan MPLS .....	21
<b>Tabla 9-2:</b> Capas del modelo OSI.....	36
<b>Tabla 10-2:</b> Capas del modelo TCP/IP .....	37
<b>Tabla 11-2:</b> Características del Video-Streaming .....	39
<b>Tabla 12-2:</b> Diferencias entre IPTV y TV por Internet.....	46
<b>Tabla 1-3:</b> Valoración del Porcentaje de: Retardo, Pérdida de Paquetes y Jitter .....	50
<b>Tabla 2-3:</b> Parámetros de QoS .....	50
<b>Tabla 3-3:</b> Características del Servidor IPTV .....	55
<b>Tabla 4-3:</b> Características de los videos de Prueba para el servicio de IPTV .....	56
<b>Tabla 5-3:</b> Direccionamiento usado por el Escenario .....	58
<b>Tabla 1-4:</b> Datos de prueba sobre el retardo .....	76
<b>Tabla 2-4:</b> Datos de prueba sobre el Jitter.....	77
<b>Tabla 3-4:</b> Datos de prueba sobre la pérdida de paquetes .....	77
<b>Tabla 4-4:</b> Ponderación de Calificación de la Calidad de Transmisión .....	78
<b>Tabla 5-4:</b> Calificación de la Calidad de Transmisión.....	78
<b>Tabla 6-4:</b> Descripción de los ítems de la categoría “Summary” .....	81
<b>Tabla 7-4:</b> Variables a medir con su respectivo rango de valoración .....	81
<b>Tabla 8-4:</b> MOS para IPTV .....	82
<b>Tabla 9-4:</b> Pruebas con el Protocolo PIM SIM .....	85
<b>Tabla 10-4:</b> Pruebas con el Protocolo PIM DM.....	86
<b>Tabla 11-4:</b> Pruebas con el Protocolo PIM SM-DM.....	86
<b>Tabla 12-4:</b> Resultados Generales.....	87
<b>Tabla 13- 4:</b> Modelo de la ANOVA con sus componentes.....	90
<b>Tabla 14-4:</b> Fórmulas para obtener el LSD.....	92
<b>Tabla 15-4:</b> Anova para la Calidad Audio y Video.....	94
<b>Tabla 16-4:</b> Medidas de Experimento 1 .....	95

<b>Tabla</b>	<b>17-4:</b> Cálculo de LSD del Experimento 1 .....	96
<b>Tabla</b>	<b>18-4:</b> Determinacion de igualdad del Experimento 1 .....	96
<b>Tabla</b>	<b>19-4:</b> Anova para el Jitter.....	98
<b>Tabla</b>	<b>20-4:</b> Anova para paquetes perdidos.....	100
<b>Tabla</b>	<b>21-4:</b> Medidas de Experimento 3.....	101
<b>Tabla</b>	<b>22-4:</b> Cálculo de LSD del Experimento 3.....	102
<b>Tabla</b>	<b>23-4:</b> Determinación de Igualdad del Experimento 3 .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Protocolo Multicast.....	4
<b>Figura 2-2:</b> Protocolo IGMP.....	5
<b>Figura 3-2:</b> Protocolo IGMP.....	11
<b>Figura 4-2:</b> Modelo OSI con MPLS .....	16
<b>Figura 5-2:</b> Red MPLS.....	17
<b>Figura 6-2:</b> Arquitectura: Plano de Control .....	20
<b>Figura 7-2:</b> Arquitectura: Plano de Datos.....	22
<b>Figura 8-2:</b> Dispositivos MPLS .....	23
<b>Figura 9-2:</b> Dispositivos MPLS .....	23
<b>Figura 10-2:</b> Arquitectura LSR.....	25
<b>Figura 11-2:</b> Arquitectura Edge-LSR .....	27
<b>Figura 12-2:</b> Cabecera MPLS .....	29
<b>Figura 13-2:</b> Funcionamiento de las tablas MPLS.....	30
<b>Figura 14-2:</b> Mapeo de Etiquetas .....	31
<b>Figura 15-2:</b> Envío del Tráfico con MPLS .....	32
<b>Figura 16-2:</b> Modelo TCP/IP – OSI.....	35
<b>Figura 17-2:</b> Arquitectura básica de IPTV.....	40
<b>Figura 18-2:</b> Arquitectura de Red IPTV .....	41
<b>Figura 19-2:</b> Diagrama de bloques de la red IPTV .....	42
<b>Figura 20-2:</b> Set Box Top .....	6143
<b>Figura 21-2:</b> Esquema de la red IPTV .....	44
<b>Figura 22-2:</b> Estructura de componentes para QoS .....	45
<b>Figura 1-3:</b> Estructura de componentes para QoS .....	51
<b>Figura 2-3:</b> Conversaciones de los Protocolos durante la Transmisión.....	52
<b>Figura 3-3:</b> Interfaz gráfica del Jperf .....	53
<b>Figura 4-3:</b> Modelo del Sistema IPTV.....	54
<b>Figura 5-3:</b> Interfaz gráfica VLC .....	56
<b>Figura 6-3:</b> Escenario de pruebas.....	58
<b>Figura 7-3:</b> Set- Top Box.....	60
<b>Figura 8-3:</b> Escenario de Pruebas de IPTV.....	61
<b>Figura 9-3:</b> CORE del Escenario de pruebas de IPTV .....	62
<b>Figura 10-3:</b> Video LAN Streaming solutions.....	64
<b>Figura 11-3:</b> Configuración de la Emisión en VLC.....	65

<b>Figura</b>	<b>12-3: Ubicación de Video.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura</b>	<b>13-3: Confirmación de Ubicación de Video.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura</b>	<b>14-3: Confirmación de Ubicación de Video.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura</b>	<b>15-3: Valor TTL para emitir con VLC.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura</b>	<b>16-3: FileZilla Server .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura</b>	<b>17-3: Instalación de FeStream.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura</b>	<b>18-3: Selección de la Interfaz de FeStream.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura</b>	<b>19-3: Interfaz de FeStream.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura</b>	<b>20-3: Escenario de IPTV Implementado .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura</b>	<b>1- 4: Interfaz Gráfica del comando Ping .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura</b>	<b>2-4: Interfaz gráfica del retardo.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura</b>	<b>3-4: Interfaz gráfica del software Jperf Servidor.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura</b>	<b>4-4: Interfaz gráfica del software Jperf Cliente .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura</b>	<b>5-4: Interfaz gráfica de la pérdida de paquetes.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura</b>	<b>6-4: Interfaz gráfica de la pérdida de Paquetes .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura</b>	<b>7-4: Componentes del FESTREAM.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura</b>	<b>8-4: Métricas usadas por FESTREAM.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura</b>	<b>9-4: Nivel de Confianza .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura</b>	<b>10-4: Gráfica del Experimento .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura</b>	<b>11-4: Gráfica del Experimento .....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A:</b>	<b>Configuración Del Enrutamiento Ip .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO B:</b>	<b>Configuración Del Escenario De Pruebas .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO C:</b>	<b>WIRESHAR .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO D:</b>	<b>Pruebas Con El Protocolo PIM SIM.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO E:</b>	<b>Pruebas Con El Protocolo PIM DM .....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO F:</b>	<b>Pruebas Con El Protocolo PI SM – DM .....</b>	<b>139</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ACRÓNIMO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>AMD</b>	ADVANCED MICRO DEVICES
<b>AP</b>	ACCESS POINT
<b>AS</b>	AUTONOMOS SISTEM
<b>ATM</b>	AUTONOMOUS SYSTEM
<b>BGP</b>	BORDER GATEWAY PROTOCOL
<b>COS</b>	CLASE DE SERVICIO
<b>CPU</b>	UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO
<b>DHCP</b>	DYNAMIC HOST CONFIGURATION PROTOCOL
<b>EGP</b>	EXTERIOR GATEWAY PROTOCOL
<b>EIGRP</b>	ENHANCEDINTERIOR GATEWAY ROUTING PROTOCOL
<b>FTP</b>	PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS
<b>HDTV</b>	HIGH DEFINITION TELEVISION
<b>ICMP</b>	INTERNET CONTROL MESSAGE PROTOCOL
<b>IETF</b>	INTERNET ENGINEERING TASK FORCE
<b>IGMP</b>	INTERNET GROUP MANAGEMENT PROTOCOL
<b>IGP</b>	INTERIOR GATEWAY PROTOCOL
<b>IGRP</b>	INTERIOR GATEWAY ROUTING PROTOCOL
<b>IOS</b>	INTERNET OPERATING SYSTEM
<b>IP</b>	PROTOCOLO DE INTERNET
<b>IPTV</b>	TELEVISIÓN POR PROTOCOLO DE INTERNET

<b>IPV4</b>	PROTOCOLO DE INTERNET VERSION 4
<b>IPV6</b>	PROTOCOLO DE INTERNET VERSION 6
<b>IS-IS</b>	INTERMEDIATE SYSTEM TO INTERMEDIATE SYSTEM
<b>ISP</b>	INTERNET SERVICE PROVIDER
<b>ITU</b>	UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
<b>LAN</b>	LOCAL AREA NETWORK
<b>MOS</b>	MEAN OPINION SCORE
<b>MPEG</b>	MOVING PICTURE EXPERTS GROUP
<b>MPLS</b>	MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING
<b>NAP</b>	NETWORK ACCESS PROTECTION
<b>OSI</b>	OPEN SYSTEM INTERCONNECTION
<b>OSPF</b>	OPEN SHORTEST PATH FIRST
<b>PIM SM-DM</b>	PIM SPARSE MODE – DENSE MODE
<b>PIM</b>	PROTOCOL INDEPENDENT MULTICAST
<b>PIM-DM</b>	PIM – DENSE MODE
<b>PIM-SM</b>	PIM – SPARSE MODE
<b>QoS</b>	CALIDAD DE SERVICIO
<b>RAM</b>	RANDOM ACCESS MEMORY
<b>RIP</b>	ROUTING INFORMATION PROTOCOL
<b>RP</b>	RENDEZVOUS POINT
<b>RPM</b>	REVERSE PATH MULTICASTING
<b>RTP</b>	REAL TIME PROTOCOL
<b>RTT</b>	ROUND TRIP TIME
<b>SPT</b>	SPANNING TREE PROTOCOL

<b>STB</b>	SET-TOP BOX
<b>TCP</b>	TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL
<b>TTL</b>	TIME TO LIVE
<b>UDP</b>	USER DATAGRAM PROTOCOL
<b>URGC</b>	UNIFORM RELIABLE GROUP COMMUNICATION PROTOCOL
<b>VLAN</b>	VIRTUAL LAN
<b>VLC</b>	VIDEO LAN CLIENT
<b>VLSM</b>	VARIABLE LENGTH SUBNET MASK
<b>VoD</b>	VIDEO ON DEMAND
<b>WIMAX</b>	WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS

## RESUMEN

El siguiente trabajo tuvo como objetivo el Análisis y Evaluación de los Protocolos de Enrutamiento Multicast sobre Multiprotocolo Label Switching Aplicado a la Provisión del Servicio de IPTV, en el Hospital Provincial General Docente Riobamba, se procedió a realizar las pruebas que permitió determinar cuál es el protocolo adecuado para el servicio de IPTV. Para la implementación del escenario de pruebas se contó con cinco routers Cisco Catalyst 2811, cuatro switches Cisco 2960, un servidor de streaming, seis computadores como clientes y el software feStream IPTV Expert Analyzer; se realizó una exhaustiva investigación mediante el método inductivo, deductivo, que se basó en la observación del funcionamiento de cada protocolo y el registro de las mediciones que se muestran por el probador, luego se hizo el análisis y clasificación de los datos obtenidos. Para capturar el tráfico de datos en la red, se usó softwares libres como: Wireshark, Jperf, CDM que permitieron determinar la cantidad de paquetes perdidos, retardo y latencia dentro de la red, y VLC Media Player para la emisión y recepción. Como resultado se obtuvo que el protocolo de enrutamiento multicast adecuado para la provisión del servicio de IPTV es el Protocol Independent Multicast (PIM) SparseMode (SM)-Dense Mode (DM), al obtener como promedio en su calidad de audio y video un valor de 3,96/5, en cuanto al jitter que existe en la transmisión de los paquetes RTP fue de 14,91[ms] y el porcentaje de pérdida de paquetes del streaming llegó al 1,93%. Se concluye que PIM SM-DM es el protocolo que brinda un nivel aceptable en la calidad de audio y vídeo mediante la selección de un algoritmo adecuado para el enrutamiento multicast, dependiendo del ancho de banda y del tipo de enlace que se disponga. Como recomendación para la transmisión de los streaming de video, se debe utilizar el protocolo Real Time Protocol (RTP) en lugar del User Datagram Protocol (UDP).

### Palabras Claves:

<TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <LATENCIA>, <MEDIO INALÁMBRICO>, <PERDIDA DE PAQUETES>, <PROTOCOLO MULTICAST>, <RETARDO>, <TELEVISIÓN SOBRE EL PROTOCOLO DE INTERNET (IPTV)>.



## ABSTRACT

The following work was aimed at the Analysis and Evaluation of Multicast Routing Protocols on Label Switching Multiprotocol Applying to the Provision of the IPTV Service, at the Provincial General Teaching Hospital Riobamba, we proceeded to perform the tests that allowed us to determine what the protocol is Suitable for IPTV service. For the implementation of the test scenario, there were five Cisco Catalyst 2811 routers, four Cisco 2960 switches, a streaming server, six computers as clients and the feStream IPTV Expert Analyzer software: an exhaustive investigation was carried out using the inductive, deductive method, which was based on the observation of the operation of each protocol and the recording of the measurements that I show by the tester, then the analysis and classification of the data obtained was made. To capture data traffic on the network, free softwares such as: Wireshare, Jperf, CDM were used, which allowed to determine the amount of lost packets, delay and latency within the network, and VLC Media Player for the transmission and reception. As a result it was obtained that the multicast routing protocol suitable for the provision of IPTV service is the Protocol Independent Multicast (PIM) SparseMode (SM) -Dense Mode (DM), when obtaining an average value in audio and video quality of 3.96 / 5, as for the jitter that exists in the transmission of RTP packets, it was 14.91 [ms] and the percentage of packet loss of streaming reached 1.93%. It is concluded that PIM SM-DM is the protocol that provides an acceptable level of audio and video quality by selecting an appropriate algorithm for multicast routing, depending on the bandwidth and the type of link available. As a recommendation for streaming video transmission, the Real Time Protocol (RTP) protocol should be used instead of the User Datagram Protocol (UDP).

**Keywords:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <LATENCY>, <WIRELESS MEDIA>, <LOSS OF PACKAGES>, <MULTICAST PROTOCOL>, <TRANSMISSION DELAY TIME>, <INTERNET PROTOCOL TELEVISION (IPTV)>.



# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. Introducción

Así como las personas evolucionan día a día en todo aspecto, lo mismo ocurre en el mundo de las Telecomunicaciones con la aparición de nuevas tecnologías, convirtiéndose en un factor indispensable dentro del desarrollo de la sociedad; que a su vez permite el intercambio de información entre los usuarios de manera confiable y eficiente; se puede mencionar algunos avances tecnológicos como: voz sobre IP, video llamada, video conferencia, transmisión de televisión con direccionamiento IP.

En la actualidad las empresas de telecomunicaciones brindan servicios que permitan mejorar los productos ofrecidos y compararlos con la competencia; las telecomunicaciones permiten la convergencia dentro de un mismo ancho de banda, de manera que se proyecta a la optimización de hardware y software; se hace la migración de los diferentes tipos de servicios a plataformas digitales, dando origen a la integración de la televisión con las redes de paquetes conmutados, originándose un nuevo servicio como “Televisión sobre protocolo IP”, IPTV.

Se puede decir que IPTV es la distribución de señales de audio, video y datos en alta calidad de banda ancha desde un servidor central, permitiendo la integración de los usuarios con los sistemas los cuales presentan diferentes aplicaciones de manera amigable para los usuarios. Esta tecnología aparece en el año 2005 dando cobertura a los diferentes países como España, Francia, Bélgica, Alemania, Estados Unidos, Chile, Panamá entre otros.

IPTV también conocido como Televisión de Banda Ancha, este servicio es brindado por empresas que ofrecen internet, las cuales contiene redes IP para el envío de contenidos de alta calidad, y manejan velocidades altas de conexión, las que hacen uso de tecnologías de compresión y codificación de video.

La implementación de la tecnología IPTV actualmente se la realiza con Fibra Óptica es uno de los mecanismos de solución para superar las limitaciones existentes, pero tiene una desventaja su instalación es costosa. La distribución de esta tecnología se lo hace por cable, satélite o TDT (Televisión Digital Terrestre).

## **1.2. Antecedentes**

En la actualidad dada la creciente demanda de información y servicios de valor agregado a menos costo, las empresas proveedoras de servicios de comunicaciones o empresas de telefonía tradicional se han visto en la necesidad de implementar nuevas redes tecnológicas que les permita brindar servicios de IP multicast las que ofrecen entretenimiento de video, audio y datos de gran calidad.

Los medios y las empresas de telecomunicación se están enfocando en la necesidad de transmitir la información generada en tiempo real con diferentes técnicas y procedimientos para transmitirla en el menor tiempo posible con menor uso de recursos y que esté al alcance de la población; la tecnología más solicitada IPTV que en la actualidad ha ocasionado que gran cantidad de usuarios soliciten esta tecnología a las empresas de comunicaciones, debido a su innovadora forma de transmisión. IPTV no es un protocolo en sí mismo sino que ha sido desarrollado basándose en el video-streaming.

IPTV usa el protocolo MPLS como tecnología de transmisión de la información, pero actualmente en el Ecuador las principales compañías proveedoras de servicios de telecomunicaciones como, Telconet, PuntoNet, CNT, Direc Tv y entre otras cuentan con una infraestructura MPLS IP que brinda el servicio de triple pack tanto a clientes corporativos como residenciales, que les permita brindar servicios de multicasting como IPTV.

La tecnología va ir evolucionando día a día y su punto de análisis son la de generar redes con mayor rapidez que las actuales y que permita garantizar la calidad del servicio; el proveedor no transmitirá sus contenidos esperando que el espectador se conecte, sino que los contenidos llegarán sólo cuando el cliente los solicite.

## **1.3. Justificación**

La televisión actual no es la misma que hace 20 años atrás, no solo por el contenido sino por la forma en que las operadoras de televisión lo presentaban, en la actualidad el multicasting es primordial para el manejo de video y audio mediante redes IP, esta permite el desarrollo de la tecnología IPTV que es usada en charlas virtuales, videoconferencias, todo esto en tiempo real. Para poder tener una idea más clara de la investigación y poder generar información de este tema es mediante las diferentes técnicas, la cual permitirá el manejo del flujo de la información

con ayuda de los nuevos avances tecnológicos que hacen más sencilla la transmisión de voz, datos y video.

En el presente trabajo se realizará un análisis y evaluación del funcionamiento de los protocolos multicast y MPLS (Multiprotocol Label Switching) para enrutamiento IP, donde se podrá observar los beneficios y condiciones para la implementación de la tecnología IPTV.

La importancia del desarrollo de la investigación es para contar con una tecnología que permita desarrollar la practica docente en el Hospital Provincial General Docente Riobamba, utilizando redes que realicen la distribución de señales de audio, video y datos en alta calidad.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo General***

- Analizar y Evaluar los Protocolos de Enrutamiento Multicast sobre Multiprotocol Label Switching aplicado a la provisión del Servicio de IPTV.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Analizar la tecnología Multicasting.
- Estudiar los diferentes protocolos que proporcionen el servicio de IPTV.
- Evaluar los parámetros de rendimiento para la provisión del servicio IPTV.
- Determinar el protocolo de enrutamiento Multicast más apropiado para la provisión del servicio de IPTV.

## **1.5. Hipótesis**

El análisis de los diferentes protocolos de enrutamiento multicast aplicados a MPLS permitirá determinar el protocolo más apropiado para la provisión del servicio de IPTV.

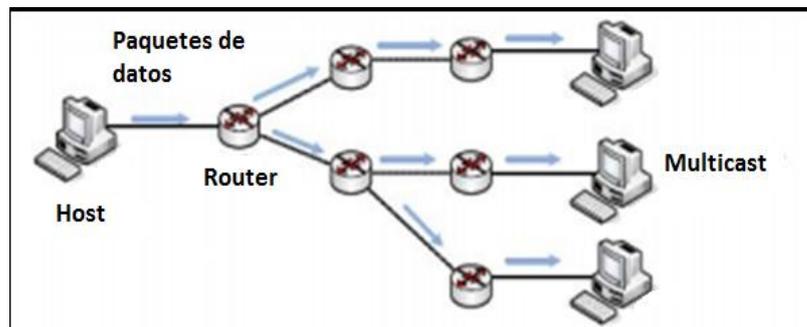
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Protocolo Multicast

##### 2.1.1. Definición

Es la transmisión de paquetes IP a un número de ordenadores dentro de una red, la que puede usar redes IPv4 e IPv6 para proporcionar una entrega óptima de los datos a múltiples destinos. Los protocolos multicast que se usan dentro de IPTV son IGMP y MLD. (Borja Christian, 2014, p.43)

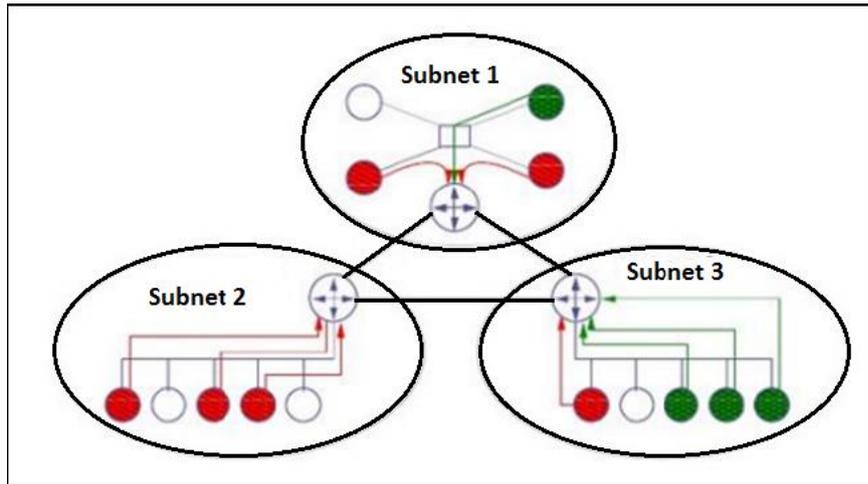


**Figura 1-2:** Protocolo Multicast

Fuente: (Martínez Gabriel, 2008, p.35)

##### 2.1.1.1. IGMP (Protocolo de Administración de Grupos de Internet)

Este protocolo ayuda a la conexión de un flujo multicast es decir conectarse a un canal de TV y del mismo sirve para cambiar de flujo multicast a otro, en otras palabras, ayuda al cambio de canal de TV. (Borja Christian, 2014, p.43)



**Figura 2-2:** Protocolo IGMP  
Fuente: (Borja Christian, 2014, p.43)

Permite que las máquinas y conmutadores conozcan a que grupo pertenece cada máquina, y trabaja con la ayuda de mensajes los que se detallan a continuación:

**Tabla 1-2:** Mensajes de Multicast

TIPO	EMITIDO POR	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE DESTINO
<b>Consulta General – General Query</b>	Routers	Pregunta al host si están interesados en algún grupo multicast.	Dirección de destino ejemplo: 224.0.0.1
<b>Consulta Especifica de grupo – Group Specific Query</b>	Routers	Pregunta al host si están interesados en un determinado grupo multicast.	Direcciones IP del grupo en cuestión.
<b>Informe de Pertenencia – Membership Report</b>	Routers	Informa a los routers que el host está interesado en un determinado grupo.	Direcciones IP del grupo en cuestión.
<b>Abandono de Grupo – Leave Group</b>	Routers	Informa a los routers que el host deja de estar interesado en un grupo multicast.	Dirección de destino ejemplo: 224.0.0.2

Fuente:(Borja Christian, 2014, p.44)

Este protocolo es usado para el intercambio de información del estado de pertenencia entre los enrutadores IP que permite la multidifusión y miembros de grupos de multidifusión. Este protocolo por lo general ayuda a mantener informados a los routers de los grupos de los miembros que contienen cada grupo; periódicamente cada routers envía mensajes de consulta general al grupo y cada host responde con un informe de pertenencia. (Borja Christian, 2014, p.44)

#### 2.1.1.2. MLD (Descubrimiento de Escucha de Multidifusión)

Es un estándar TCP/IP donde el tráfico de multidifusión es enviado en una sola dirección, pero se procesa por múltiples anfitriones, siendo similar a un boletín ya que solo los suscriptores reciben dicho boletín; solo los equipos host que pertenecen al grupo reciben y procesa los tráfico enviado a la dirección de grupo. (Borja Christian, 2014, p.45)

**Tabla 2-2:** Clases de mensajes MLD

TIPO DE MENSAJE MLD	DESCRIPCIÓN
<b>Consulta de escucha de multidifusión – Multicast Listener Query</b>	Un enrutador envía un mensaje para sondear los miembros que son parte de un grupo. Estas consultas pueden ser generales es decir solicitan la pertenencia a todos los grupos como puede ser una consulta a un grupo específico.
<b>Informe de escucha de multidifusión – Multicast Listener Report</b>	El host envía un mensaje en el cual indica que se une a un grupo de multidifusión o también puede ser un mensaje de respuesta cuando un enrutador consulta al host.
<b>Escucha de multidifusión terminada – Multicast Listener Done</b>	Este mensaje se envía por parte de un host cuando este abandona un grupo de multidifusión siendo el mismo el último miembro del grupo.

Fuente:(Borja Christian, 2014, p.45)

### 2.1.2. Clasificación de los protocolos Multicast

Para los diferentes aspectos de la multidifusión IP existen una gran variedad de protocolos. En la siguiente tabla podemos ver los más conocidos y cuál es la capa OSI que le corresponde.

**Tabla 3-2:** Clases de Protocolos Multicast

PROTOCOLO	DESCRIPCION	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 a los miembros de una red.	1112	Red
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol. Protocolo de enrutamiento.	1075	Red
MOSPF	Multicast Extensions to Open Shortest Path First. 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 pueda recibir todos los paquetes o detectar paquetes perdidos irrecuperables.	3208	Red
BGMP	Border Gateway Multicast Protocol. Permite realizar enrutamientos entre dominios.	3913	Aplicación
CBT	Core Base Tree. Protocolo de enrutamiento.	2189	Red

Fuente:(Piedra Ozuna Marcos, 2010, p.20)

Aunque estén clasificados como protocolos multicast, no todos realizan la misma función. En la tabla que se muestra a continuación, se clasifican los protocolos con su función.

**Tabla 4-2:** Protocolos con su Función

PROTOCOLO	FUNCION
IGMP	Gestión de Receptores y emisores
PIM-SIM, 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 Clain 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. (Cisco specific)

**Fuente:**(Piedra Ozuna Marcos, 2010, p.21)

Los protocolos multicast que se ha mencionado en las tablas anteriores se lo puede clasificar según su modo de operación en dos grupos: protocolos DENSE MODE y protocolos SPARSE MODE. Los protocolos DENSE MODE están diseñados para trabajar en redes con un ancho de banda amplio y que sus miembros estén distribuidos en la red; se puede considerar que los miembros del grupo están ampliamente distribuidos en toda la red, lo cual se refiere a un protocolo de enrutamiento SPARSE-MODE.

A continuación, describiremos los dos grupos de protocolos.

#### 2.1.2.1. DENSE MODE

Están diseñados para entornos en los que existe una buena representación del grupo en la red, y se cuenta con ancho de banda suficiente. Es el más antiguo y el más sencillo y se caracteriza por utilizar inundaciones periódicas y podas para la construcción de los árboles de distribución multicast; a estos árboles se les conoce con el nombre de árboles basados en el origen, y existe uno de ellos por cada origen mediante el algoritmo de árbol de expansión mínima (Spanning Tree).

Estos protocolos muestran un menor retardo porque existe un árbol por cada origen de datos, pero tienen el inconveniente que consumen una mayor memoria en los routers multicast porque mantienen todos los árboles de distribución en las tablas del mismo. Además, no es escalable y no es eficiente cuando el número de receptores es minoritario ni cuando están distribuidos de forma dispersa. (Piedra Ozuna Marcos, 2010, p.21)

Protocolo que utilizan el modo denso:

- DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)
- PIM – DM (Protocol Independent Multicast – Dense Mode)
- MOSPF (Multicast OSPF)

Inconveniente del modo denso:

- Cada router de la red ha de mantener:
  - Por cada emisor hay un árbol de expansión mínima, y este ha de estar registrado en cada router intermedio.
  - La relación de las ramas que han sido podadas para cada emisor y cada grupo (cada par (S, G), Source, Group).
- La gran cantidad de información de estado hace difícil establecer un servicio multicast en una red grande para un número elevado de emisores y grupos.
- Para la construcción del árbol de distribución se procede por inundación (flooding) a todos los routers multicast y a continuación empezará la poda (prune). Para estar adaptado a los cambios orígenes, destinos o routers intermedios en la red este proceso se repite cada 2-3 minutos, por lo tanto, generará mucho tráfico.

La evolución de DENSE MODE a SPARSE MODE es por evitar que todos los routers de Internet tengan que mantener información sobre grupos multicast en los que no están interesados. (Piedra Ozuna Marcos, 2010, p.22)

### 2.1.2.2. SPARSE MODE

Están orientado a redes que tenga una gran presencia de miembros de forma esparcida, se basa explícitamente en árboles unidireccionales compartidos, centralizándolo en un punto de encuentro por grupo y distribuyéndolo al receptor, y además, según el caso puede conmutarse y crear árboles del camino más corto hacia la fuente. Aunque la característica principal, como hemos comentado, es el uso de árboles compartidos (llamados puntos de reunión o Rendezvous point, RPs), donde los receptores escuchan al router origen y mantiene el estado del árbol multicast. Por cada grupo multicast existe un árbol que se comunica con el RP y sus receptores.

En términos generales el RP está situado en centro de la red multicast, y el tráfico multicast siempre pasará por la situación del RP en la red. Este suceso puede dar lugar a un mayor retardo porque nunca garantiza que la ruta hacia los destinos se la más óptima. A medida que transcurre el tiempo, se irá generando el árbol de distribución a medida que aparecen más receptores. Los receptores, estando de forma esparcida, se comunicarán con el RP para unirse al grupo y recibir tráfico multicast. Este mantenimiento del árbol de distribución supondrá un menor uso de las sobrecargas en la red (tablas de ruta en los routers). A este modo de operación se le denomina “dirigido a miembros”.

El SPARSE MODE es preferible al DENSE MODE cuando el número de receptores es minoritario y de forma esparcida, aunque actualmente es el más utilizado en Internet, pues es escalable. (Piedra Ozuna Marcos, 2010, p.22)

Protocolos que utilizan el modo disperso:

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

Inconvenientes del modo disperso:

- No siempre existirá el camino más óptimo hacia el destino.
- Si existen muchos orígenes de datos y miembros, el establecimiento de datos directo a la fuente mediante arboles dedicados puede acabar saturando las tablas de los routers que mantiene el estado del encaminamiento.

### 2.1.3. Direccionamiento IP Multicast

La única diferencia entre un paquete IP unicast y uno multicast está en la dirección de destino.

- Clases A, B y C para unicast.
- Clase D para multicast.(Acosta Mauro, 2007, p.44)

**Tabla 5-2:** Direcciones IP

CLASE	RANGO DE DIRECCIONES	BITS DE MAS PESO
Clase A	1.0.0.0 – 127.255.255.255	0
Clase B	128. 0. 0 .0 – 191. 255. 255. 255	10
Clase C	192. 0. 0. 0 – 223. 255. 255. 255	110
Clase D	224. 0. 0. 0 – 239. 255. 255. 255	1110

Fuente: (Acosta Mauro, 2007, p.44)

Las direcciones de clase D entre 224.0.0.0 y 239.255.255.255 están previstas en IP para el tráfico multicast. Asignando una dirección IP de clase D a un grupo de nodos que define un grupo multicast. Los cuatro bits más significativos de las direcciones de clase D se fijan a “1110” y los siguientes números de 28 bit, reciben la denominación de identificador del grupo multicast, por lo tanto, no estando estructuradas las direcciones como las direcciones IP unicast. A continuación, se muestra el formato de dirección IP de clase D.



**Figura 3-2:** Protocolo IGMP

Fuente: (Trejo Natali Bibiana, 2008, 36)

### 2.1.3.1. Direcciones IP Multicast Especiales

Asignadas por el IANA. (Internet Assigned Numbers Authority)

- 224.0.0/24: Direcciones reservadas para grupos locales a una subred (link local).
  - Por ejemplo: 224.0.0.1: Todas las máquinas de una subred.

224.0.0.2: Todos los routers de una subred.

- 224.0.1/24 - 224.0.2/24: Reservadas para distintas organizaciones y protocolos.
  - Por ejemplo: – 224.0.1.1: NTP (Network Time Protocol).
- 224.0.3/24 - 238.255/16: Para cualquier grupo de ámbito mundial (los paquetes destinados a estos grupos pueden viajar por todo Internet).
- 239.255/16: Para grupos locales a una organización (los paquetes destinados a estos grupos no pueden salir de la organización). (Acosta Mauro, 2007, p.45)

Existen dos grupos de Direcciones multicast:

### 2.1.3.2. Grupo Permanente

En este caso la dirección IP multicast es fija por IANA e independiente del número de receptores que tenga el grupo. Se asocian a aplicaciones normalizadas. Estas direcciones estarán en el rango 224.0.0.0 – 224.0.0.255 y son para uso específico de protocolos.

Algunas direcciones conocidas (well known)

- 224.0.0.1 = Todos los sistemas de la subred
- 224.0.0.2 = Todos los routers de la subred
- 224.0.0.4 = Todos los routers DVMRP de la subred
- 224.0.0.5 = Todos los routers OSPF del dominio
- 224.0.0.13 = Todos los routers PIM
- 224.0.0.22 = Todos los routers IGMPv3-capable

Se puede hacer uso del servicio DNS para localizar la dirección asociada a un grupo multicast permanente (dominio mcast.net) y lo mismo para sus resoluciones inversas (224.inaddr.arpa.). (Piedra Ozuna Marcos, 2010, p.25)

### 2.1.3.3. Grupo Transitorio

Son creadas dinámicamente (en el momento que se lanza una aplicación multidifusión), y dejará de existir cuando no tenga miembros activos. El grupo multicast se considera siempre de receptores, no de emisores. Existen estas direcciones desde 224.0.1.0 – 238.255.255.255 y son conocidas como direcciones de ámbito global. (Piedra Ozuna Marcos, 2010, p.26)

### 2.1.4. Comunicación Multicast

**Tabla 6-2:** Implementación de Comunicación Multicast

TIPO	DEFINICIÓN
<b>Unidifusión de uno a todos</b>	Una comunicación de unidifusión para cada uno de los receptores, las ventajas que se tiene es que no requiere soporte multicast por parte de la capa de red y una desventaja es que se multiplican los recursos de red utilizados.
<b>Multicasting de nivel de Aplicación</b>	Múltiples transmisiones de unidifusión, pero involucrando a los receptores en la replicación, las ventajas es que no requiere soporte multicast por parte de la capa de red y una desventaja es que necesitan una infraestructura de distribución en la capa de aplicación.
<b>Multicasting Explícita</b>	El emisor transmite un único datagrama que se replica en los routers cuando es necesario, la ventaja es que los recursos de red se utilizan de manera óptima y la desventaja es que requiere una capa de red que soporte la funcionalidad.

Fuente:(Acosta Mauro, 2007, p.40)

### 2.1.5. Beneficios de la Tecnología Multicast

La tecnología multicast ofrece ventajas significativas para el suceso de algunas aplicaciones avanzadas.

**Tabla 7-2:** Beneficios de la Tecnología Multicast

<b>BENEFICIO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Desempeño Optimizado de la Red	El uso inteligente de los recursos de la red evita replicación innecesaria de flujos. De ese modo, se obtiene economía de banda pasante, a través de una mejor arquitectura para distribución de datos.
Soporte para Aplicaciones Distribuidas	La tecnología multicast está directamente orientada hacia las aplicaciones distribuidas. Las aplicaciones multimedia como aprendizaje a distancia y videoconferencia se pueden utilizar en la red de forma eficiente.
Economía de Recursos	El costo de los recursos de la red se reduce a través de la economía de banda pasante en los enlaces y de la economía de procesamiento en servidores y equipos de la red. Las nuevas aplicaciones y servicios se pueden implantar, sin requerir la renovación de recursos de la red.
Facilidad de Crecimiento	El uso eficiente de la red y la reducción de la carga en fuentes de tránsito permiten que los servicios y aplicaciones sean accesibles para un gran número de participantes. Por lo tanto, servicios que operan sobre multicast se pueden dimensionar con facilidad, distribuyendo paquetes para pocos y para muchos receptores.

<p>Mayor Disponibilidad de la Red</p>	<p>La economía de recursos de la red asociada a la reducción de carga en las aplicaciones y servidores torna la red menos susceptible a embotellamientos y por lo tanto, más disponible para uso. La transmisión de multicast envía un solo paquete de multicast dirigido a todos los recipientes. Esto proporciona la comunicación eficiente y la transmisión, optimiza el funcionamiento, y permite usos realmente distribuidos.</p>
---------------------------------------	--

Fuente:(Acosta Mauro, 2007, pp. 42-43)

### 2.1.6. *Aplicaciones de Multicast*

La comunicación multicast puede aplicarse en diversas situaciones:

- Acceso a base de datos distribuidos.
- Distribución de software y de información.
- Servicios de tiempo.
- Servicios de nombre, como DNS.
- Replicación de base de datos. Video y audio streaming.
- Servicios de descubrimiento.
- Computación distribuida.
- Educación a distancia.

En estas aplicaciones basadas en multicast, las transmisiones de datos entre la fuente y el/los destino/s implican tanto la identificación de las direcciones origen y destino, así como un esquema de encaminamiento que optimice la entrega de los datos desde la fuente hacia el destino. Por tanto, los conceptos claves en las comunicaciones multicast incluyen una dirección IP de grupo multicast, un árbol de distribución y los receptores interesados en recibir información enviada a esa dirección de grupo. (Trejo Natali Bibiana, 2008, pp.21-22)

## 2.2. MPLS

### 2.2.1. Definición de MPLS

MPLS se encuentra situado entre las capas de enlace de datos y de red del modelo OSI, como se muestra en la figura a continuación, es un protocolo de unión entre la capa de enlace y la capa de red. MPLS = Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (Multiprotocol Label Switching), es una tecnología que permite desarrollar soluciones para la mayoría de los problemas que existen en la técnica actual de reenvío de paquetes. La IETF cuenta con un grupo de trabajo MPLS que ha unido esfuerzos para estandarizar esta tecnología. (Tapasco Martha, 2008, p. 7)

MPLS (Siglas de Multi Protocol Label Switching) es un mecanismo de transporte de datos estándar creado por la IETF (Internet Engineering Task Force). Esta tecnología opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI. Fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes de datos. Puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico, incluyendo tráfico de voz y de paquetes IP. (Pérez Luis Miguel, 2015, p.15)



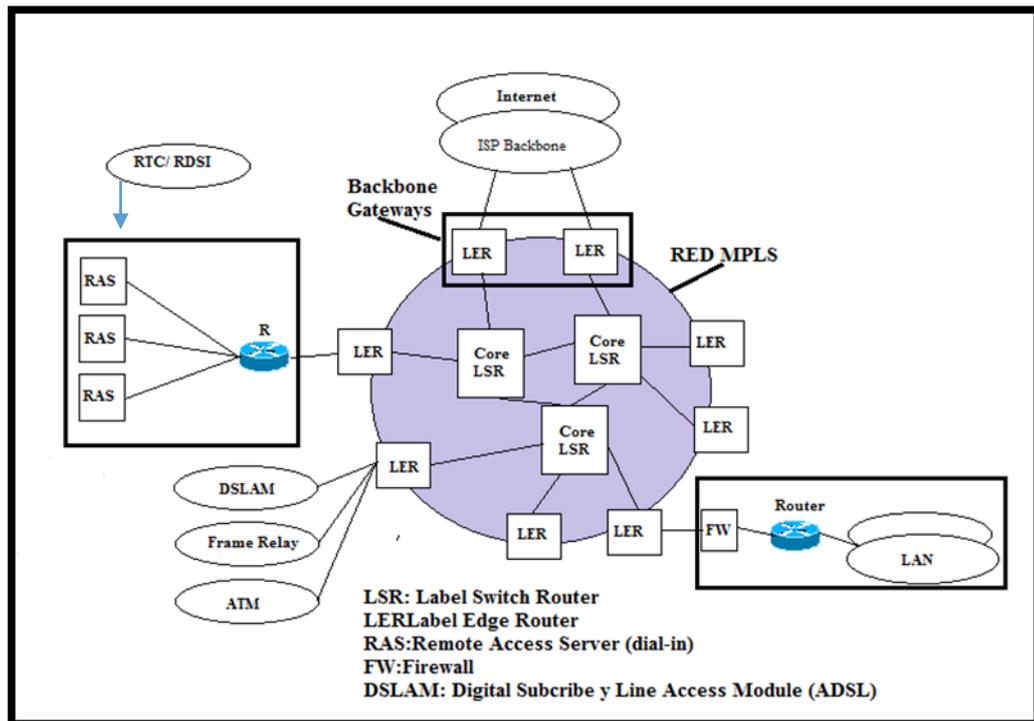
**Figura 4-2:** Modelo OSI con MPLS

Fuente: (Tapasco Martha, 2008, p. 7)

Este protocolo fue diseñado para unificar los servicios de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y basada en paquetes, puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico como voz, video, paquetes IP, etc.

Según el énfasis que se le ponga a este tema se puede decir que MPLS puede ser el sustituto de la arquitectura IP sobre ATM, también puede ser un protocolo para hacer túneles sustituyendo a la técnica de tunneling o la técnica que permite acelerar el encaminamiento de paquetes.

Esta técnica permite la integración del intercambio de etiquetas en el reenvío con el sistema de enrutamiento en las redes. Se espera que mejore la relación precio/desempeño del enrutamiento que se realiza en la capa de Red, la escalabilidad de la misma capa y que provea una gran flexibilidad en la entrega de (nuevos) servicios de enrutamiento. (Tapasco Martha, 2008, p. 8-9)



**Figura 5-2: Red MPLS**

Fuente: (Tapasco Martha, 2008, p. 7)

MPLS es una tecnología diseñada para:

- Redes WAN y MAN.
- Para redes LAN, pueden ser utilizados: Integrated Services (IntServ) y Differentiated Services (DiffServ).
- Redes de alta velocidad.
- Gran cantidad de conexiones simultáneas. (León Roberto, 2010, p. 25)

### 2.2.1.1. Campos de la cabecera MPLS

Cuando MPLS está implementado como una solución IP pura o de nivel 3, que es la más habitual, la etiqueta es un segmento de información añadido al comienzo del paquete. Los campos de la cabecera MPLS de 4 bytes, son los siguientes:

**Label (20 bits).** Es el valor actual, con sentido únicamente local, de la etiqueta MPLS. Esta etiqueta es la que determinará el próximo salto del paquete.

**CoS (3 bits).** Este campo afecta a los algoritmos de descarte de paquetes y de mantenimiento de colas en los nodos intermedios, es decir, indica la QoS del paquete. Mediante este campo es posible diferenciar distintos tipos de tráfico y mejorar el rendimiento de un tipo de tráfico respecto a otros.

**Stack (1 bit).** Mediante este bit se soporta una pila de etiquetas jerárquicas, indica si existen más etiquetas MPLS; la cabecera MPLS se comportan como si estuvieran apiladas una sobre otra, de modo que el nodo MPLS tratará siempre la que 16 esté más alto en la pila. La posibilidad de encapsular una cabecera MPLS en otras, tiene sentido, por ejemplo, cuando se tiene una red MPLS que tiene que atravesar otra red MPLS perteneciente a un ISP u organismo administrativo externo distinto; de modo que, al terminar de atravesar esa red, se continúe trabajando con MPLS como si no existiera dicha red externa. (Pérez Luis Miguel, 2015, pp.15-16)

- Especificar mecanismos para gestionar flujos de tráfico de diferentes tipos (Ej.: Flujo en diferentes hardware, diferentes máquinas).
- Quedar independientemente de los protocolos de la capa de enlace y la capa de red.
- Ofrecer interfaces para diferentes protocolos de routing y señalización
- Soportar los protocolos de la capa de enlace de IP, ATM2 y Frame Relay.” (Pérez Luis Miguel, 2015, pp.15-16)

### 2.2.2. Características de MPLS

- MPLS fue desarrollado para aprovechar la alta penetración de las redes IP basadas en IP ROUTING fortaleciéndolas con la versatilidad de capa 3 como el IP SWICHTING o conmutación basada en cache que por ejemplo proporciona CEF (Cisco Express Forwarding) en equipos Cisco. (Camposano Daniel, 2008, pp. 42-43)

- MPLS crea redes flexibles y escalables con un incremento en el desempeño y la estabilidad, permitiendo la inclusión de la ingeniería de tráfico que soporta VPNs, calidad de servicio (QoS) y múltiples clases de servicio (CoS). (León Roberto, 2010, p. 26)
- Las etiquetas con el mismo destino y tratamiento se agrupan en la misma, los nodos mantienen menos información de estado. (León Roberto, 2010, p. 26)
- Las etiquetas se pueden apilar para encaminarse de manera jerárquica. (León Roberto, 2010, p. 26)
- Los caminos de MPLS se encuentran preestablecidos desde el origen (conocen todos los saltos hasta el final) para lo cual se le proporciona etiquetas de identificación en cada comunicación y depende de los saltos estas etiquetas cambian. (León Roberto, 2010, p. 26)
- MPLS es una tecnología de reenvío de paquetes que utiliza etiquetas añadidas a los mismos en su ingreso al dominio MPLS para tomar las decisiones de reenvío; esta es una de sus principales características y es precisamente ésta quien les da a las redes MPLS una de sus principales ventajas tecnológicas:

La conmutación de etiquetas, se realiza independientemente del protocolo de enrutamiento.

Las etiquetas de MPLS, usualmente corresponden a direcciones IP de destino, tal como el enrutamiento IP tradicional, pero según la necesidad del servicio puede incluir parámetros tales como: Calidad de servicio, direcciones IP de origen, circuitos de capa 2 (PVCs en redes ATM).

En resumen, podemos expresar que las características principales de una red MPLS serían:

- MPLS se apalanca de las fortalezas del IP SWITCHING como del CEF switching.
- MPLS se basa en el reenvío de paquetes mediante el análisis de sus etiquetas.
- Las etiquetas de MPLS corresponden a la dirección IP destino.
- MPLS fue diseñado para soportar múltiples protocolos de capa 3. (Camposano Daniel, 2008, pp. 42-43)

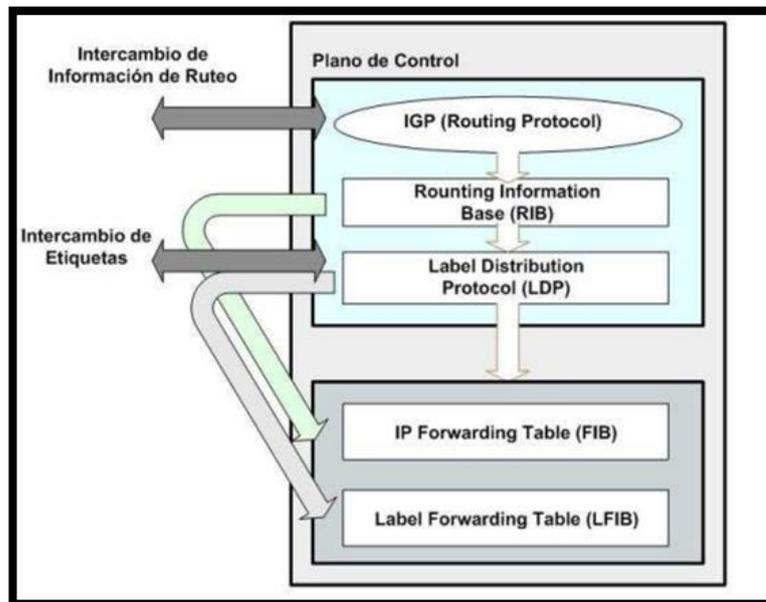
### 2.2.3. MPLS- Arquitectura

La arquitectura principal de MPLS esta formada por 2 componentes:

- Plano de Control
- Plano de Datos

#### 2.2.3.1. Plano de Control

El plano de control es el responsable del intercambio de la información de enrutamiento y de etiquetas entre todos los dispositivos adyacentes en un dominio MPLS.



**Figura 6-2:** Arquitectura: Plano de Control  
Fuente:(Camposano Daniel, 2008, p. 43)

En el plano de control se elabora la tabla de enrutamiento (Routing Information Base [RIB]) basado en el protocolo de enrutamiento que se está ejecutando en el dominio MPLS.

**Tabla 8-2:** Protocolos que soportan MPLS

<i>Protocolos de MPLS</i>	
OSPF	Open Shortest Path First
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
RIP	Routing Information Protocol
BGP	Border Gateway Protocol

Fuente: (Camposano Daniel, 2008, pp. 42-43)

Únicamente en redes MPLS para el CORE se puede ejecutar protocolos como IGP, OSPF y el IS-IS, cuando se necesitan aplicaciones como Ingeniería de Tráfico o VPNs peer to peer, mientras que hacia los clientes finales si se puede ejecutar cualquier protocolo de enrutamiento dinámico o rutas estáticas según conveniencia. (Camposano Daniel, 2008, pp. 42-43)

El manejo de la información sobre las etiquetas, el plano de control utiliza protocolos especializados para esta labor, llamados: Label Exchange Protocol. Entre estos protocolos tenemos: MPLS Label Distribution Protocol (LDP), el protocolo propietario de Cisco Tag Distribution Protocol (TDP) y el BGP que se utiliza cuando se levantan VPNs en MPLS; también se puede mencionar que en aplicaciones especial como lo es la Ingeniería de Tráfico o Traffic Engineering (TE) se utiliza el Resource Reservation Protocol (RSVP) para la propagación de esas etiquetas. (Camposano Daniel, 2008, pp. 42-43)

El plano de control es el responsable de la elaboración de 2 tablas fundamentales en la operación de redes MPLS:

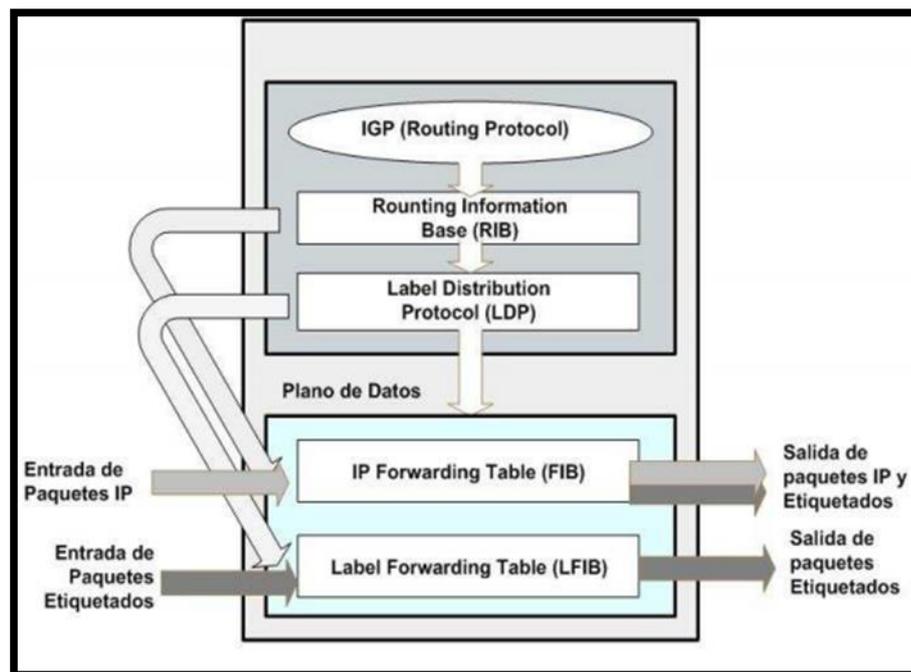
- Forwarding Información Base (FIB), mediante la información de la RIB.

- Label Forwarding Información Base (LFIB), mediante el protocolo de intercambio de etiquetas escogido y la tabla RIB.

La tabla LFIB contiene los valores de las etiquetas asignadas y la asociación con la interfaz de salida para los paquetes con esa etiqueta. (Camposano Daniel, 2008, pp. 43-44)

### 2.2.3.2. Plano de Datos

El plano de datos o también conocida como plano de reenvíos, está encargado del reenvío tanto de los paquetes y de etiquetas basándose en la información contenida en la FIB y LFIB independientemente de los protocolos escogidos para el enrutamiento y el intercambio de etiquetas.

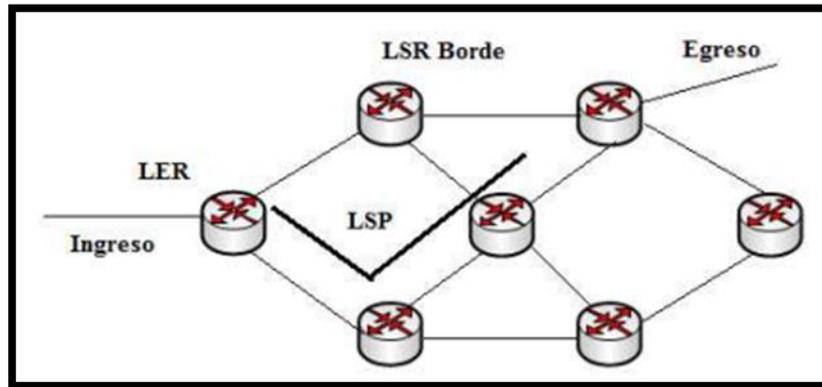


**Figura 7-2:** Arquitectura: Plano de Datos  
Fuente:(Camposano Daniel, 2008, p. 45)

La funcionalidad del plano de datos varía según el dispositivo donde se esté ejecutando, por lo cual los dispositivos LSR se limitarán al reenvío de paquetes etiquetados y en dispositivos Edge LSR se ejecuta el reenvío de paquetes IP como de paquetes etiquetados. (Camposano Daniel, 2008, p. 45)

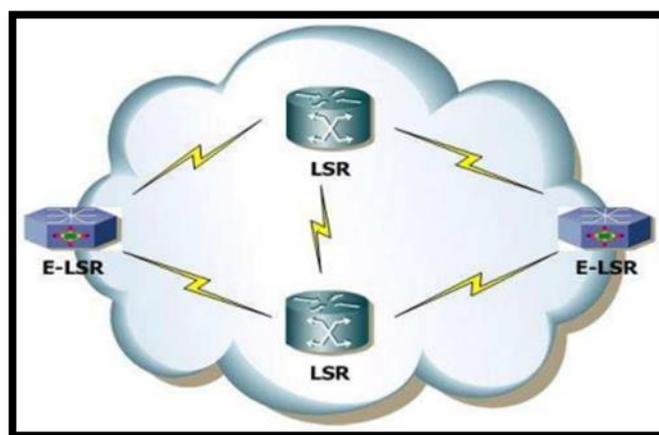
#### 2.2.4. Dispositivos MPLS

Los componentes básicos de toda red MPLS son:



**Figura 8-2:** Dispositivos MPLS  
Fuente: (Orozco Fausto, 2014, p. 11)

- Label Switch Router (LSR)
- Edge Label Switch Router (E-LSR)
- Label Edge Enrutador (LER)
- Label Distribution Protocol (LDP)
- Label Switched Path (LSP)



**Figura 9-2:** Dispositivos MPLS  
Fuente: (Camposano Daniel, 2008, p. 46)

Los equipos LSR y Edge-LSR están habilitados para realizar un enrutamiento IP y una conmutación de etiquetas; los nombres dependen de la ubicación dentro de un dominio MPLS,

siendo los equipos core o centrales llamados LSR y los ubicados en el borde del dominio o frontera son llamados Edge-LSR. (Camposano Daniel, 2008, p. 46)

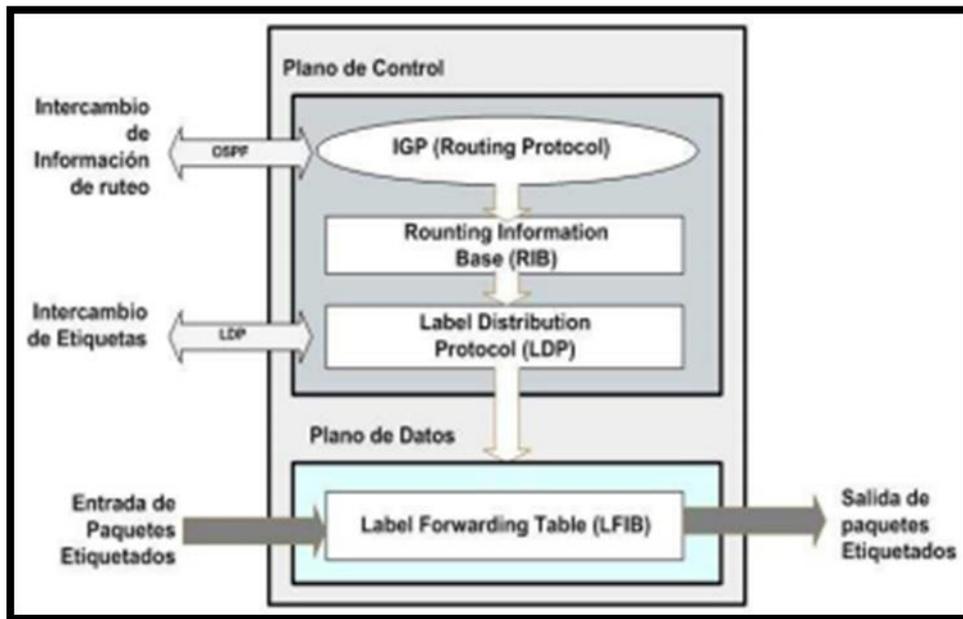
- Un equipo LSR también recibe el nombre de Provider Router (P) y su función es la de direccionar paquetes dentro del dominio MPLS basándose en la conmutación de sus etiquetas. (Camposano Daniel, 2008, p. 46)
- Un equipo Edge-LSR es conocido también como Provider Edge Router (PE) su función al conocer los “dos mundos es realizar la conmutación de etiquetas hacia el interior del dominio MPLS, así como enrutamiento tradicional basado en IP si la comunicación es hacia fuera del dominio MPLS. Los equipos PE son los encargados de “etiquetar” a los paquetes cuando ingresan a la nube MPLS y por supuesto, de retirar las etiquetas cuando los paquetes abandonan la red MPLS. (Camposano Daniel, 2008, p. 46)

#### *2.2.4.1. LSR (Label Switching Enrutador o Enrutadores Conmutadores de Etiquetas)*

El router que puede conmutar paquetes en función a la etiqueta asignada MPLS según los diferentes parámetros del tráfico y por lo estipulado en el SLA. Estos routers se encuentran en el interior de la red MPLS y solo se encargan de la tarea de conmutar los paquetes etiquetados. Los protocolos de enrutamiento con los cuales los LSP's se formarán serán tarea del administrador de red, así también los mecanismos de recuperación o contingencia según lo que se indique en el LSA. (Orozco Fausto, 2014, p. 12)

##### **2.2.4.1.1.      *Arquitectura del LSR***

La arquitectura de los equipos LSR constaría básicamente de los planos de control y de datos. La función de cada dispositivo LSR es el intercambio de etiquetas con otros dispositivos LSR y el direccionamiento de los paquetes que ya han sido etiquetados. Para esto, cada LSR requiere de un protocolo de enrutamiento de capa 3 (OSPF, IS-IS) y de un protocolo de intercambio de etiquetas (LDP, TDP). (Camposano Daniel, 2008, pp. 47)



**Figura 10-2:** Arquitectura LSR

Fuente: (Camposano Daniel, 2008, p. 47)

#### 2.2.4.2. LSR (Frontera de Ingreso o Ingress LER Label Edge Router)

Estos routers son los que se encuentran en la entrada de los flujos a la red MPLS. Se encargan de clasificar los paquetes en FEC y colocar las etiquetas correspondientes a los tráficos que se enviarán a la red según los parámetros acordados con el ISP a través de un contrato. Estos routers, al tener la tarea de clasificación, tienen que tener un muy alto poder de procesamiento para poder hacer esta tarea de manera muy rápida, eficiente y sin afectar al tráfico sensible a los retardos y al jitter. (Orozco Fausto, 2014, p. 13)

#### 2.2.4.3. LSR (Interior o LSR Label Switching Router)

LSR es el router encargado de conmutar paquetes dentro de la red MPLS según la etiqueta que reciban por el Ingress LER; la función de este router es únicamente intercambiar las etiquetas para cada FEC en base a su tabla LIB y efectuar el envío respectivo al router vecino para que este efectúe la misma acción, por lo cual no necesitan muchos recursos de procesamiento, pero sí de memoria RAM. Este router no puede agregar etiquetas ya que su función es netamente la conmutación de etiquetas, y en caso que reciba tráfico con etiqueta desconocida, este será

descartado inmediatamente. Además, tienen la función de evitar loops en la red MPLS a través del uso del campo TTL de la Cabecera MPLS. (Orozco Fausto, 2014, p. 13)

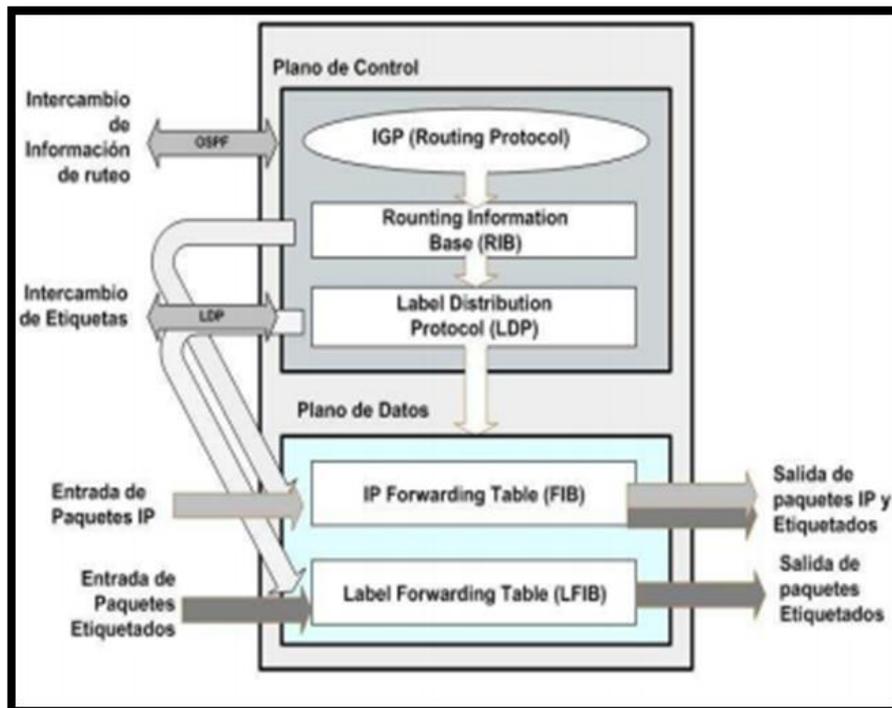
#### *2.2.4.4. LSR (Frontera de Egreso o Egress LER Label Edger Router)*

Estos routers son los que se encuentran en la salida de los flujos a la red MPLS y se encargan de extraer las etiquetas correspondientes a los tráficos o paquetes que se enviaron a través de la red, así se obtiene el paquete en su forma original antes de su clasificación en el Ingress LER. Estos routers, al tener la tarea de eliminar la etiqueta y actualizar los campos TTL en la cabecera de capa de red, deben que tener un muy alto poder de procesamiento para poder hacer esta tarea de manera muy rápida, eficiente y sin afectar al tráfico sensible a los retardos y al jitter. (Orozco Fausto, 2014, p. 13)

#### *2.2.4.5. Edge-LSR (PE) (Edge Label Switch Router)*

Su labor (como LSR) es reenvía paquetes etiquetados, también pueden reenviar paquetes IP hacia y desde una red de dominio MPLS, las siguientes combinaciones se pueden presentar en las operaciones de este equipo:

- Recibir un paquete IP y reenviarlo como paquete IP. (En base a su dirección de destino).
- Recibir un paquete IP y después de etiquetarlo, reenviarlo como un paquete etiquetado.
- Recibir un paquete etiquetado y después de un intercambio de etiqueta, reenviarlo como paquete etiquetado.
- Recibir un paquete etiquetado y después de un retiro de etiqueta, reenviarlo como paquete IP. (Camposano Daniel, 2008, p. 48)



**Figura 11-2:** Arquitectura Edge-LSR

Fuente:(Camposano Daniel, 2008, p. 48)

#### 2.2.4.6. LER (Label Edge Enrutador - Enrutadores de Etiquetas de Borde)

LER es el elemento que inicia o finaliza el túnel, los LER son dispositivos que opera en la periferia de la red de acceso y la red MPLS, el cual se encarga de insertar las etiquetas en base a información de enrutamiento. Un LER soporta múltiples puertos conectados a redes distintas como pueden ser ATM, Frame Relay y Ethernet, envía este tráfico a través de la red MPLS después de haber establecido un LSP (Caminos conmutados mediante etiquetas) utilizando un protocolo de distribución de etiquetas. También se encarga de retirar las etiquetas y distribuir el tráfico a las redes de salida. (Orozco Fausto, 2014, p. 10)

#### 2.2.4.7. LDP (Label Distribution Protocol – Protocolo de Distribucion de Etiquetas)

LDP es un protocolo para de distribución de etiquetas, cada LSR crea una unión local, es decir, que se une una etiqueta al prefijo IPv4. El LSR luego distribuye esta unión a todos sus vecinos 12 LDP. Estos enlaces se convierten en enlaces recibidos remotamente. Los vecinos luego almacenar estos enlaces remotos y locales en una tabla especial, la base de información de la etiqueta (LIB). Cada LSR tiene sólo una unión local de por prefijo, al menos cuando el espacio de la etiqueta es por plataforma. Si el espacio de la etiqueta es por interfaz, un sello local de

unión puede existir por prefijo por interfaz. Por lo tanto, usted puede tener una etiqueta por prefijo o una etiqueta por prefijo por interfaz, pero el LSR obtiene más de un control remoto de unión, ya que por lo general tiene más de un LSR adyacente. (Orozco Fausto, 2014, pp. 11-12)

#### 2.2.4.8. *CR-LDP (Constraint Shortest Path First Based LSP)*

Usa los protocolos de enrutamiento tradicionales para hacer la reserva de etiquetas, así como su anuncio a los vecinos; la implementación o ejecución de estos protocolos no se puede tener una protección ante fallas del camino principal ya que no contempla la formación de rutas alternativas, pero cumple con el hecho de proporcionar QoS a los tráficos que lo requiriesen. (Orozco Fausto, 2014, p. 14)

#### 2.2.4.9. *LSP (Label Switching Path – Caminos Conmutados mediante Etiquetas)*

LSP es el nombre genérico de un camino MPLS para cierto tráfico o FEC, es decir del túnel MPLS establecido entre los extremos. Es completamente similar a un canal virtual y puede ser punto a punto, punto a multipunto, multipunto a punto o multipunto a multipunto. (Orozco Fausto, 2014, pp. 11-12)

#### 2.2.4.10. *FEC (Forwarding Equivalence Class – Clase Equivalente de Envió)*

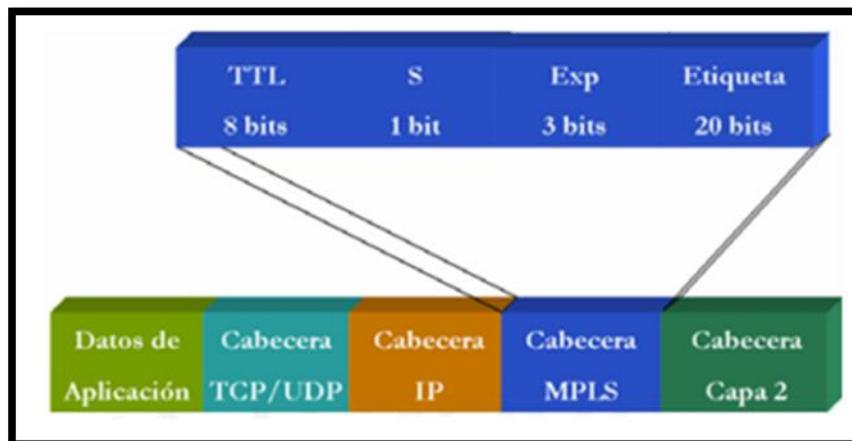
Conjunto de paquetes pertenecientes a determinado flujo que ingresan en la red MPLS a través de un mismo Router Ingress LER, a los cuales se les asigna la misma etiqueta y por tanto circulan por un mismo camino a través de la backbone hasta su destino. Normalmente se trata de paquetes que pertenecen a un mismo flujo correspondiente a una aplicación los que reciben la misma etiqueta. Cabe resaltar que un FEC puede agrupar varios flujos de diferentes aplicaciones según lo crea conveniente el administrador de la red y/o según lo estipulado en el contrato de arrendamiento con el ISP, pero un mismo flujo no puede pertenecer a más de una FEC al mismo tiempo ya que no se pueden asignar diferentes tipos de recursos a un mismo tráfico. (Orozco Fausto, 2014, p. 12)

#### 2.2.4.11. LIB (Label Information Base)

Así como a nivel de capa de Red se tiene una tabla de ruteo con la cual el router puede tomar una decisión de envío para el tráfico entrante según a donde él se dirija, existe una tabla de etiquetas que manejan los LSR muy semejante a la que existe a la de capa de red. Esta tabla relaciona interfaz de entrada - etiqueta de entrada con interfaz de salida - etiqueta de salida, es decir, si se recibe un paquete en un LSR, este para su reenvío solo cambiará la etiqueta y se conmutará a la interfaz correspondiente. Nótese que a pesar de que esta tabla LIB se forma en base a los protocolos de enrutamiento de la capa de red, funciona con una tabla de conmutación. (Orozco Fausto, 2014, p. 13)

#### 2.2.5. Estructura MPLS

La cabecera MPLS posee 32 bits de longitud, distribuidos en cuatro campos, cada uno con una función específica.



**Figura 12-2:** Cabecera MPLS

Fuente: (Orozco Fausto, 2014, p. 11)

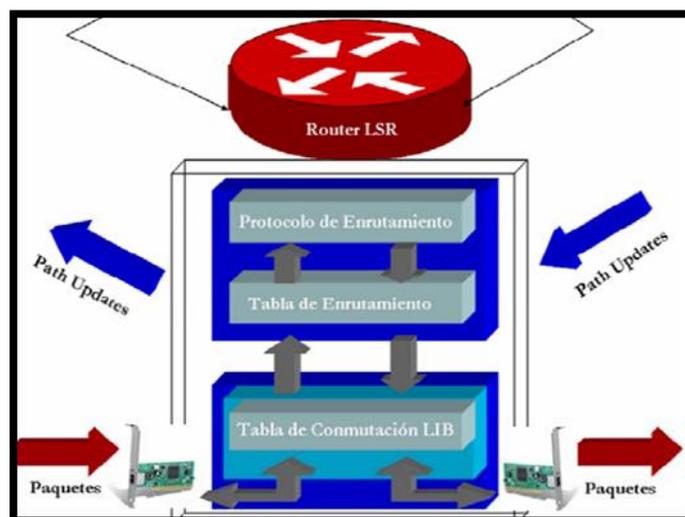
Una etiqueta MPLS se compone de las siguientes partes:

- Valor de la etiqueta de 20 bits
- 3 bits para campo experimental
- 1 bit para indicador de fondo de pila
- 8 bits para tiempo de vida de paquete

### 2.2.5.1. Campos de la Cabera MPLS

- **Campo Label o Etiqueta:** los LSR pueden efectuar la conmutación y es asignada una etiqueta por el Ingress LER según parámetros descritos en el LSA. Como se indicó antes, los LSP son los que cambian la etiqueta a lo largo de su recorrido para poder formar un túnel LSP y la última etiqueta es extraída por el Egress LER.
- **Campo Experimental EXP.Campo** para uso experimental, pero actualmente se utiliza para transmitir información DiffServ por la creciente demanda de prioridades en el protocolo IP con lo que se tendrían ocho niveles de prioridad incluyendo el esquema de Best Effort.
- **Campo Stacking:** Gracias a este campo, se tienen jerarquías de etiquetas; MPLS tiene la capacidad de etiquetar tráfico MPLS de una red vecina con lo que se forma una pila o stack. Toma el valor 1 para la primera entrada en la pila, y cero para el resto.
- **Campo TTL Time to Live:** Al igual que en el protocolo IP, este campo sirve como un contador del número de saltos para poder evitar la creación de bucles o loops que se puedan generar en el envío de los paquetes etiquetados. Este campo reemplaza al TTL de la cabecera IP durante el viaje del datagrama por la red MPLS y es disminuido en una unidad por cada nodo por el que pasa; si llegase a cero en algún LSP, será descartado. (Orozco Fausto, 2014, p. 16)

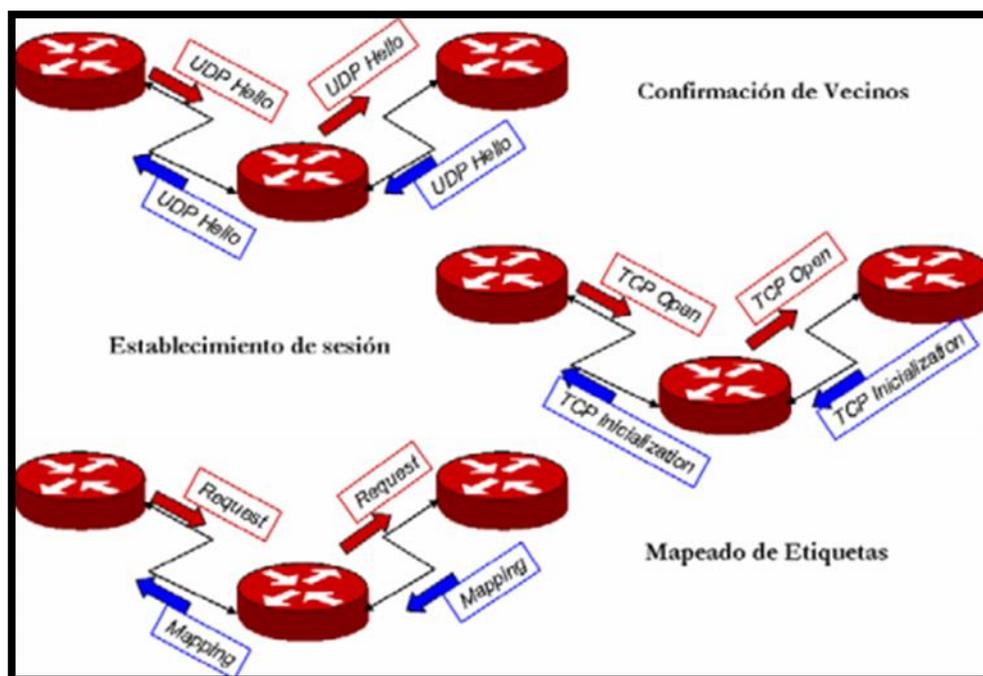
### 2.2.6. Funcionamiento de MPLS



**Figura 13-2:** Funcionamiento de las tablas MPLS  
Fuente:(Orozco Fausto, 2014, p. 17)

La arquitectura MPLS, cumple con asignar las etiquetas al tráfico que proviene de la red Ingress LER, este proceso se da en los routers de ingreso, las etiquetas deben ser comunicadas a los Routers LSR para que efectúen la conmutación respectiva a los paquetes según lo establecido en las tablas de conmutación. El proceso que se da en los routers, en forma general, se encuentra ilustrado en la figura anterior; cabe decir que el establecimiento de los LSP estará sujeto también a los cambios suscitados en la tabla de enrutamiento respectivo y si el protocolo de enrutamiento o el protocolo LDP contemplan alguna ruta alterna en caso de falla de algún nodo intermedio.

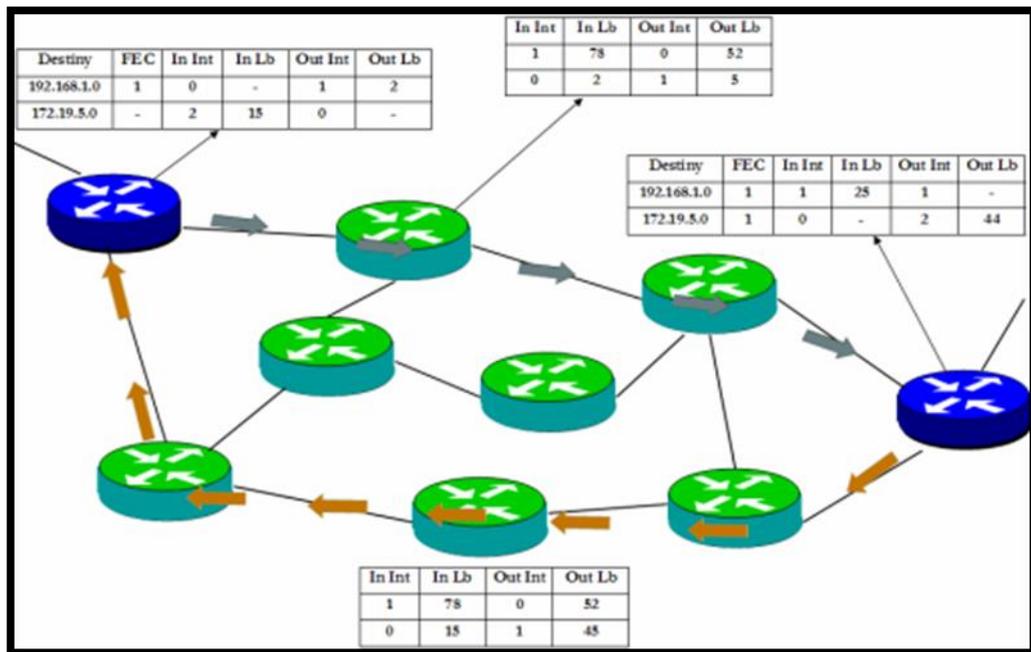
El primer paso en el funcionamiento de MPLS, es asignar las etiquetas en el Ingress LER, es el envío de paquetes HELLO a los routers vecinos. Estos paquetes son del tipo UDP (User Datagram Protocol) con lo que se establece una sesión entre routers cercanos, verifica que el router vecino está activo y habilitado para funcionar correctamente. Creada la condición para la poder establecer sesión entre routers vecinos, se procede al envío del paquete de inicio de sesión bajo TCP (Transmission Control Protocol), se crea la correspondencia entre dirección de capa de red, y la etiqueta correspondiente. Este proceso se llama Mapping. (Orozco Fausto, 2014, p. 17)



**Figura 14-2:** Mapeo de Etiquetas  
Fuente:(Orozco Fausto, 2014, p. 18)

Cabe decir que el Ingress LER que efectúa el requerimiento es el Egress LER el que al final coloca la etiqueta a utilizar en el empaquetado; o en el caso que la etiqueta sea fija en el Ingress LER por configuración, el Egress LER crea el LSP o túnel por el cual atravesarán los paquetes

la red MPLS hasta llegar a su destino. Después del establecimiento de las etiquetas y el circuito virtual LSP, se procede con el envío del tráfico. Véase que las etiquetas se cambian en cada nodo.



**Figura 15-2:** Envío del Tráfico con MPLS

Fuente:(Orozco Fausto, 2014, p. 18)

### 2.2.7. *Convergencia de MPLS*

El problema principal es la interoperatividad entre los productos privados de diferentes fabricantes, la mayoría de estos problemas necesitaban soluciones ATM como transporte, pues no podían operar sobre infraestructuras de transmisión mixtas (Frame Relay, PPP, SONET/SDH y LANs), se quería obtener un estándar que pudiera funcionar sobre cualquier tecnología de transporte de datos en el nivel de enlace por esta razón se creó MPLS y su objetivo es la adopción de un estándar unificado e interpretativo.(Tapasco Martha, 2008, p. 10)

### 2.2.8. *Objetivos de MPLS*

- MPLS funciona sobre cualquier tecnología de transporte, no solo ATM.
- MPLS soporta el envío de paquetes tanto de Unicast como de Multicast.
- MPLS es compatible en el modelo de servicios Integrados de IETF incluyendo protocolos RSVP (Resource Reservation Protocol).

- MPLS permite el crecimiento constante del internet.
- MPLS es compatible con procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las redes IP. (Tapasco Martha, 2008, pp. 8-9)

### 2.2.9. *Aplicaciones de MPLS*

- **Redes de alto rendimiento:** las decisiones de encaminamiento que han de tomar los routers MPLS en base a la LIB son mucho más sencillas y rápidas que las que toma un router IP ordinario (la LIB es mucho más pequeña que una tabla de rutas normal). La anidación de etiquetas permite agregar flujos con mucha facilidad, por lo que el mecanismo es escalable.
- **Ingeniería de tráfico:** se conoce con este nombre la planificación de rutas en una red en base a previsiones y estimaciones a largo plazo con el fin de optimizar los recursos y reducir congestión.
- **QoS:** es posible asignar a un cliente o a un tipo de tráfico una FEC a la que se asocie un LSP que discurra por enlaces con bajo nivel de carga.
- **VPN:** la posibilidad de crear y anidar LSPs de gran versatilidad a MPLS, la cual hace muy sencilla la creación de VPNs. [12 p. 27- 28]
- **Soporte multiprotocolo:** los LSPs son válidos para múltiples protocolos, ya que el encaminamiento de los paquetes se realiza en relación con la etiqueta MPLS estándar, no a la cabecera de nivel de red.
- **Funciones de ingeniería de tráfico:** los flujos de cada usuario se les asocia una etiqueta diferente.
- **Ordenamiento:** MPLS se basa en el etiquetado de los paquetes tomando como base a criterios de prioridad y calidad (QoS).
- **Transporte:** MPLS realiza conmutación de paquetes o datagramas en función de las etiquetas añadidas en cada 2 y etiquetar dichos paquetes, según la clasificación establecida por la QoS en la SLA (Acuerdo de Nivel de Servicio).
- **Eficiencia:** MPLS permite ofrecer QoS independientemente de la red sobre la que se implemente.
- **Portabilidad:** El etiquetado en capa 2 permite ofrecer servicio multiprotocolo y ser implementado sobre multitud de tecnologías de capa de enlace: ATM, Frame Relay, Líneas Dedicadas, LANs. (León Roberto, 2010, pp. 27-28)

### **2.2.10. Beneficios de MPLS**

- Reducción de costos en equipamiento y acceso.
- Posibilidades de VoIP, video, tolerancia a fallos y otros.
- Acuerdos de nivel de servicio atractivo, real y sostenible.
- Monitoreo para planificación anticipada de necesidades.
- Implantación de VPNs más seguras y eficientes para todo tipo de tráfico.
- Facilidad de implementación y costos bajos de migración. (León Roberto, 2010, p. 32)

## **2.3. Servicio IPTV**

### **2.3.1. Concepto de IPTV**

IPTV es un término que se usa para referirse a la transmisión de canales de televisión tradicional, películas y video sobre redes de datos privadas; se puede decir que IPTV es otro sistema de televisión de pago, bajo la perspectiva de un proveedor de servicios. IPTV comprende la adquisición, procesamiento, y transmisión del contenido de video sobre una infraestructura de red basada en IP. Los proveedores de servicios que desarrollan el servicio de IPTV son: operadores de cable, TV satelital, compañías telefónicas y operadores de redes privadas. (Rottmann Chavez Kurt Rainer, 2010)

### **2.3.2. Características de IPTV**

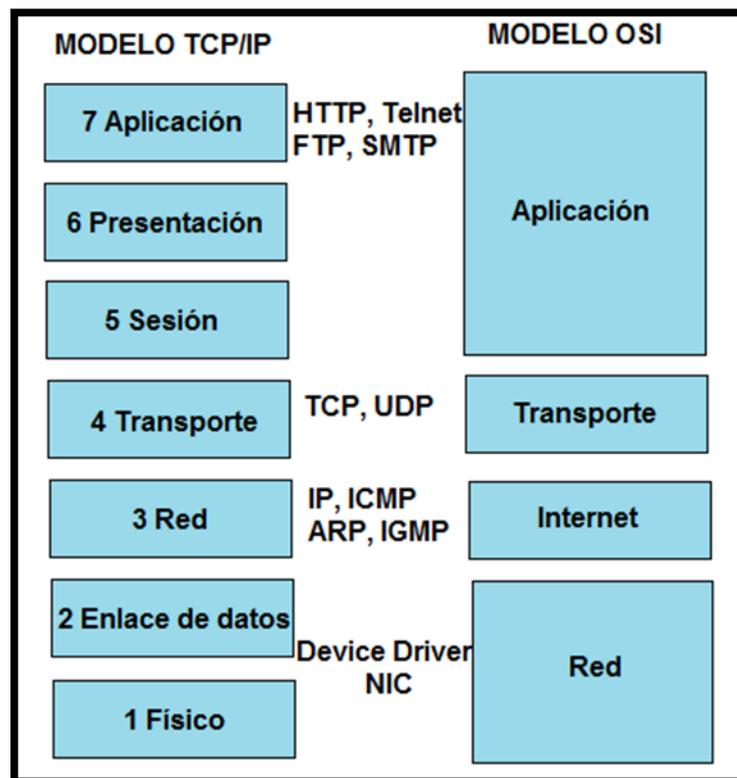
- **Soporte para TV interactiva:** la comunicación bidireccional de los sistemas de IPTV permiten que los proveedores de servicios entreguen un amplio rango de aplicaciones de TV interactiva como televisión en vivo con sistemas de votación online, solicitud de contenido audiovisual específico (video on demand), juegos multimedia interactivos y navegación por Internet. (Rottmann Chavez Kurt Rainer, 2010)
- **Cambiar horarios de transmisión:** IPTV por un medio de un grabador de video digital permite cambiar los horarios de los contenidos de la programación; esto quiere decir

que es un sistema en que se graba y almaceno contenido de IPTV para verlo posteriormente. (Rottmann Chavez Kurt Rainer, 2010)

- **Personalizable:** Un sistema de IPTV soporta comunicación bidireccional permitiendo que el usuario final pueda decidir qué y cuando quiere ver televisión. (Rottmann Chavez Kurt Rainer, 2010)
- **Bajo requerimiento de ancho de banda:** esta tecnología permite que los proveedores de servicio de IPTV puedan transmitir el contenido que el usuario solicite, permitiendo que los operadores de red optimicen el uso del ancho de banda de sus redes.(Rottmann Chavez Kurt Rainer, 2010)
- **Accesible a múltiples dispositivos:** La visualización del contenido de IPTV no está limitado a los televisores, los consumidores pueden usar sus PCs o aparatos celulares para acceder a los servicios de IPTV. (Rottmann Chavez Kurt Rainer, 2010)

### 2.3.3. Modelo TCP/IP

El modelo TCP/IP usa como referencia el modelo OSI siendo el modelo base para las redes IP.



**Figura 16-2:** Modelo TCP/IP – OSI  
Fuente: Rottmann Chavez Kurt Rainer, 2010

### 2.3.3.1. Modelo OSI

El modelo OSI (Modelo de Interconexión de sistemas abiertos), permite hacer el proceso de comunicación en una red de datos, consta de siete capas.

**Tabla 9-2:** Capas del modelo OSI

CAPAS DEL MODELO OSI	
CAPAS	CARACTERISTICAS
<b>Aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Esta capa interactúa con el usuario.</li><li>• Permite hacer peticiones de datos y transferencia de archivos como correo electrónico, navegadores, etc.</li></ul>
<b>Presentación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Traduce los datos que se intercambia entre el usuario y la red.</li><li>• Proporciona encriptación, des encriptación y comprensión de información transmitida.</li><li>• La función principal es que los datos requeridos por el usuario puedan ser transmitidos.</li><li>• Transforma la señal digital a imágenes de movimiento.</li></ul>
<b>Sesión</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se encarga de controlar y mantener la transmisión de datos y la sesión.</li></ul>
<b>Transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se encarga de la transmisión de datos dentro de la red.</li><li>• Se aseguran de la entrega de manera segura.</li><li>• También se encarga de la retransmisión de datos perdidos o corruptos.</li><li>• Se encarga del reordenamiento de datos y la comprobación de errores.</li></ul>
<b>Red</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se encarga del enrutamiento de datos de una red a otra.</li><li>• Se encarga de administrar y dirigir paquetes de datos hasta su</li></ul>

	destino.
<b>Enlace</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encarga del direccionamiento, identificación de cada dispositivo dentro de la red.</li> <li>• Esta capa tiene la mayor cantidad de datos dentro de un datagrama.</li> </ul>
<b>Físico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encarga de las comunicaciones y el medio de transmisión son las conexiones físicas.</li> </ul>

Fuente:(Cumbicus Naranjo Sonia Carlota, 2016)

### 2.3.3.2. Modelo TCP/IP

Es el conjunto de protocolos que representan el encaminamiento de la transmisión de datos, está definido por cuatro capas.

**Tabla 10-2:** Capas del modelo TCP/IP

CAPAS DEL MODELO TCP/IP	
CAPAS	CARACTERISTICAS
Acceso a la Red	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta capa tiene características a la capa de enlace</li> <li>• Es el medio de transmisión físico que transporta datos por la red.</li> </ul>
Internet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encarga de controlar la comunicación entre un host y el otro.</li> <li>• Lleva el contenido hacia su destino independiente de la ruta que tome el paquete.</li> <li>• Se encarga del armado de los paquetes IP que son enviados a capas inferiores.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encarga de la comunicación entre un host y el otro.</li> </ul>

Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se empaquetan el contenido en segmentos para luego ser transmitidos a la capa de aplicación.</li> <li>• Trabaja con dos protocolos TCP y UDP.</li> </ul>
Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene la lógica necesaria para llevar a cabo las aplicaciones de usuarios. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>TELNET (Redes de Telecomunicaciones):</b> permite acceder a un servidor que se encuentra físicamente conectado a él.</li> <li>• <b>HTTP (Protocolo de Tránsito de Hipertexto):</b> establece una serie de reglas para el envío y recepción de información. Es el protocolo de entendimiento universal de las páginas web.</li> <li>• <b>FTP (Protocolo de Transmisión de Archivos):</b> su función es la de almacenar los directorios con todos los permisos necesarios para el envío de información y acceso del contenido existente.</li> <li>• <b>NNTP (Protocolo de Transferencia de Noticias de Red):</b> se encarga del pedido, distribución, envío y recuperación de noticias.</li> <li>• <b>SMTP (Protocolo Simple de Tránsito de Correo):</b> se encarga de identificar las direcciones de correo mediante un nombre de dominio.</li> </ul> </li> </ul>

Fuente:(Cumbicus Naranjo Sonia Carlota, 2016)

#### 2.3.4. Video - Streaming

Se define generalmente como flujo de video multimedia transmitido por la red desde un servidor hacia el suscriptor, con la característica de que es posible visualizar el contenido en la medida que el flujo de datos es recibido. En el uso de video-streaming en IPTV, se pueden diferenciar dos tipos de canales; el primero tiene definición estándar (SDTV) y el segundo de alta definición (HDTV). (Martínez Gabriel, 2008, p.14)

**Tabla 11-2:** Características del Video-Streaming

SDTV	HDTV
<b>Se debe tener una conexión de 1.5 Mbps.</b>	Se debe tener una conexión de 8 Mbps.
<b>Cuando se tienen varios canales se suma el ancho de banda dando un total de 4.5 Mbps.</b>	Cuando se tienen varios canales se suma el ancho de banda dando un total de 11 Mbps.
<b>La tecnología de compresión y codificación de video MPEG-2 o MPEG-4 son muy útiles para lidiar con los problemas de ancho de banda.</b>	La tecnología de compresión y codificación de video MPEG-2 o MPEG-4 son muy útiles para lidiar con los problemas de ancho de banda.

Fuente:(Martínez Gabriel, 2008, p.14)

#### 2.3.4.1. RTCP (*Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real*)

Maneja el flujo de contenido del RTP no lo transporta, brinda la información de la calidad de servicio, se encuentra empaquetado sobre UDP y permite manejar el contenido en tiempo real mediante los mensajes de control. (Cumbicus Sonia, 2016, p. 22)

#### 2.3.4.2. RTSP (*Protocolo de Transmisión en Tiempo Real*)

Este protocolo es independiente de la capa de transporte (TCP o UDP), no está encargado de llevar el contenido y pertenece a la capa de aplicación. Necesita mantener el estado de la conexión y es compatible tanto con unicast como multicast. Permite manejar al cliente varias sesiones y controla la reproducción y grabación del contenido. (Cumbicus Sonia, 2016, p. 22)

#### 2.3.4.3. IGMP (*Protocolo de Manejo de Grupos d Internet*)

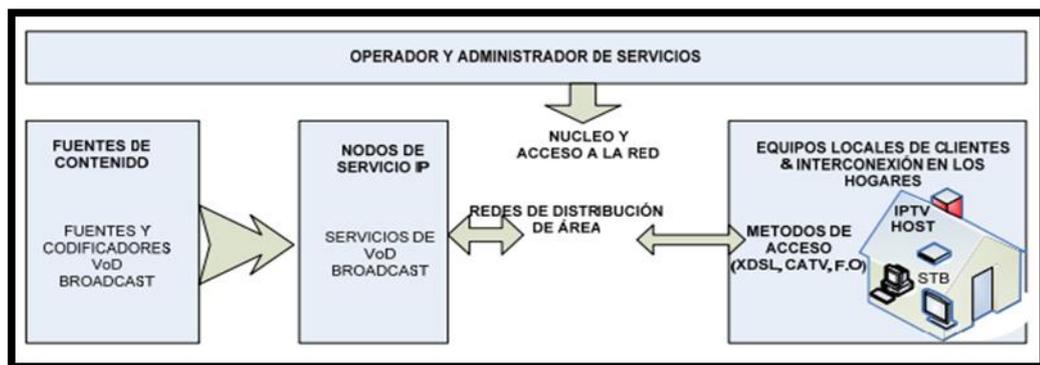
Se encarga de administrar los grupos de paquetes transmitidos sobre la red de IPTV; los paquetes encapsulados y administrados por el protocolo IGMP llegan a la pantalla del televisor en perfectas condiciones. Existen diversas versiones de este protocolo como:

- IGMP v1: envía mensajes de IGMP Report cuando el cliente desea incluirse en el grupo multicast.
- IGMP v2: es compatible con la versión anterior y se encarga del envío de mensajes de abandono cuando el cliente ya no desea pertenecer al grupo multicast.

- IGMP v3: reduce el ancho de banda usado para transmitir los paquetes, el cliente mediante una dirección IP asignada puede solicitar que canal desea recibir los datos. (Cumbicus Sonia, 2016, p. 22)

### 2.3.5. Arquitectura de IPTV

En la figura se muestra la arquitectura básica de IPTV soportando aplicaciones de difusión (Broadcast) de televisión y video bajo demanda.

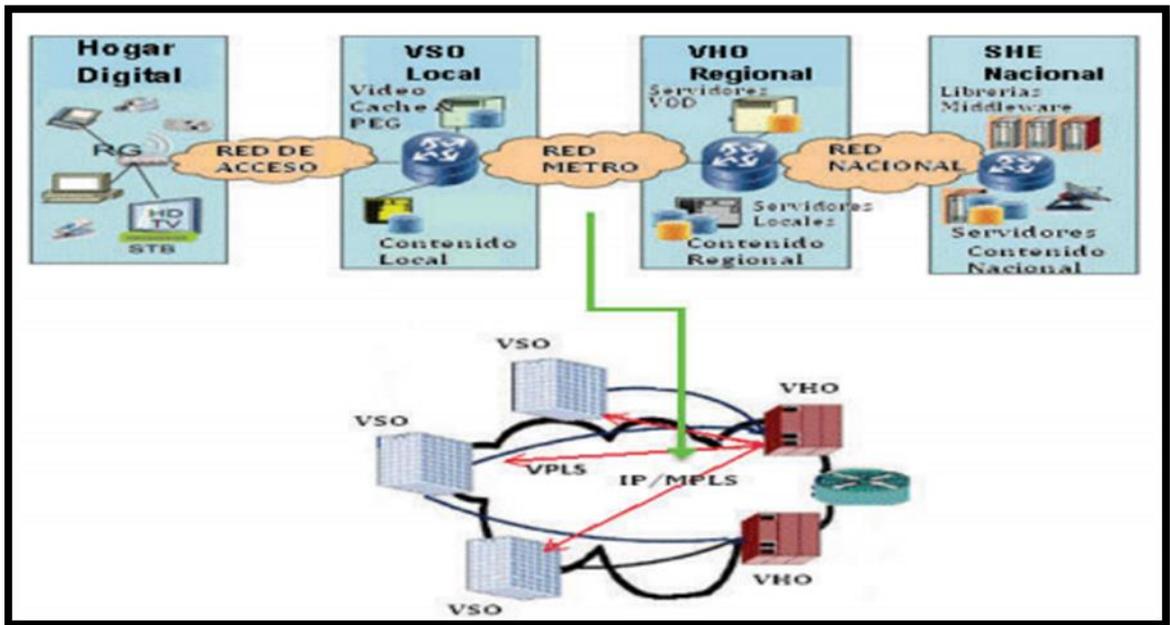


**Figura 17-2:** Arquitectura básica de IPTV

Fuente: (Martínez Gabriel, 2008, p.15)

- **Fuentes de contenido:** Su función es recibir el contenido del video, codificarlo y almacenarlo en una base de datos (VoD).
- **Nodos de Servicio:** Su función es recibir video streaming en varios formatos, luego reformatearlos y encapsularlos para poder transmitirlos con una calidad de servicio (QoS) apropiada, luego estos se comunican con el equipo de clientes (CPE) para la distribución de servicio. Estos nodos pueden ser centralizados o distribuidos.
- **Redes de distribución:** proporciona la capacidad de distribución, la calidad de servicio, esto se necesita para hacer una distribución confiable y oportuna de flujo de datos IPTV desde los nodos de servicio a los clientes locales. El núcleo y acceso a la red incluye la distribución óptica del backbone de la red y varios accesos de línea de suscripción digital multiplexadas (DSLAM). (Martínez Gabriel, 2008, pp. 14-15)
- **Acceso de Clientes:** la entrega de IPTV a los clientes se realiza sobre la plataforma de lazo existente y las líneas telefónicas a los hogares usando altas velocidades.
- **Equipos Locales de clientes o Customer Premises Equipment (CPE):** En IPTV, los CPE son todos los equipos terminales localizados dentro del hogar del suscriptor los cuales generalmente pueden ser router, set-top box, modem ADSL. Los cuales se encargan del ancho de banda y las interconexiones del hogar. (Martínez Gabriel, 2008, pp. 14-15)

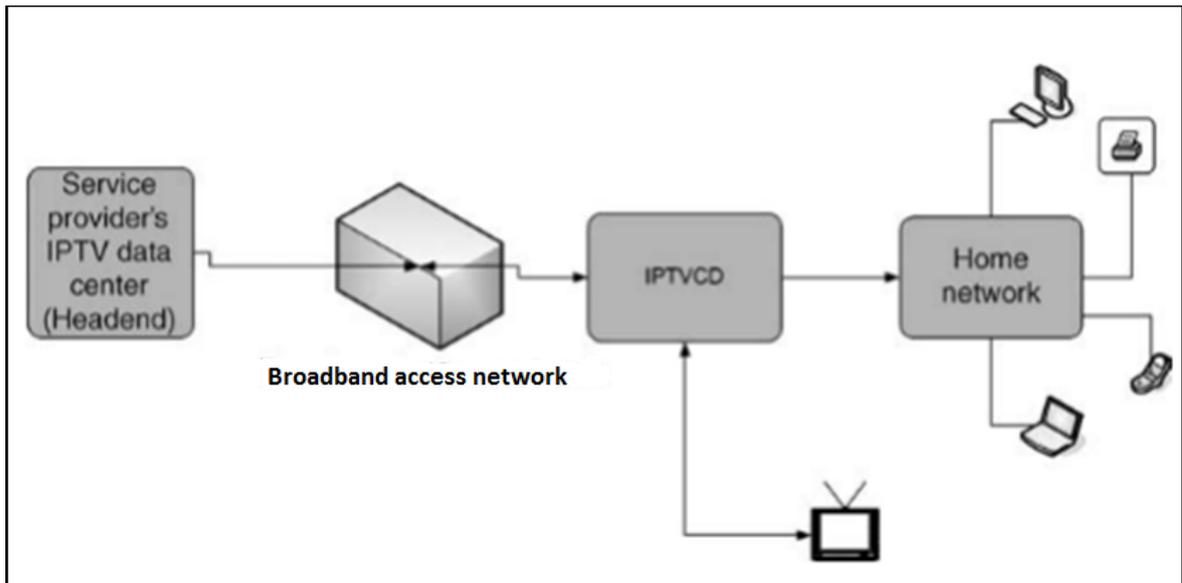
- **Clientes IPTV:** Los clientes de IPTV son la unidad funcional, es donde el tráfico de IPTV termina en los hogares de los clientes. Esto son unos dispositivos, generalmente un set-top box, que realizan el tratamiento funcional, incluye control de conexión y calidad de servicio (QoS) con el nodo de servicio, la decodificación del video stream, el cambio de canal, el control de uso por usuario, conexión a interfaces de usuario como TV o monitores HDTV, etc. (Martínez Gabriel, 2008, pp. 14-15)



**Figura 18-2:** Arquitectura de Red IPTV  
Fuente: (Tondola Ochoa Giovanna Carolina, 2013)

### 2.3.6. Infraestructura de IPTV

La infraestructura de IPTV está formada por todos los elementos que son indispensables para el funcionamiento o desarrollo de una actividad.



**Figura 19-2:** Diagrama de bloques de la red IPTV

Fuente:(Rottmann Kurt, 2010, p. 16)

- Centro de Datos o IPTV Data Center
- Red de Banda Ancha o Broadband Delivery Network
- Decodificadores o IPTVCDs
- Red en el Hogar. (Rottmann Kurt, 2010, p. 16)

### 2.3.6.1. Centro de Datos

Es el sitio donde se recibe los contenidos audiovisuales de distintas fuentes como por ejemplo vía satélite, y transmisiones terrestres, canales de televisión tradicionales a canales especiales, estos datos se convierten a formato estándar antes de ser comprimidos para luego ser enviados por la red o ser almacenados para su posterior distribución. (Borja Christian, 2014, p.48)

Cuando se recibe la información de los diferentes equipos de hardware como encoders, IP routers son usados para preparar el contenido de video que será transmitido sobre la red IP, también se necesita de un sistema de manejo de suscriptores para gestionar los datos de los clientes del servicio de IPTV y realizar labores de tarificación. (Rottmann Kurt, 2010, p. 16)

### 2.3.6.2. Red de Banda Ancha

Es la velocidad de internet suficiente para poder tener navegación continua y rápida, al momento de usar todos los servicios disponibles por internet. Según la ITU se han definido este tema de diversas perspectivas:

- Se considera como banda ancha aquellos, accesos inalámbricos o no, que es en sentido descendentes (hacia el cliente) provee velocidades permanentes de datos iguales o mayores a 256 Kbps sin límites de tiempo ni volumen de información transmitida.
- Banda ancha califica como un servicio o sistema que requiere canales de transmisión capaces de soportar velocidades superiores a la primaria. (Borja Christian, 2014, p.49)

La transmisión de servicios IPTV se realiza sobre redes IP de banda ancha las que suelen ser propiedad del proveedor de servicios; los datos atraviesan la red IP para llegar a los decodificadores de los clientes; las conexiones pueden soportar varios clientes a la vez. Debe contar con una infraestructura de red que soporte todo el tráfico generado por todos los usuarios, las redes que pueden ser utilizados son la fibra óptica, cable coaxial, híbridas.

### 2.3.6.3. Decodificadores



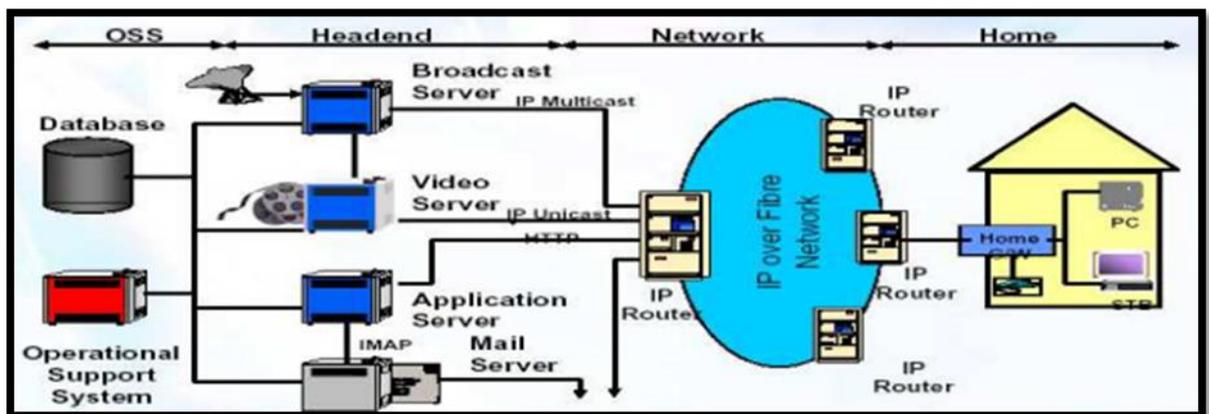
**Figura 20-2:** Set Box Top  
**Fuente:** (Rottmann Kurt, 2010, p. 16)

Los IPTVCDs ayudan a minimizar o eliminar completamente los efectos de los problemas en la red cuando se procesa el contenido de IPTV, los más populares son Gateway residenciales, IP Set-Top-Boxes (Decodificadores), consolas de videojuegos y Media Servers los cuales aumentan cada vez en su sofisticación. (Rottmann Kurt, 2010, p. 17)

Este equipo se encuentra en el lado del cliente final, es aquel que permite visualizar el contenido de video, acceder al contenido de IPTV y permite la interacción con el usuario final; su función principal es la de decodificar y procesar el stream de video para recomponer la imagen original y mostrarla en la pantalla del televisor. (Borja Christian, 2014, p.50)

#### 2.3.6.4. Red de Casa

Una red hogareña conecta dispositivos digitales en una pequeña área geográfica, permite mejorar la comunicación, intercambio de grandes volúmenes de contenidos digitales entre miembros de una familia. El propósito de una red hogareña es proveer acceso a la información, como: voz, audio, datos y entretenimiento entre diferentes dispositivos digitales a lo largo de una casa, con estas redes los consumidores pueden ahorrar dinero y tiempo. (Rottmann Kurt, 2010, p. 17)



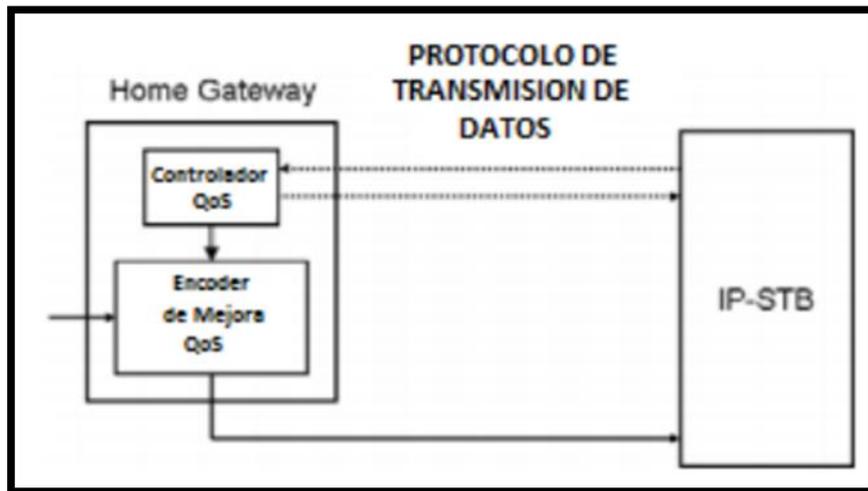
**Figura 21-2:** Esquema de la red IPTV

Fuente:(Galicia Martinez Miguel Angel, s. f.)

#### 2.3.7. Requerimientos de QoS para IPTV

La QoS que generalmente se considera al momento de usar el servicio IPTV, es el de controlar el tiempo que se tarda en cambiar de canal porque este tiempo dura demasiado.

Para poder conseguir un QoS que sea efectivo y satisfactorio para el cliente, se emplea dos módulos que están ubicados en la puerta del enlace de la casa Gateway, que son los controladores de QoS y Encoder de mejora QoS.



**Figura 22-2:** Estructura de componentes para QoS  
Fuente:(Borja Christian, 2014, p.57)

### 2.3.7.1. Controlador de QoS

La función principal que tiene el controlador de QoS, es el de asignar el umbral de tasa de pérdida de paquetes, con el objetivo de controlar las pérdidas y en caso de sobrar pase el umbral tomar medidas para que no afecte la calidad de servicio (QoS). (Borja Christian, 2014, p.58)

### 2.3.7.2. Encoder de Mejora QoS

Cuando el controlador de la calidad de servicio se da cuenta que la pérdida de paquetes sobrepasa el umbral se activa o entra en funcionamiento el módulo de encoder para mejorar la QoS, el cual tiene como objetivo añadir protección a los paquetes para evitar su pérdida.

### 2.3.8. Redes de Acceso Utilizadas para transmitir IPTV

Las redes de acceso empleadas para ofrecer IPTV y puedan llegar a los hogares son los siguientes: tecnologías inalámbricas (UMTS Y LTE) y tecnologías alámbricas (ADSL y PON), son usadas actualmente por el usuario para disfrutar de servicios de telecomunicaciones. (Tondola Giovanna, 2013, p. 50)

- **Acceso utilizando ADSL (Asymetrical Digital Subscriber Line):** es la tecnología que ha permitido exprimir al máximo el par de cobres telefónicos ya instalado en los hogares, ofreciendo altas velocidades de datos para servicio de internet. (Tondola Giovanna, 2013, p. 40)

- **Acceso utilizando tecnología xPON (Passive Optical Network):** esta tecnología utiliza fibra óptica como medio de acceso para llevar a los usuarios altas velocidades en la red; la fibra tiene dos nombres FTTx (Fiber to the.....) y cuando llega al hogar se le conoce como FTTH (Fiber to the home). Actualmente existen dos tecnologías como EPON y GPON. (Tondola Giovanna, 2013, p. 40)
  - **EPON (Ethernet Passive Optical Network):** su ancho de banda es simétrico con 1,244 Gbps tanto de subida como de bajada.
  - **GPON (Gigabit Passive Optical Network):** trabaja de manera asimétrica (de subida de datos es menor y de descarga de datos es mayor) llegando a cargas y descargas que van desde los 155 Mbps a 1,244 Gbps de subida y llega hasta los 2,488 Gbps.
  
- **Acceso utilizando UMTS – LTE:** son redes de acceso que utilizan para extender el servicio de IPTV utilizando la red IP, junto con las redes inalámbricas de 3G-UMTS con velocidades de 21 Mbps y 4G-LTE con velocidades de 100 Mbps.

### 2.3.9. Diferencias entre IPTV y TV por Internet

**Tabla 12-2:** Diferencias entre IPTV y TV por Internet

	<b>TV POR INTERNET</b>	<b>IPTV</b>
<b>Plataformas Diferentes</b>	Utiliza la red de Internet pública para transmitir el contenido de video a los usuarios finales.	Usa redes privadas dedicadas para transmitir el contenido de video a los consumidores. Estas redes privadas son manejadas y operadas por el proveedor del servicio de IPTV).
<b>Alcance Geográfico</b>	Las redes pertenecen y son controladas por las compañías operadoras de telecomunicaciones siendo no accesibles por los usuarios de Internet y siendo localizadas en un lugar geográfico determinado.	No posee limitaciones geográficas donde los servicios pueden ser accedidos desde cualquier parte del planeta.

<b>Dueños de la Infraestructura de red</b>	Cuando el video es enviado sobre la red de Internet, algunos paquetes IP sufren retardos o se pierden completamente al atravesar las redes que componen la Internet.	IPTV es transmitido sobre una infraestructura de red, que pertenece al proveedor de servicios. Ser dueño de la infraestructura de red permite a las empresas proveedoras de telecomunicaciones puedan gestionar sus sistemas de modo que se hace posible la entrega de video de alta calidad
<b>Mecanismo de Acceso</b>	El tipo de software usado en el computador personal va a depender del tipo de contenido de Internet TV que se desea.	Un Set-Top Box digital es generalmente usado para acceder y decodificar el contenido de video transmitido a través de un sistema de IPTV y reproducido típicamente en un televisor estándar.
<b>Costo</b>	La TV por internet pública está disponible gratuitamente.	La estructura de costos aplicada a los servicios de IPTV es similar al modelo de suscripción mensual adoptada por los proveedores tradicionales de TV de pago.

Fuente: (Tondola Giovanna, 2013)

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Tenemos que evaluar los protocolos multicast IPv4, orientado a la calidad de servicio de IPTV, se realizó un escenario de pruebas que permitan realizar mediciones de los parámetros de calidad del servicio IPTV cableado, características de cada elemento, con el fin de satisfacer los objetivos planteados en este trabajo.

#### 3.1. Parámetros de Calidad del Servicio IPTV

Se va a analizar el comportamiento del IPTV y la optimización del trabajo en la red, cuyo propósito es mejorar la experiencia del usuario (QoE). Según Willian Stallings la Experiencia del usuario se determina utilizando la métrica MOS (Mean Opinion Score), el cual proporciona una medida subjetiva que cuantifica el impacto que tiene en el usuario la presencia de fallos en el servicio, estos fallos pueden ser determinados por otras métricas de QoE como la duración de los fallos.

Existen varios parámetros de QoS, calidad de servicio para la determinación de los servicios como son:

- Retardo
- Jitter
- Pérdida de Paquete
- Calidad de transmisión (throughput)

El proceso de transmisión de la televisión sobre IP puede comenzar desde un servidor donde está almacenado el video o desde una transmisión en vivo por medio de una señal satelital.

La señal de IPTV debe ser encriptada; luego de forma secuencial es transmitida a un Sep Top Box el que se encarga de convertir los datos digitales en señal analógica, pero en este caso bastará con conectar directamente los puertos del ordenador con los switches para la distribución del streaming de video.

### **3.1.1. Retardo**

- Es el valor de tiempo que un paquete demora en llegar desde la fuente hacia su destino, este puede ser medido de manera unidireccional por equipos robustos y costosos, o bien a partir del promedio de tiempo de ida y vuelta denominado Round Trip Time (RTT).
- De acuerdo a la recomendación ITU Y.1541 el máximo aceptable es de 100 ms como se muestra en la tabla 1-3. (Arévalo Medina, Elizabeth Fernanda, 2013)
- El valor de retardo que sobrepase los 100ms equivale a una calificación de 0% y por lo tanto no garantiza una calidad en la transmisión, ocasionando deterioro en las imágenes cuando se trate de transmisión de video, representado en dos formas; por cambios bruscos o congelación de las mismas.(Arévalo Medina, Elizabeth Fernanda, 2013)

### **3.1.2. Pérdida de Paquete de Datos**

La pérdida de paquetes de datos está directamente relacionada con la cantidad de paquetes que se han desplazado desde su emisor y que no han llegado a su destino, este puede ocurrir por un reducido y limitado ancho de banda, el tipo de cable que se esté ocupando para los enlaces, la congestión de la red por la presencia de tráfico, fallo en la transmisión debido a problemas físicos en los equipos y por desperfectos en los enlaces. Los inconvenientes también se deben al uso del protocolo como en el caso de UDP, que no se encarga de la retransmisión de los paquetes y por lo cual no llega a su destino. Se establece un porcentaje máximo del 10% de paquetes perdidos en una transmisión. De acuerdo a esto, se ha determinado una escala de valores que permitan categorizar los protocolos de acuerdo a los porcentajes de la métrica, como se muestra en la tabla 1-3 (ARÉVALO MEDINA, Elizabeth Fernanda, 2013)

La pérdida de paquetes que sobrepase el 10% no garantiza calidad en la transmisión de video ocasionando deterioro en las imágenes representado por cambios bruscos o congelación de las mismas (ARÉVALO MEDINA, Elizabeth Fernanda, 2013)

### **3.1.3. Jitter**

Es la variación del retardo que presenta un paquete con respecto a otro, dentro de una misma comunicación o enlace. De acuerdo a la recomendación ITU Y.1541 este factor no debe sobrepasar los 50 milisegundos. Se ha determinado una escala de valores de importancia que

permitan categorizar los protocolos de acuerdo a los porcentajes de la métrica, se muestra en la tabla 1-3(MOLINA, Juan, 2011)

El valor de jitter que sobrepase los 50ms equivale a una calificación de 0% y por tanto no garantiza una calidad en la transmisión de video, lo que ocasiona un deterioro en las imágenes, representado por cambios bruscos o congelación de las mismas. (Molina Juan, s. f, p. 47)

El presente cuadro muestra la valoración del porcentaje de los parámetros de calidad del servicio IPTV según se señala.

**Tabla 1-3: Valoración del Porcentaje de: Retardo, Pérdida de Paquetes y Jitter**

NIVEL DE VALORACIÓN	RETARDO		PÉRDIDA DE PAQUETES		JITTER	
	RETARDO (ms)	PORCENTAJE (%)	PORCENTAJE (%)	JITTER (ms)	PORCENTAJE (%)	
<b>EXCELENTE</b>	0 – 20	100	0 – 2	0 – 10	100	
<b>MUY BUENO</b>	20 – 40	80	2 – 4	10 – 20	80	
<b>BUENO</b>	40 – 60	60	4 – 6	20 – 30	60	
<b>MALO</b>	60 – 80	40	6 – 8	30 – 40	40	
<b>PÉSIMO</b>	80 – 100	20	8 – 10	40 – 50	20	

Fuente: (Molina Juan, s. f, p. 47)

En la tabla siguiente se puede observar cómo influye la calidad de Servicio QoS sobre la percepción del usuario QoE.

**Tabla 2-3: Parámetros de QoS**

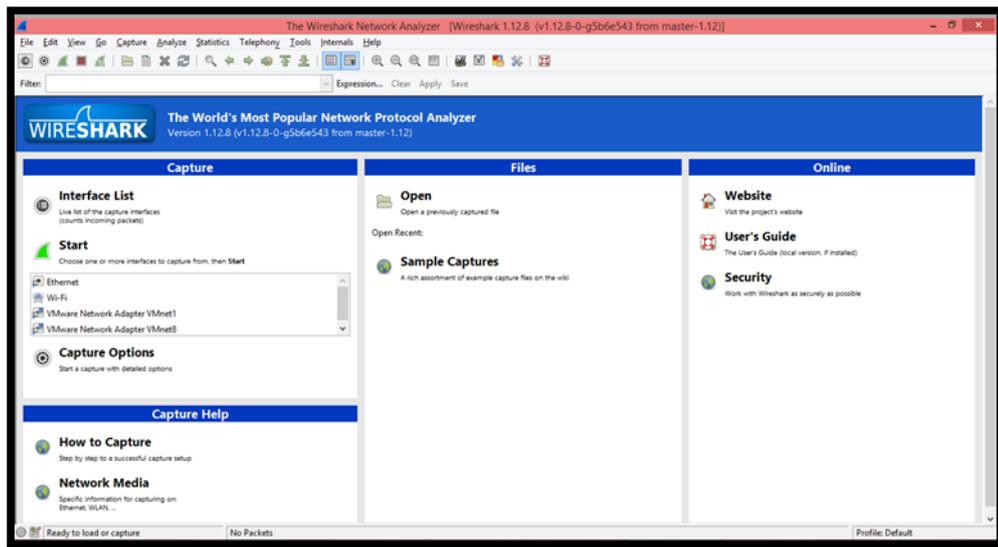
Parámetros de QoS	Grado de Importancia Relativa del Usuario
Packet Loss	41.7 %
Burst Level	29.2 %
Packet Jitter	10.7 %
Packet Delay	10.6 %
Bandwidth	7.8 %

Fuente: (Molina Juan, s. f, p. 47)

### 3.2. Software para las Pruebas

Existen herramientas de distribución libre para la evaluación del servicio IPTV, como Wireshark y Jperf, que permiten obtener los valores de las métricas planteadas anteriormente para el servicio de IPTV dentro del escenario de pruebas en cada una de sus etapas. (OREBAUGH, A. 2007, p. 41)

#### 3.2.1. Wireshark



**Figura 1-3:** Estructura de componentes para QoS  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

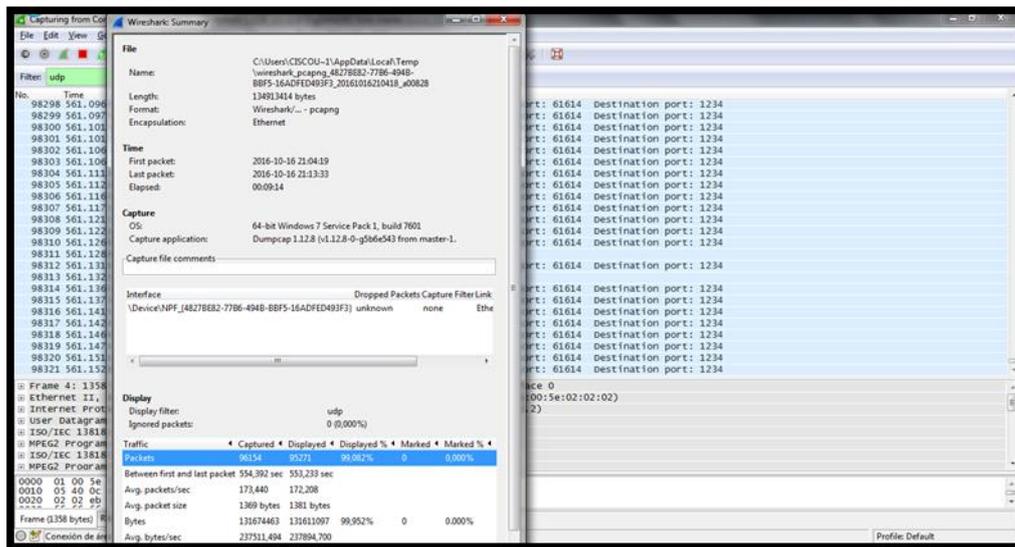
Es un analizador de código de red, cuya funcionalidad radica en capturar todos los paquetes que circulan en la red, los decodifica y muestra hasta el mínimo detalle posible.

Dispone de 20 plataformas de manera libre; soporta alrededor de unos 750 protocolos, cuenta también con una interfaz gráfica donde se presenta todos los paquetes capturados luego se selecciona y se puede observar los detalles como el medio por el cual se capturo el paquete, tiempo de llegada, todos los protocolos en uso con sus respectivas cabeceras, el número de tramas, el origen y destino del paquete, etc.

Permite observar el número de paquetes capturados, el número de paquetes mostrados, el tiempo entre el primer y último paquete, el promedio de paquetes por segundo, el tamaño que conforman todos los paquetes en bytes, el número de bytes capturados, el promedio de bytes por segundo y el promedio de Megabits por segundo.

También muestra resúmenes generales, permite el acceso a un reporte sobre los datos de las conversaciones que mantienen los protocolos dentro de una red y a partir de esto se puede obtener con una mayor precisión los paquetes capturados pertenecientes a la transmisión de streaming. Sin embargo, se debe estimar que dentro de este reporte se visualiza los paquetes Ethernet, paquetes IPv4 y paquetes UDP.

La transmisión del flujo de video utiliza el protocolo IPv4 para el establecimiento de comunicación según la configuración propia de la red y el protocolo UDP para el transporte de dichos paquetes, en el reporte de las conversaciones y de los protocolos se determina que los paquetes UDP son equivalentes al número de paquetes mostrados en el Summary del programa; como se observa en la Figura 2-3. (Arévalo Elizabeth, 2013, pp. 40)

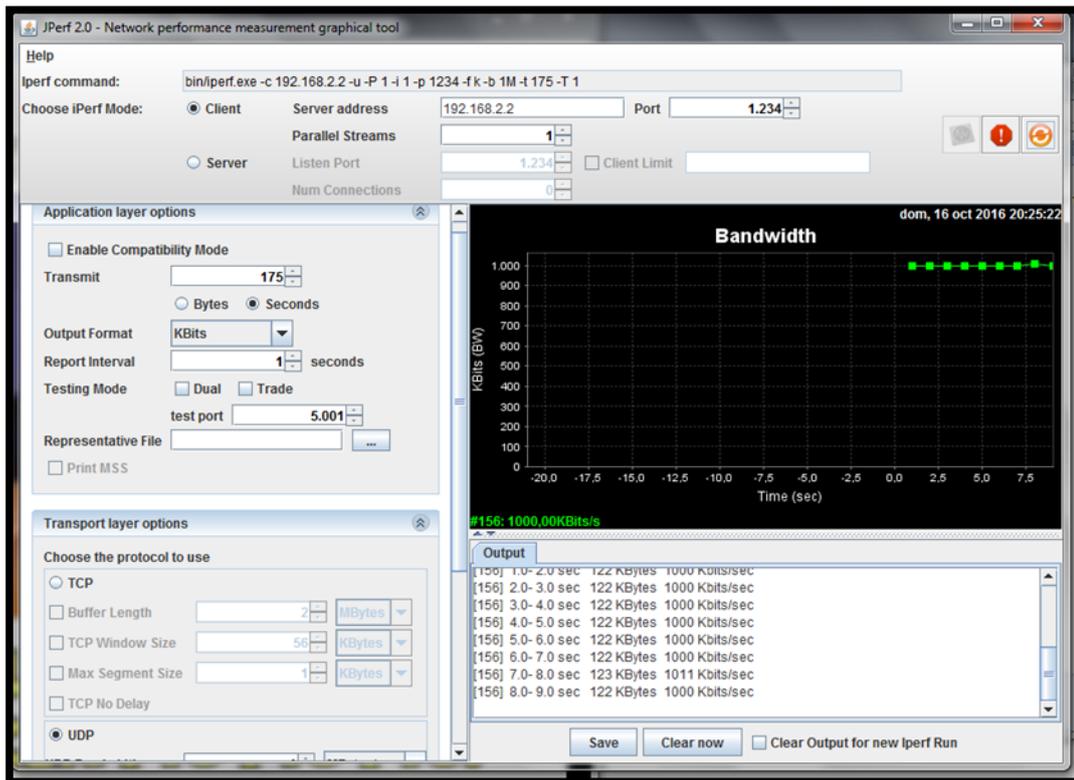


**Figura 2-3:** Conversaciones de los Protocolos durante la Transmisión Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

### 3.2.2. Iperf/ Jperf

Iperf es un programa cliente-servidor utilizado para catalogar el rendimiento de la red, mediante la medición del ancho de banda y la calidad de un enlace de red a máxima velocidad; es configurable en un sin número de plataformas. (Molina Juan, s. f, p. 50)

Es más utilizado en la medición de jitter con el protocolo UDP en conexiones multicast. Trabaja en modo consola y también se puede ejecutar mediante el CMD de Windows. (Molina Juan, s. f, p. 51)



**Figura 3-3:** Interfaz gráfica del Jperf  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

### 3.3. Alcance del Diseño

Se debe establecer los alcances del escenario de pruebas de IPTV multicast, limitando la funcionalidad de los recursos y tiempo disponible para su desarrollo en el marco de este trabajo; se establece los alcances del Laboratorio de IPTV.

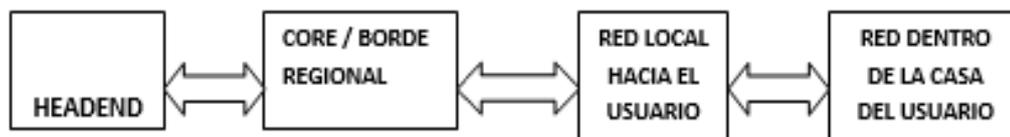
El escenario se implementó en las instalaciones del Hospital Provincial General Docente Riobamba, donde se procedió a utilizar routers Cisco de la serie 2800 para la simulación de un CORE MPLS, servidor de streaming y los clientes. Los CORE de los ISPs utilizan equipos de Cisco de gama alta especificar el modelo, pero para este trabajo se utilizó equipos existentes en el área de redes del hospital, de la serie 2800. El sistema instalado permitió el estudio de los protocolos de enrutamiento multicast en un CORE MPLS que funcione sobre el IOs de Cisco, así como el servicio de IPTV implementado sobre él y la posibilidad de analizar todo el funcionamiento que cumplen las entidades involucradas.

Se diseñó una red básica hasta conformar una arquitectura de red más compleja; cabe mencionar que por el bajo costo de la implementación se procedió a la restricción de todos los

componentes que conforman el escenario de IPTV, deberán ser constituidos a partir de proyectos de software libre ya existentes o demos de versiones comerciales.

### 3.4. Diseño de la Arquitectura

Se consideró parámetros de QoS y de QoE descritos anteriormente y se procedió al diseño de las características del escenario de IPTV, el cual cumplió con los lineamientos de la arquitectura básica usada en la industria de IPTV mostrado en la figura siguiente.



**Figura 4-3:** Modelo del Sistema IPTV  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 3.4.1. Headend

Es la fuente que contiene el contenido de video dentro del sistema; el punto central dentro de la red es el headend o súper headend, este contiene la programación de multicast o donde ingresa el contenido del video del sistema. En el escenario el contenido multimedia se precargó con videos en un servidor de streaming.

Para esta parte de la arquitectura del escenario se definio tres elementos:

##### 3.4.1.1. Servidores de Contenidos Multimedia

En la tabla siguiente se muestra las características del servidor de contenidos multimedia:

**Tabla 3-3:** Características del Servidor IPTV

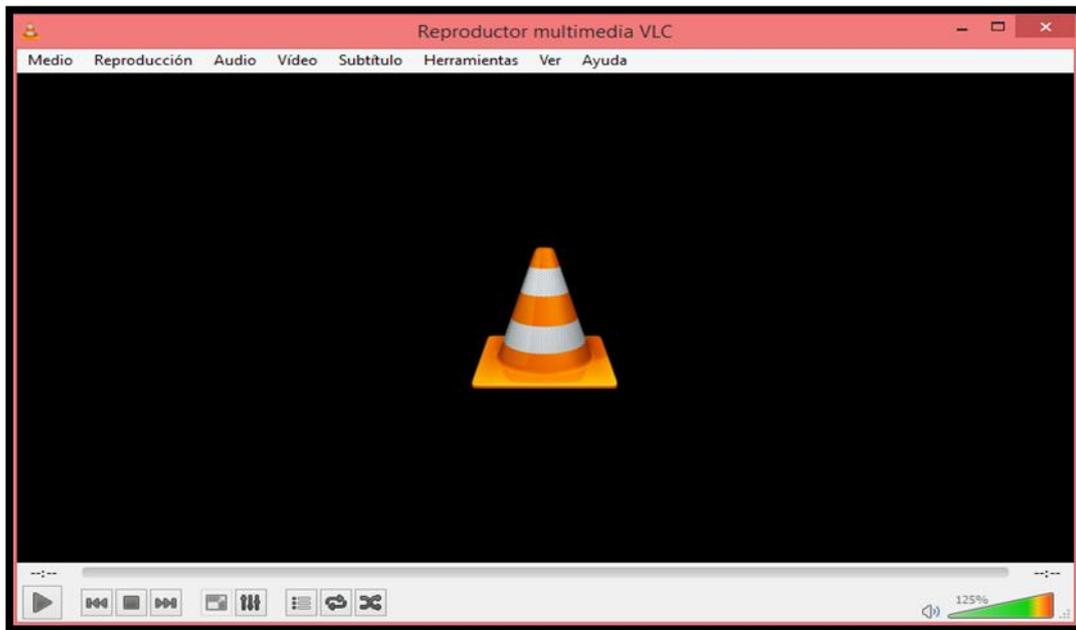
DISPOSITIVO		DESCRIPCIÓN DEL SERVIDOR IPTV
<b>Computadora 1</b>	Marca	HP Pavilion 17, serie 5000
	Procesador	Intel Core i5-6500U CPU, 2.5Ghz
	Memoria Ram	8,00 Gb (7,90 Utilizable)
	Tarjeta Gráfica	AMD Radeon R5 M335, 4096 Mb
	Disco Duro	1 Tera
	Tipo De Sistema	Sistema operativo de 64bits, procesador x64
	Sistema Operativo	Windows 10 Home

**Realizado por:** (Tene Dioselina, 2020)

#### 3.4.1.2. Software para la Emisión de los Streamings de IPTV

El programa que se utilizó en este proyecto es el reproductor multimedia *VLC que es un software libre que tiene múltiples* funciones de emisión y recepción multicast del streaming de video. La versión 2.2.1 puede establecer el número de saltos que logra proporcionar un datagrama de video antes de llegar a su destino final, mediante el parámetro *time to live* el cual puede ser configurado.

VLC es un programa que posee diferentes versiones para los diferentes Sistemas Operativos; además VLC puede transmitir audio y video en varios códecs, formatos de audio – video, en la siguiente imagen se puede observar la interfaz del programa.



**Figura 5-3:** Interfaz gráfica VLC  
**Realizado por:** (Tene Dioselina, 2020)

### 3.4.1.3. Video para la Simulación de canales de Televisión

Descripción de los Videos de prueba para la transmisión del servicio IPTV

Los videos de prueba para el escenario del servidor IPTV tienen diferentes características las cuales se adaptan a la capacidad de los enlaces.

**Tabla 4-3:** Características de los videos de Prueba para el servicio de IPTV

VIDEOS DE PRUEBA						
NÚMERO DE VIDEO	LISTA DE REPRODUCCIÓN	TIEMPO DE DURACIÓN	TAMAÑO	CÓDECS		RESOLUCIÓN
				VIDEO	AUDIO	
1	Reflexiones	0:02:55	6.67 MB	MPEG4 / H.264	MPEG2 Audio	1280 x 720
2	BBC	0:13:34	310 MB	MPEG4	MPEG Audio	720 x 576
3	Viaje al Centro de la Tierra	1:32:00	859 MB	MPEG4 / H.264	MPEG2	640 x 480

**Realizado por:** (Tene Dioselina, 2020)

### **3.4.2. Core/Borde Regional**

El núcleo de red es la capa encargada de proporcionar conectividad entre los distintos puntos de acceso (router, switch, etc). El Núcleo de Red permite enlazar diferentes servicios, como Internet, redes privadas, redes LAN o telefonía entre otros.

Al tener un Núcleo de Red para diferentes servicios, puede mejorar el rendimiento y facilita el crecimiento escalable de la red.

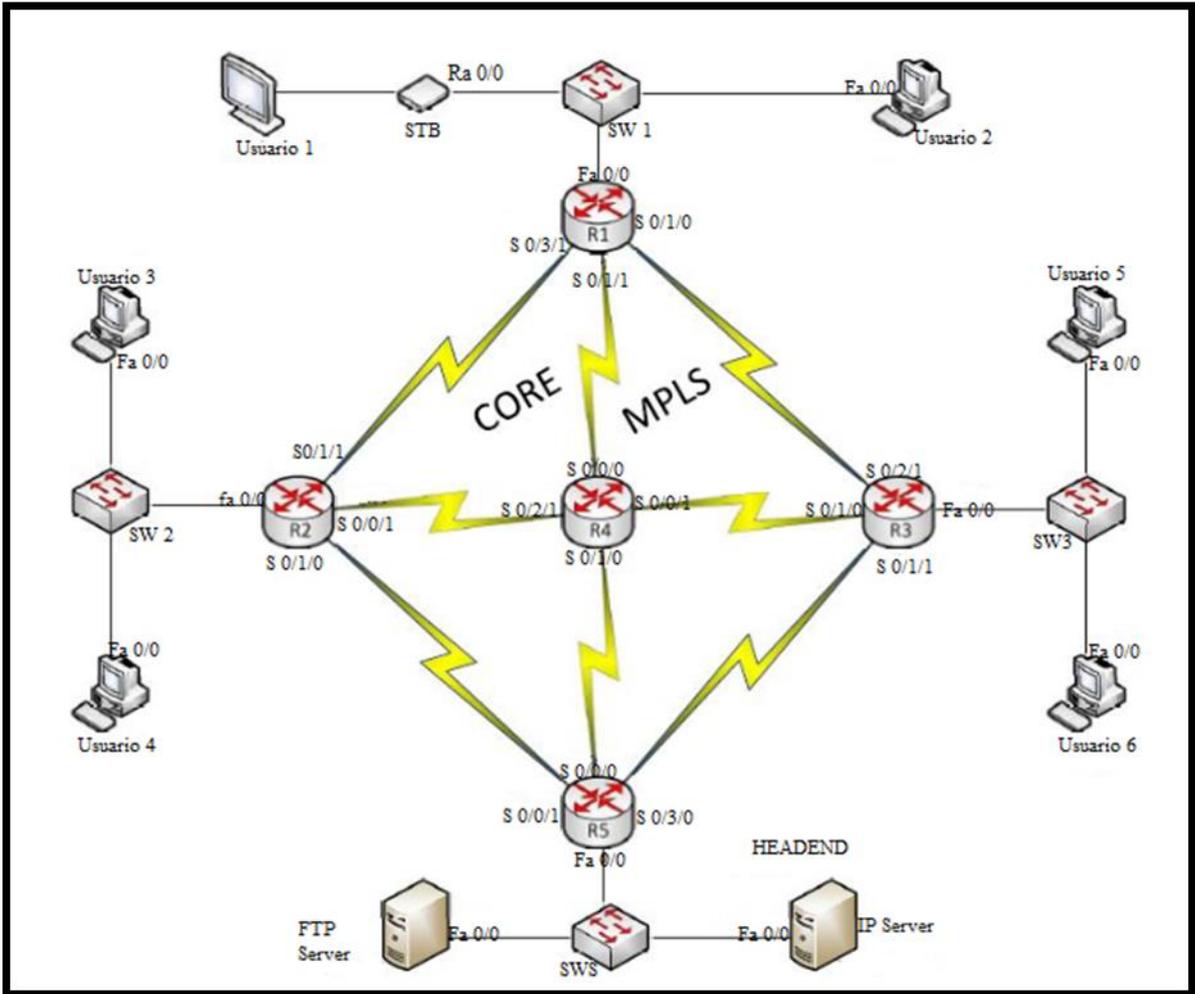
La red de acceso será la encargada de conectar una terminal con el primer punto de acceso (router, switch), que finalmente serán los encargados de conectar con el Núcleo de la Red.

Por lo tanto, si se desea enviar datos desde un terminal, este enviará los datos al router utilizando la Red de Acceso, y finalmente el router enviará los datos a su destino utilizando el Network core o Núcleo de Red. (Orozco Fausto, 2014, p. 67)

#### **3.4.2.1. Diseño**

El diseño del core del escenario de pruebas contó con una topología full mesh de cinco routers cisco catalyst 2800 series, interconectados mediante enlaces seriales v.35 de 8 Mbps, formando una red de transporte MPLS y que tienen la capacidad de transmitir tráfico multicast, el diseño de la misma se estableció de manera que permita apreciar los beneficios del uso de la tecnología multicast para la provisión de servicio de IPTV.

La figura siguiente muestra el escenario de pruebas que fue diseñado para este trabajo de investigación.



**Figura 6-3:** Escenario de pruebas  
 Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

**Tabla 5-3:** Direccionamiento usado por el Escenario

Nombre	Interfaz	Dirección IPV 4	Mascara	Default Gateway
<b>R1</b>	Serial 0/1/0	10.1.13.1	255.255.255.252	-
	Serial 0/1/1	10.1.17.2	255.255.255.252	-
	Serial 0/3/1	10.1.10.1	255.255.255.252	-
	Fa 0/0	192.168.1.1	255.255.255.0	-
<b>R2</b>	Serial 0/0/1	10.1.14.2	255.255.255.252	-
	Serial 0/1/0	10.1.11.2	255.255.255.252	-
	Serial 0/1/1	10.1.10.2	255.255.255.252	-
	Fa 0/0	192.168.2.1	255.255.255.0	-
<b>R3</b>	Serial	10.1.15.2	255.255.255.252	-

	0/1/0			
	Serial 0/1/1	10.1.12.2	255.255.255.252	-
	Serial 0/2/1	10.1.13.2	255.255.255.252	-
	Fa 0/0	192.168.4.1	255.255.255.0	-
<b>R4</b>	Serial 0/0/0	10.1.17.1	255.255.255.252	-
	Serial 0/0/1	10.1.15.1	255.255.255.252	-
	Serial 0/2/0	10.1.16.1	255.255.255.252	-
	Serial 0/2/1	10.1.14.1	255.255.255.0	-
<b>R5</b>	Serial 0/0/0	10.1.16.2	255.255.255.252	-
	Serial 0/0/1	10.1.11.1	255.255.255.252	-
	Serial 0/3/0	10.1.12.1	255.255.255.252	-
	Fa 0/0	192.168.3.1	255.255.255.0	-
<b>IPTV SERVER</b>	Fa 0/0	192.168.3.2	255.255.255.0	192.168.3.1
<b>FTP SERVER</b>	Fa 0/0	192.168.3.3	255.255.255.0	192.168.3.1
<b>STB (Usuario 1)</b>	Fa 0/0	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1
<b>Usuario 2</b>	Fa 0/0	192.168.1.11	255.255.255.0	192.168.1.1
<b>Usuario 3</b>	Fa 0/0	192.168.2.10	255.255.255.0	192.168.2.1
<b>Usuario 4</b>	Fa 0/0	192.168.2.11	255.255.255.0	192.168.2.1
<b>Usuario5</b>	Fa 0/0	192.168.4.10	255.255.255.0	192.168.4.1
<b>Usuario 6</b>	Fa 0/0	192.168.4.11	255.255.255.0	192.168.4.1

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

### 3.4.3. Red Local Hacia el Usuario

Aquí se encarga de interconectar el núcleo de la red con los respectivos clientes de la misma. En el escenario se vio la necesidad de establecer diferentes subredes donde se encontrarán los diferentes clientes de IPTV de la red, así como el servidor de contenidos multimedia. El elemento que permitirá la conexión del CORE con los usuarios finales usa switch cisco catalyst 2960.

### 3.4.3.1. SET-TOP BOX

Es el elemento que permite la recepción de la señal digital, para su posterior demodulación y para que finalmente pueda reproducirse en el televisor. El set top box que se utilizó es el “IPTV SET-TOP BOX MAG-250 MICRO” como se muestra en la figura siguiente, además se mencionan las características del mismo.



**Figura 7-3:** Set- Top Box  
**Fuente:** (Rottmann Kurt, 2010, p. 16)

- Soporta video streaming.
- Video bajo demanda
- Canales Full HD 1080p
- Procesador STi7105
- Memoria de 256 MB
- Memoria flash de 256 MB
- Sistema operativo linux 2.6.23
- Video codecs: MPEG1 / 2 MP @ HL, H.264 HP @ level 4.1, MPEG4 part 2 (ASP), WMV-9 (optional), VC1 video, XviD; HD video supporting Mbit / s and above)
- Audio codecs: MPEG-1 layer I / II, MPEG-2 layer II, MPEG-2 layer II, MPEG-2 layer III (Mp3), MPEG-2 AAC (optional), MPEG-4 AAC LC 2-ch/5.1ch (optional), MPEG-4 AAC + SBR 2-h/5.1ch (optional), Dolby Digital.
- Protocolos de streaming: RTSP, RTP, UDP, IGMP, HTTP
- Ethernet 10/100 Mbits /s.

MAG 250 está equipado con puertos USB para una fácil conexión de un adaptador Wifi, reproduce videos, fotos, permite grabar en un dispositivo de almacenamiento externo.

Las salidas HDMI y S/PDIF proveen la mejor calidad de video y de audio.

### 3.5. Implementación del Escenario de Pruebas

Se configura todos los componentes determinados durante el diseño de la red de área local. Esta labor se realizó en las siguientes etapas:

- Configurar y puesta a punto del Core MPLS con soporte de Multicast.
- Configurar y puesta a punto del sistema de IPTV básico.
- Configurar y puesta a punto del servidor de FTP, que se usa para simular tráfico de internet.

Considerando que la plataforma desarrollada tiene componentes del sistema que deben correr en equipos separados haciendo posible el análisis de la comunicación entre cada uno de ellos y de los protocolos involucrados.

En primer lugar, se implementó el CORE MPLS con los routers de la serie 2800 disponibles en el Hospital Provincial General Docente Riobamba, posteriormente en los computadores personales se instalaron los respectivos servidores y finalmente los computadores del hospital funcionaron como clientes como se muestra en la figura 8-3.



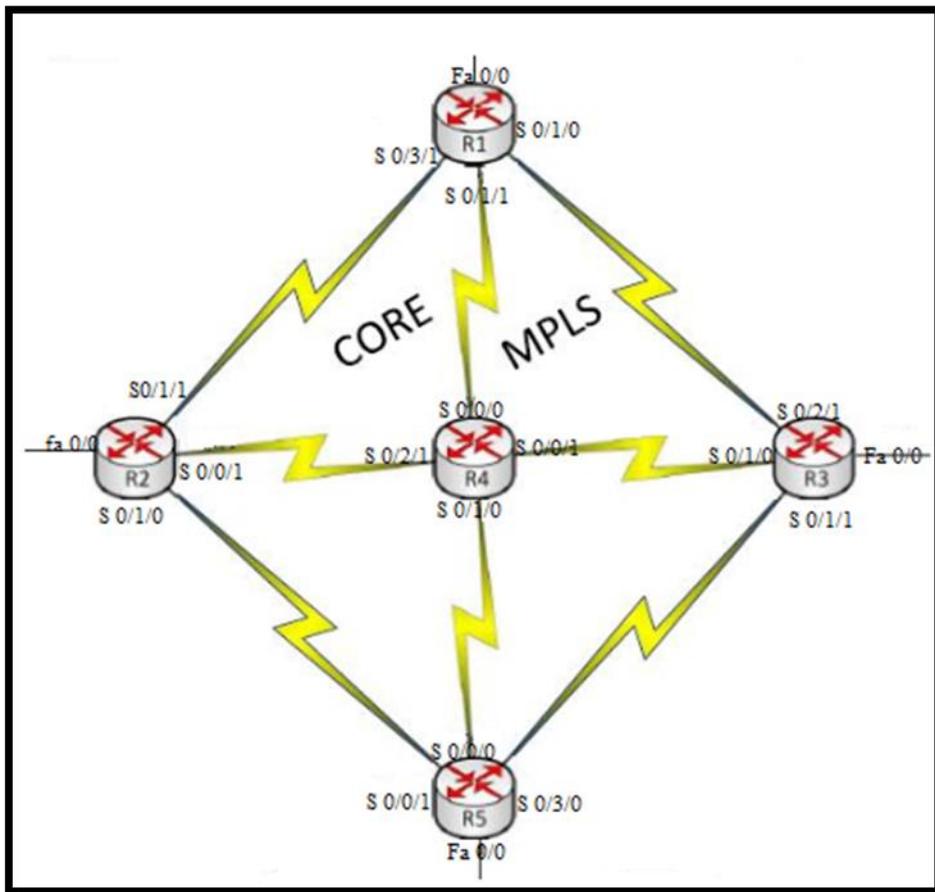
**Figura 8-3:** Escenario de Pruebas de IPTV  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

A continuación, se detallan la implementación:

### 3.5.1. Configuración del Core

El escenario de CORE se implementó en el laboratorio del Hospital Provincial General Docente Riobamba, con cinco routers Cisco de la serie 2800, interconectados mediante enlaces seriales.

La topología de esta implementación se puede apreciar en la figura siguiente:



**Figura 9-3:** CORE del Escenario de pruebas de IPTV  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

En primer lugar, se construyó el direccionamiento para el escenario en la sección 3.4.2.1, donde se procedió a configurar las respectivas interfaces de los routers con el comando siguiente:

```
Router (config-if) #ip address <<ip_address>><<network_mask>>
```

Para la conectividad de todos los routers es necesario un protocolo de enrutamiento, el protocolo usado fue OSPF, donde se declararon todas las redes que se encuentren directamente conectadas a los routers.

```
Router(config)#router ospf <<process ID>>  
Router(config-router)#<<ip_address>><<network_mask>>area <<#>>
```

Como siguiente paso se procedió a configurar MPLS en las interfaces que manejaran tráfico con etiquetas.

```
Router(config-if)#mpls label protocol ldp  
Router(config-if)# mpls ip
```

El direccionamiento de los clientes se lo puede obtener automáticamente porque en el servidor se implementó DHCP, en cada router que tenga una LAN, para evitar tráfico adicional en el core MPLS.

```
Router(config)# ip dhcp pool LANx  
Router(dhcp-config)# network 192.168.x.0 255.255.255.0  
Router(dhcp-config)# default-router 192.168.x.1  
Router(dhcp-config)# dns-server 192.168.x.1
```

En este momento el escenario está completa en cuanto a su conectividad unicast de extremo a extremo, pero todavía no tiene la capacidad de transmitir tráfico multicast para lo cual se habilitó la siguiente opción.

```
Router (config) # ip multicast-routing
```

Se procedió a la implementación de un protocolo de enrutamiento multicast para el envío de tráfico, como son PIM DM, PIM SM y PIM SM-DM, que son los protocolos soportados por el IOS de Cisco (1), con cada uno de estos se realizaron las respectivas pruebas de IPTV.

Además, se habilitó la función de comprensión de cabeceras RTP para mejorar la transmisión de este tipo de paquetes.

```
Router (config-if)# ip pim dense-mode (Habilita PIM DM en la interfaz)
```

Router (config-if)# ip tcp header-compression iphc-format (Comprime el tráfico TCPsaliente con el formato IPHC)

Router (config-if)# ip rtp header-compression iphc-format (Comprime el tráfico RTPsaliente con el formato IPHC)

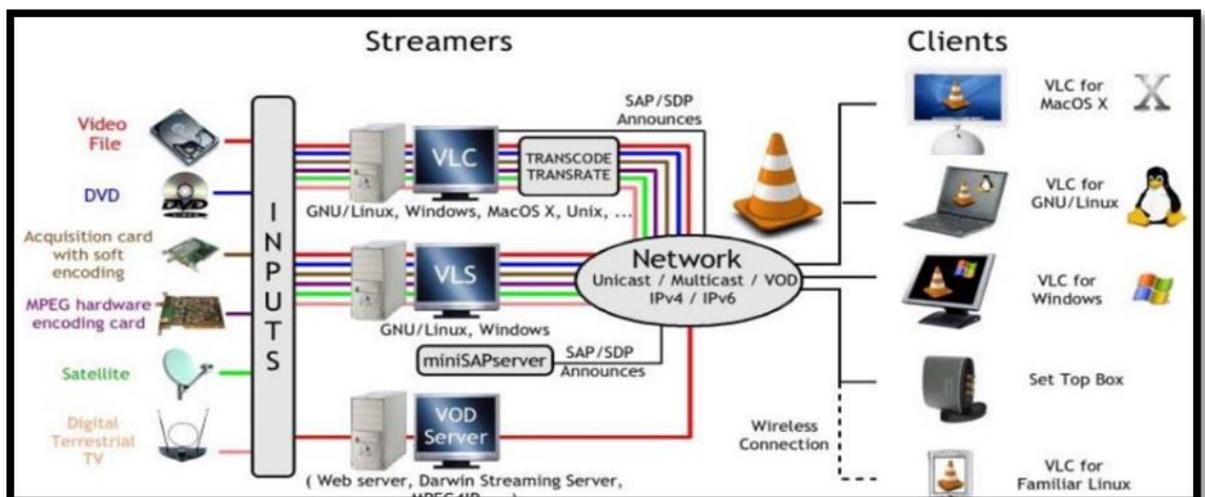
Router (config-if)# ip rtp compression-connections 256(Especifica el número total de conexiones de compresión de cabeceras RTP que puede existir en una interfaz.)

Las configuraciones de cada equipo se encontrarán en el ANEXO B.

### 3.5.2. Configuración del Sistema de IPTV

El software utilizado para que actúe como servidor de streaming es VLC media player.

VLC es un software de dominio público que permite realizar distribución de vídeo streaming por Internet, se incorporó este software al servidor y cliente lo que facilitó la tarea al tener que usar una sola aplicación para todo como se aprecia en la figura 10-3.



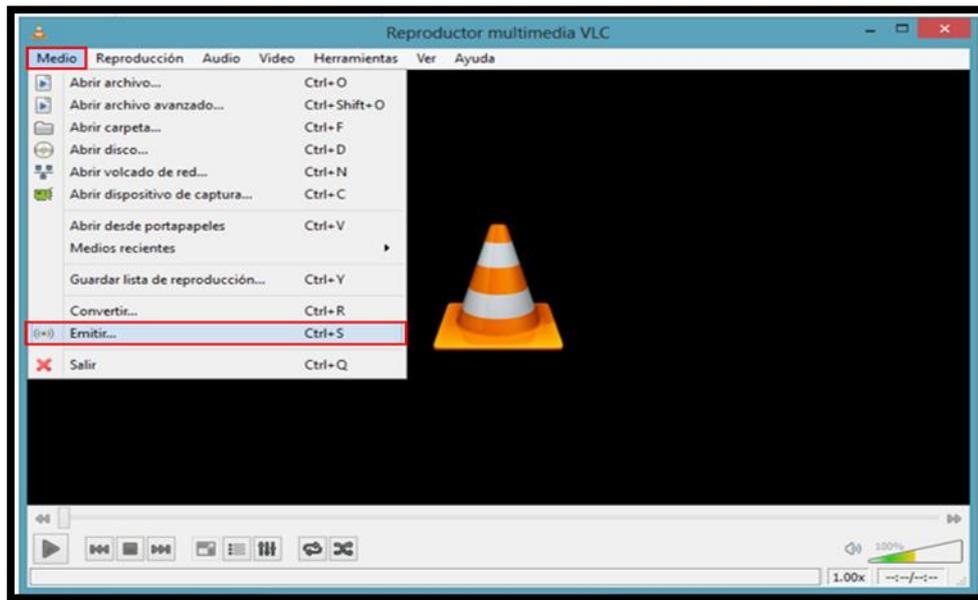
**Figura 10-3:** Video LAN Streaming solutions

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

Para poder realizar emisiones multicast con este software se siguió los siguientes pasos:

Arrancar el programa 'VLC media player' mediante doble clic en el icono correspondiente.

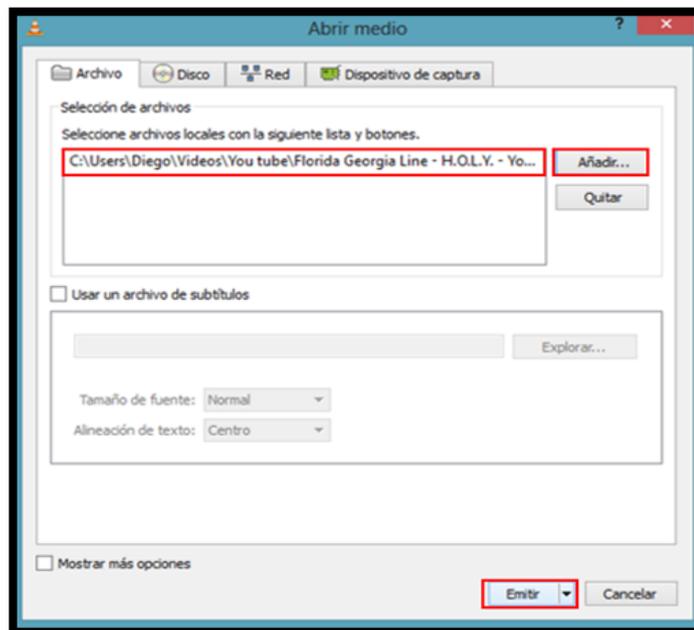
Hacer click en “Medio” y luego en “Emitir” como se observa en la figura siguiente.



**Figura 11-3:** Configuración de la Emisión en VLC  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

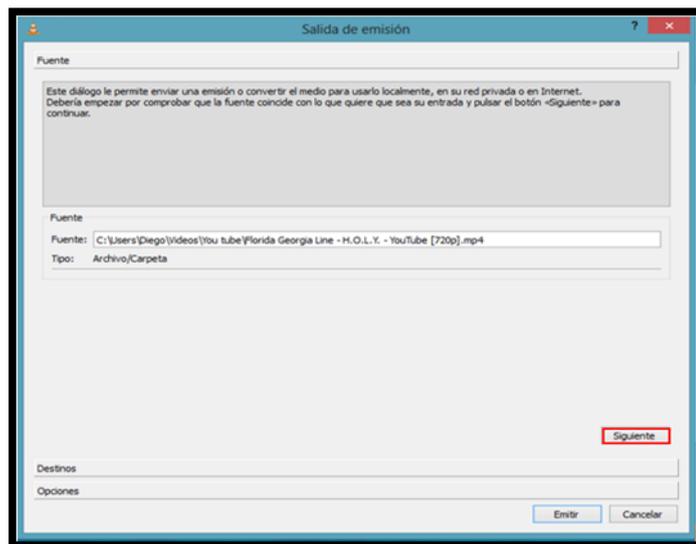
Seleccionar el archivo o archivos a Emitir por el primer canal, como se observa en la figura siguiente.

- Añadir / Elegimos el video previamente cargado / Emitir



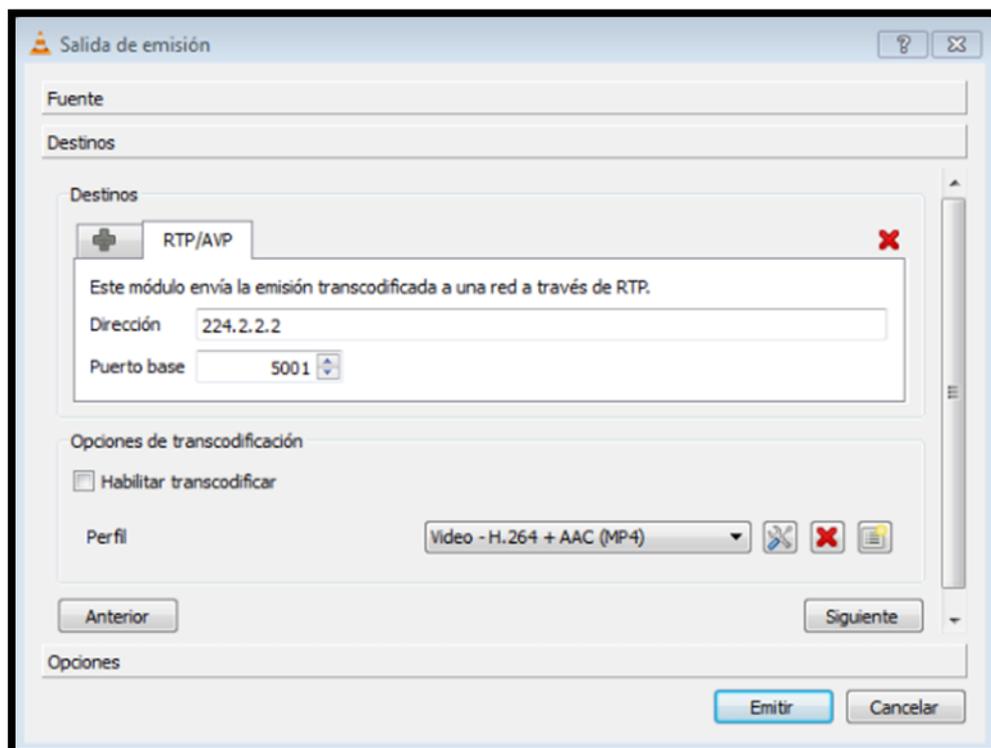
**Figura 12-3:** Ubicación de Video  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

- Siguiente



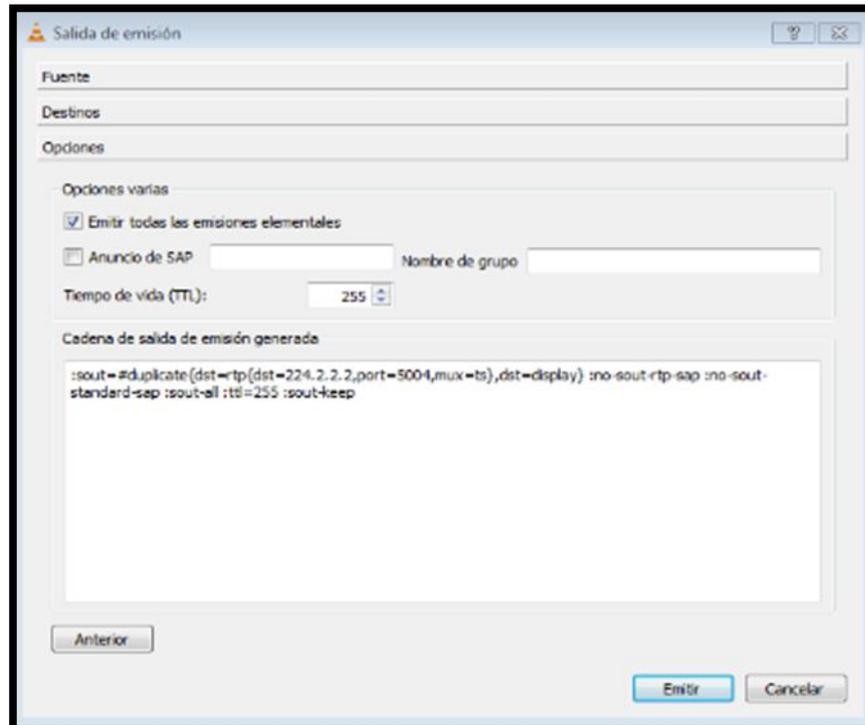
**Figura 13-3:** Confirmación de Ubicación de Video  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

Luego seleccionamos el protocolo mediante el cual se emitirá el canal, así como la dirección multicast y el puerto a usar. En este caso para el canal número 1 se usó la dirección 224.2.2.2 con el puerto 5001, y para el segundo canal la dirección 224.2.2.2 con el puerto 5004, como se observa en la figura 14-3.



**Figura 14-3:** Confirmación de Ubicación de Video  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

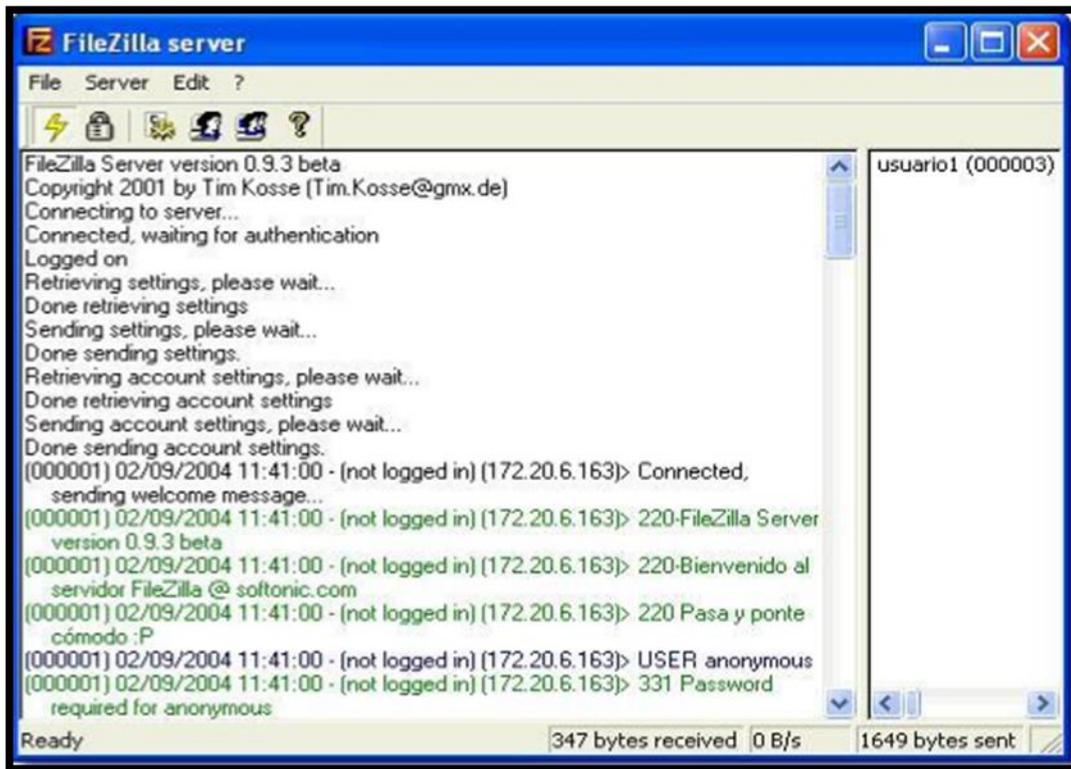
En la figura siguiente se puede observar cómo se configuró el TTL para el streaming, el cual por defecto es 1 lo que limitaría su envío solamente para un entorno LAN, por lo que se debe establecer un valor que permita que el streaming viaje por toda la red, por lo cual se estableció el valor más alto que es 255 y se comenzó a emitir.



**Figura 15-3:** Valor TTL para emitir con VLC  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

### 3.5.3. Configuración del FTP Server

Cuando el escenario de pruebas estaba listo con el funcionamiento de IPTV, es indispensable hacer las pruebas con el protocolo multicast, es necesario la introducción de la información mediante un servidor FTP, el cual permite ingresar los datos al CORE MPLS mediante la transferencia de un archivo comprimido en winrar. Para lo cual se instaló FileZilla server en un computador y en los demás PCs, FileZilla Client, cuya interfaz se puede observar en la figura siguiente.



**Figura 16-3:** FileZilla Server  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 3.5.4. Configuración del Probador *Festream*

El objetivo principal de este trabajo fue el funcionamiento de los protocolos multicast aplicados a IPTV en el escenario de pruebas; estas pruebas se las realizaron con el *software feStream probe*, del cual se contaba con un *demo* para el respectivo análisis. Para la implementación de este probador solamente se ejecutó el instalador como se observa en la figura siguiente.



**Figura 17-3:** Instalación de FeStream  
**Realizado por:** (Tene Dioselina, 2020)

feStream utiliza una interfaz Ethernet que está disponible en el PC, ya sea de 10/100 Mbits/s, 10/100/1000 Mbits/s, o WiFi. Para empezar a monitorear y probar la calidad de los streamings de IPTV, se seleccionó la interfaz de la ventana de selección de la interfaz como se muestra en la Figura siguiente.

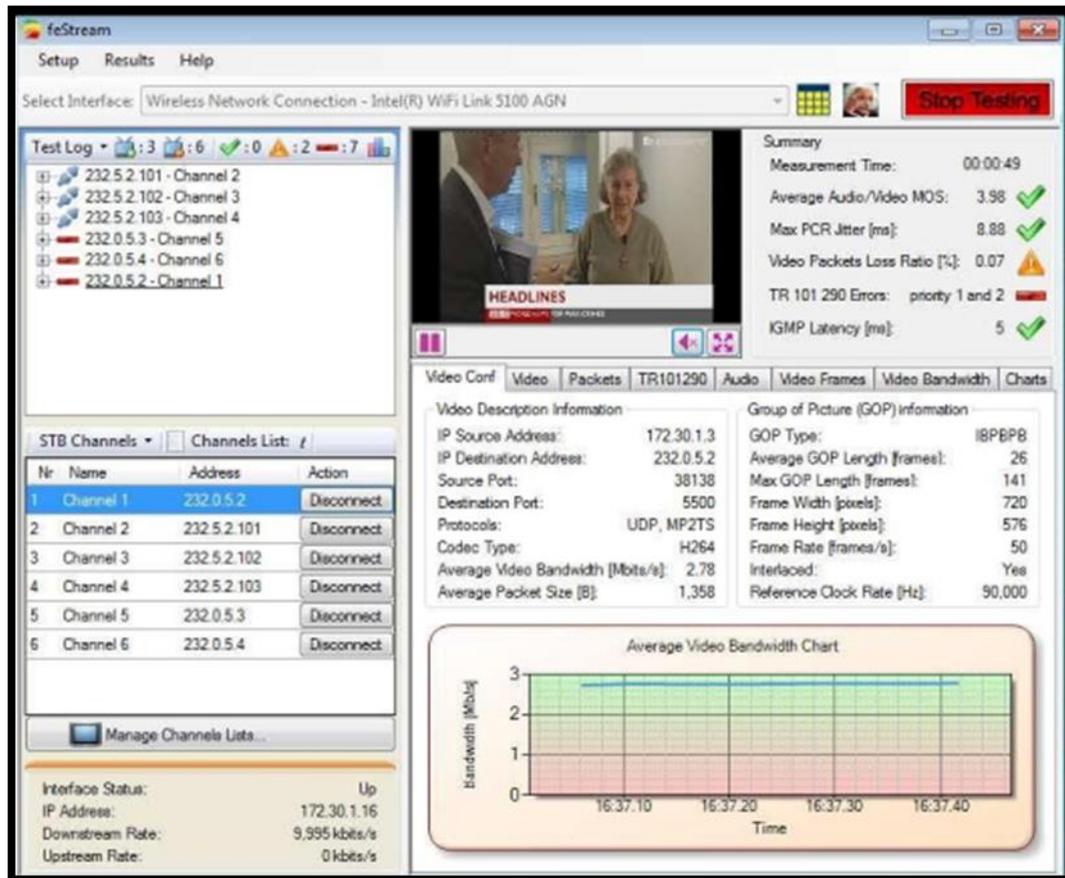


**Figura 18-3:** Selección de la Interfaz de FeStream  
**Realizado por:** (Tene Dioselina, 2020)

Los pasos a seguir para iniciar la aplicación son los siguientes:

- Conectar el cable Ethernet del origen del stream de video a la interfaz Ethernet de la PC
- Luego se procede a ejecutar el programa
- Cuando ya se ha cargado el software feStream como se observa en la figura 9-3. se debe hacer clic en el botón “Start Testing”
- Cualquier stream de IPTV presente en el cable, este se mostrará en el test log como un stream pasivo, se debe hacer clic en el que se desee analizar.

- Si se va a simular un Set-Top Box se necesita configurar una lista de canales y posteriormente hacer clic en conectar.



**Figura 19-3:** Interfaz de FeStream  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

En la figura siguiente se puede observar el escenario totalmente implementado:



**Figura 20-3:** Escenario de IPTV Implementado  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Pruebas del Escenario IPTV

Para el análisis y evaluación de resultados se utilizó el método estadístico factorial mixto de 2x3, se obtuvieron datos a través de las pruebas que se realizaron con el escenario de IPTV con los tres protocolos multicast que son:

- PIM DM
- PIM SM
- PIM SM-DM

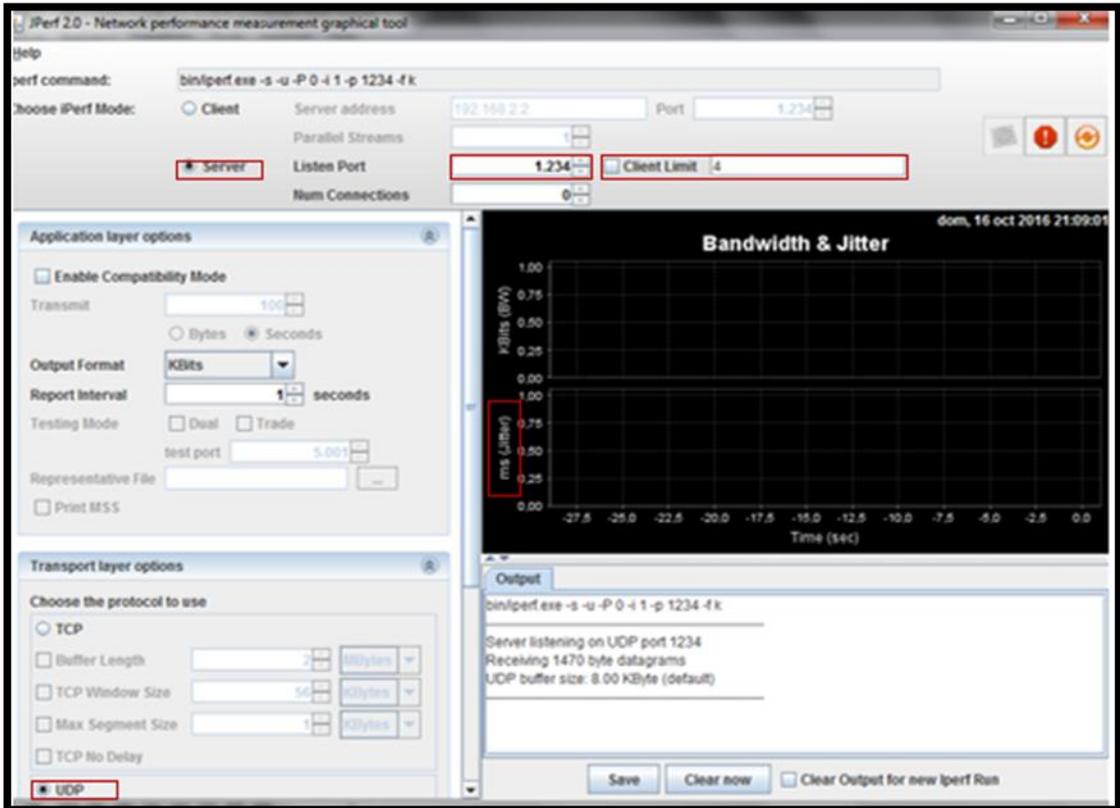
Cabe recalcar que el ancho de banda disponible para estas pruebas fue constante con un valor de 8Mbps, que es la máxima capacidad de los enlaces seriales en el equipo y para intentar simular enlaces de alto desempeño como las que usan las redes de core reales.

##### 4.1.1. Muestra de Datos

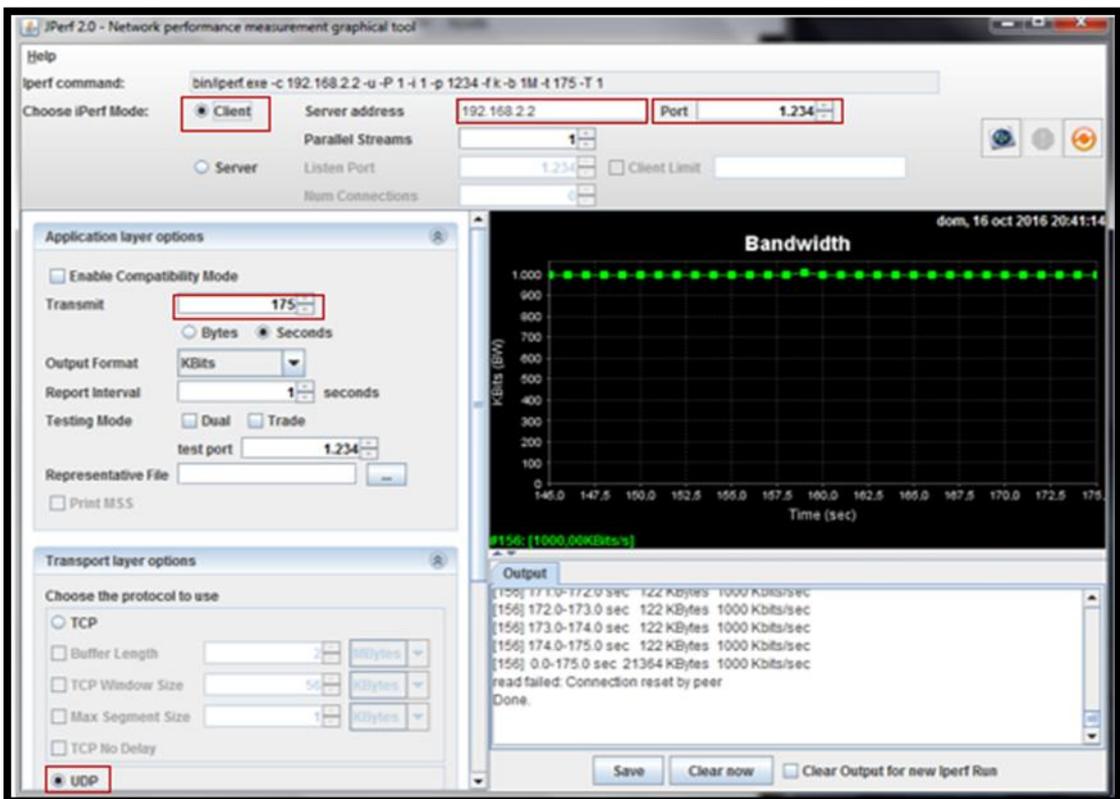
Los parámetros para el muestreo de datos se basan en la calidad del video, audio y el tiempo transmitido, para aquello hemos utilizado algunos softwares antes mencionados, que permitieron el análisis de cada uno de ellos, realizando diferentes pruebas de transmisión y consultado a los 6 usuarios sobre la calidad de la misma.







**Figura 3-4:** Interfaz gráfica del software Jperf Servidor  
 Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)



**Figura 4-4:** Interfaz gráfica del software Jperf Cliente  
 Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

Después de haber configurado todos los parámetros estipulados, empezamos la prueba generando un click en el botón Run Jperf tanto en el servidor como en el usuario.

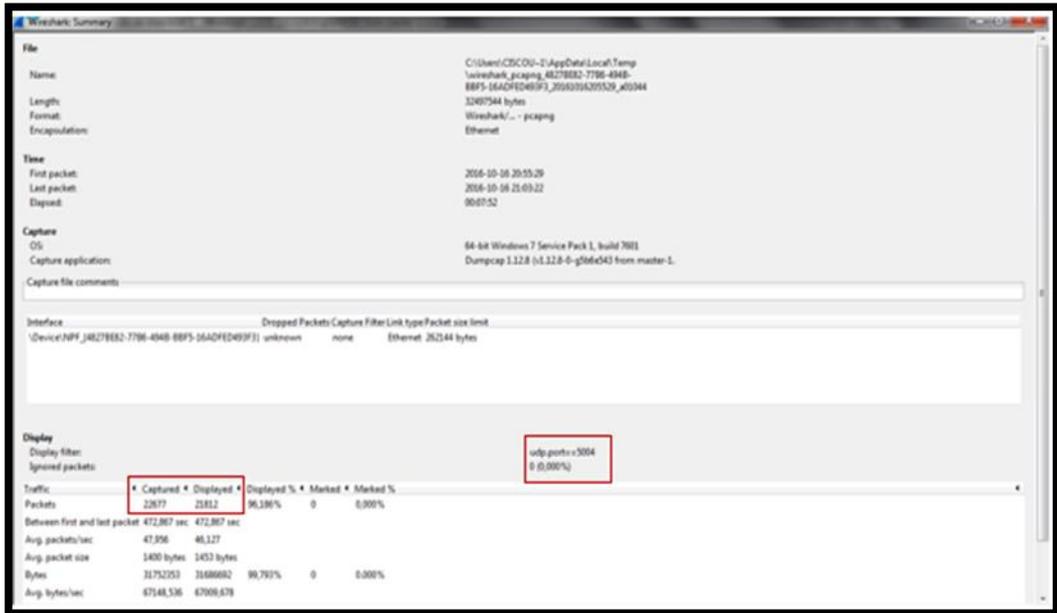
#### 4.1.1.1.3. Pérdida de Paquetes

La utilización de Wireshark nos permitió realizar un análisis de pérdida de paquetes en la transmisión que se realizó mediante el software VLC con los protocolos.

En la Figura siguiente se muestra los protocolos utilizados, los puertos utilizados y de igual manera los paquetes enviados y recibidos por lo cual pudimos determinar la pérdida de paquetes.



**Figura 5-4:** Interfaz gráfica de la pérdida de paquetes  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)



**Figura 6-4:** Interfaz gráfica de la pérdida de Paquetes  
**Realizado por:** (Tene Dioselina, 2020)

## 4.2. Análisis de los Datos Obtenidos

### 4.2.1. Retardo

**Tabla 1-4:** Datos de prueba sobre el retardo

VIDEO EN HD 720p DE CORTA DURACIÓN (2 A 10 MINUTOS)		VIDEO EN HD 576p DE MEDIA DURACIÓN (13 A 30 MINUTOS)		VIDEO EN HD 480p DE LARGA DURACIÓN (33 A 70 MINUTOS)	
PRUEBAS	RETARDO (ms)	PRUEBAS	RETARDO (ms)	PRUEBAS	RETARDO (ms)
Prueba 1	1	Prueba 1	2	Prueba 1	2
Prueba 2	1	Prueba 2	0	Prueba 2	2
Prueba 3	0	Prueba 3	1	Prueba 3	1
Prueba 4	1	Prueba 4	1	Prueba 4	1
Prueba 5	0	Prueba 5	2	Prueba 5	2
Promedio	0,6	Promedio	1,2	Promedio	1,6

**Realizado por:** (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.2.2. Jitter

Tabla 2-4: Datos de prueba sobre el Jitter

VIDEO EN HD 720p DE CORTA DURACIÓN (2 A 10 MINUTOS)		VIDEO EN HD 576p DE MEDIA DURACIÓN (13 A 30 MINUTOS)		VIDEO EN HD 480p DE LARGA DURACIÓN (33 A 60 MINUTOS)	
PRUEBAS	JITTER (ms)	PRUEBAS	JITTER (ms)	PRUEBAS	JITTER (ms)
Prueba 1	0,055	Prueba 1	0,312	Prueba 1	0,222
Prueba 2	0,06	Prueba 2	0,254	Prueba 2	0,234
Prueba 3	0,007	Prueba 3	0,006	Prueba 3	0,026
Prueba 4	1.017	Prueba 4	0	Prueba 4	0,015
Prueba 5	0,008	Prueba 5	0,021	Prueba 5	0,201
Promedio	0,229	Promedio	0,117	Promedio	0,14

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.2.3. Pérdida de Paquetes

Tabla 3-4: Datos de prueba sobre la pérdida de paquetes

VIDEO EN HD 720p DE CORTA DURACIÓN (2 A 10 MINUTOS)		VIDEO EN HD 576p DE MEDIA DURACIÓN (13-30MINUTOS)		VIDEO EN HD 480P DE LARGA DURACIÓN (33 A 60 MINUTOS)	
PRUEBAS	PÉRDIDA DE PAQUETES (%)	PRUEBAS	PÉRDIDA DE PAQUETES (%)	PRUEBAS	PÉRDIDA DE PAQUETES (%)
Prueba 1	0	Prueba 1	0,001	Prueba 1	0,007
Prueba 2	0,002	Prueba 2	0,003	Prueba 2	0,012
Prueba 3	0	Prueba 3	0	Prueba 3	0,009
Prueba 4	0,012	Prueba 4	0,014	Prueba 4	0,054
Prueba 5	0,005	Prueba 5	0,007	Prueba 5	0,047
Promedio	0,0038	Promedio	0,005	Promedio	0,028

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.2.4. Calidad de Transmisión

Este parámetro se mide por el área visual del usuario, así como también el nivel de satisfacción que viva con la transmisión tanto en audio como en video:

Para poder calificar este parámetro realizamos una encuesta a 6 personas obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-4:** Ponderación de Calificación de la Calidad de Transmisión

<b>CALIFICACIÓN</b>	
<b>Pésima</b>	1
<b>Mala</b>	2
<b>Buena</b>	3
<b>Muy buena</b>	4
<b>Excelente</b>	5

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

**Tabla 5-4:** Calificación de la Calidad de Transmisión

<b>TRANSMISIÓN ALÁMBRICA</b>		
<b>USUARIO</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	
	<b>Audio</b>	<b>Video</b>
<b>Usuario 1</b>	5	4
<b>Usuario 2</b>	4	5
<b>Usuario 3</b>	4	3
<b>Usuario 4</b>	5	4
<b>Usuario 5</b>	5	4
<b>Usuario 6</b>	4	5
<b>PROMEDIO</b>	4,5	4,16

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

### 4.3. Probador de IPTV FESTREAM

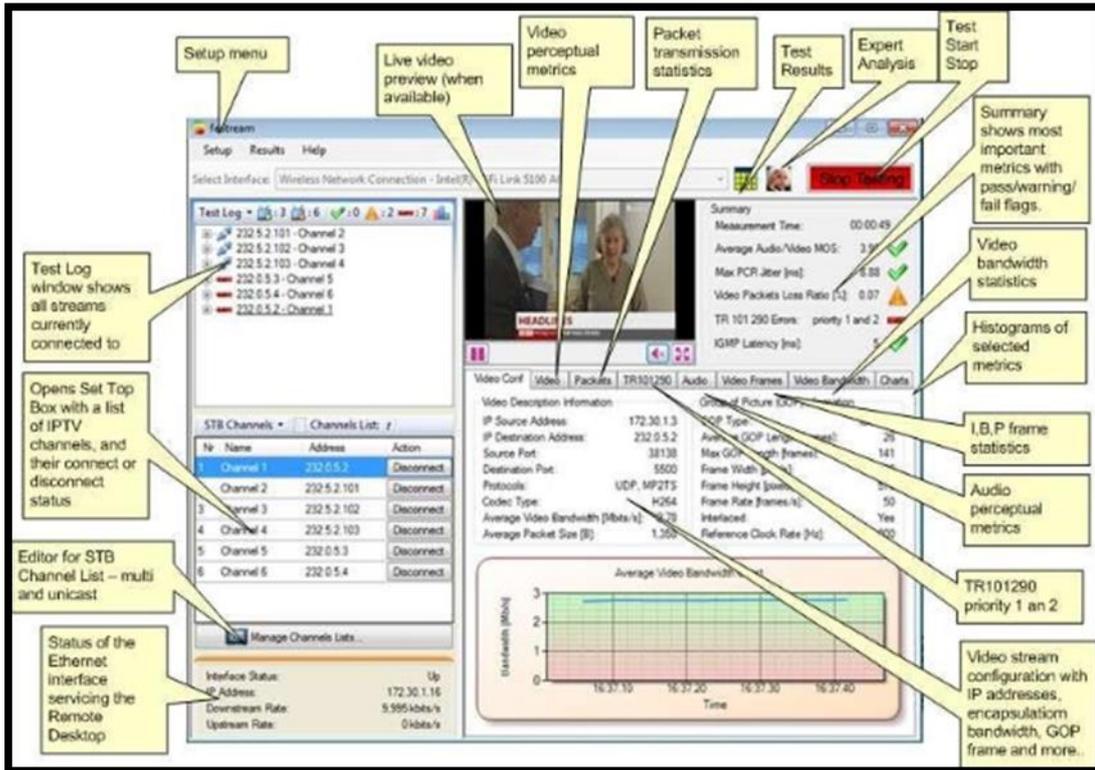
Este escenario de pruebas permitió *evaluar el rendimiento con los diferentes protocolos de enrutamiento multicast* a implementar, enfocados en la prestación del servicio de IPTV.

Este tipo de probadores se encuentran basados tanto en software como en hardware, son los más utilizados en la industria para realizar pruebas de IPTV, pero sus costos son realmente elevados, por lo que para las pruebas de los protocolos de enrutamiento multicast en el escenario se usó un probador basado en software libre para 30 días, durante el cual se realizaron las pruebas.

El nombre del probador es “feStream IPTV Expert Analyzer”, el cual es un analizador y controlador de alto rendimiento de la calidad de streams de IPTV, este está compuesto de varios elementos:

- Test logger con detección de streams de multicast y sintonizador Ethernet para la emulación de Set Top Box (STB) para streams multicast y unicast.
- Vista previa de video
- Métricas de video.
- Estadísticas de paquetes.
- Métricas de audio.
- Métricas de frame de video.
- Métricas de ancho de banda del video.
- Gráficas

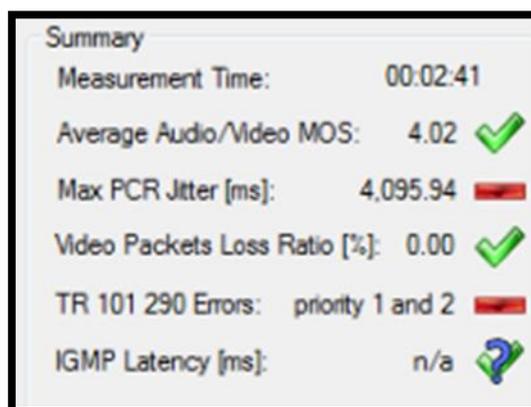
Los componentes se muestran en la figura siguiente:



**Figura 7-4:** Componentes del FESTREAM

Fuente:<http://fetest.com/newsite/portfolio/festreamxmp-expert-monitoring-probe/>

La figura siguiente muestra el cuadro con el resumen de las métricas para una evaluación de la calidad de la señal. Este resumen provee una rápida evaluación de la calidad del servicio de IPTV basándose en las variables más comunes usadas en la industria (2), las cuales son MOS Score, PCR Jitter, y Video Packet Loss.



**Figura 8-4:** Métricas usadas por FESTREAM

Fuente:<http://fetest.com/newsite/portfolio/festreamxmp-expert-monitoring-probe/>

**Tabla 6-4:** Descripción de los ítems de la categoría “Summary”

Pestaña	Categoría	Nombre de la Métrica	Rango	Descripción
Summary	Summary	Measurement Time	0 – 12 Horas	El tiempo total de duración del test en segundos desde que el botón “Start” fue oprmido hasta que se finalizó el test con “Stop”
		Average Audio/Video MOS	1.0 – 5.0	El promedio de la calidad de Audio y Video MOS, medido durante todo el streaming.
		Max PCR Jitter	ms	El PCR jitter en milisegundos
		Video Packet Loss Rate	%	La proporción total de los paquetes de transporte de streams perdidos o descartados.

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.3.1. Variables a Medir

Las variables que el programa feStream permite evaluar son audio y video, que son fundamentales *para estudios más especializados*.

*Se puede establecer que las variables de medición más comunes usadas en la industria de IPTV son:*

- “Average Audio/Video MOS”
- “Max PCR Jitter (ms)” y
- “Video Packet Loss Ratio (%)”

**Tabla 7-4:** Variables a medir con su respectivo rango de valoración

Variable	Rango	Descripción
Average Audio/Video MOS	1.0 – 5.0	Es una medida de la calidad del audio y video, calculada mediante un algoritmo especializado denominado VQMON. Donde 1 es una calidad pobre y 5 es de mejor calidad.
Max PCR Jitter (ms)	0 - ∞	Se da en milisegundos la variabilidad del tiempo de ejecución de los paquetes de

		streaming.
Video Packet Loss Ratio (%)	0 - 100	Este se mide en porcentajes la pérdida de paquetes que existen en la transmisión del stream de IPTV

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.3.1.1. Average Audio/Video MOS

Se debe realizar un análisis de varias capas del stream de paquetes de video en el extremo del receptor. Este incluye un tipo de modelo de los sistemas auditivos y visuales del ser humano, en una manera normalizada para ofrecer un análisis objetivo de los streams de vídeo que pasan a través del algoritmo de estimación VQMON.

Se define una escala de 1-5, basada en la escala de Likert para la determinación de la calidad de la transmisión de varias aplicaciones a través de una red. Esta es también la forma más común de proporcionar las métricas de calidad de vídeo las que se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 8-4:** MOS para IPTV

MOS	Calidad
5	Excelente
4	Buena
3	Razonable
2	Pobre
1	Mala

Fuente: <http://fetest.com/newsite/portfolio/festreamxmp-expert-monitoring-probe/>

A diferencia de los códecs de voz, los códecs de vídeo no tienen límites en el valor máximo posible de MOS. Las especificaciones de codificación para el códec de vídeo se utilizan como directrices y conformidad, y los vendedores son libres de diseñar codificadores para mejorar la calidad de vídeo y reducir el número de bits de transmisión. En pocas palabras, MOS para vídeo, puede variar en función de los diferentes avances en la estimación de vídeo o técnicas de codificación.

#### 4.3.1.2. MAX PCR JITTER

Las imágenes en movimiento de vídeo deben ser entregadas en tiempo real y con una tasa constante de presentación con el fin de preservar el de movimiento: pero por lo general se produce retrasos en la codificación, multiplexación y transmisión, lo que produce una cantidad de variable de retardo para los paquetes de vídeo que llega al decodificador.

Este retraso causa pérdidas en el proceso de decodificación provocando un colapso en el decodificador; el estándar MPEG-2 proporciona un mecanismo adicional para garantizar que los fotogramas de vídeo pueden ser decodificados y se entreguen al espectador con una tasa constante de pantalla, ese mecanismo es llamado PCR o reloj de referencia del programa.

PCR es fundamental para el mecanismo de recuperación de la temporización para el transporte de un stream MPEG2. El jitter en el PCR se atribuye principalmente a dos fuentes:

- jitter sistemático y
- jitter de la red.

El jitter sistemático y el jitter de la red se combinan para obtener un jitter general. El Max PCR jitter es una métrica que muestra un valor en milisegundos, representando el tiempo de la variación del retardo en la que se recibe la señal de sincronización PCR desde el encoder, para una correcta reproducción del audio y video, es decir para que los paquetes de audio sean reproducidos con sus respectivos paquetes de video. Se considera un jitter aceptable de 9-50ms.

#### 4.3.1.3. Video Packet LOSS RATE

La pérdida de paquetes puede darse debido a las limitaciones de ancho de banda o congestión de la red o debido a errores de transmisión como por ejemplo con UDP donde no se pueden recuperar los paquetes enviados. (Tapasco Martha, 2008, pp. 20)

Los streams MPEG contienen tres tipos de tramas: “trama-I”, “trama-P” y “trama-B”. Una trama-I es en la que contiene la información sobre cada pixel, una trama-P y trama-B son las que contienen información de los pixeles que difieren de los fotogramas anteriores o posteriores, respectivamente.

Si se pierde una “trama I” existe una alta probabilidad de perder el video por un corto tiempo. Si se pierde una trama B/P el impacto es menos severo, pero podría acarrear una calidad de imagen pobre.

Según feStream un rango de 0% a 2% en la pérdida de paquetes es aceptable.

#### **4.4. Consideraciones para la Ejecución de las Pruebas**

Para las pruebas de este escenario se cuenta con dos canales de transmisión debido a que cada canal SD (small definition) consume de 3 a 6Mbps de ancho de banda aproximadamente, lo cual se pudo verificar con el probador de IPTV.

En esta etapa es muy importante definir dos parámetros:

El tiempo de duración del video.

El número de veces que se repite la prueba.

La duración del video que se usó para las pruebas se las hizo en base a un estudio realizado en Norte América en el año 2013, el cual nos dice que el promedio de tiempo que la gente ve televisión en un día es máximo de 1h30 a 2 horas y mínimo 10 minutos.

En lo que respecta al número de veces que se repite la prueba, fue en base al número mínimo de muestras (20) que se exige en el método estadístico de “Diseño factorial mixto de 2x3”(6), método estadístico que se usó para la comprobación de la hipótesis.

#### **4.5. Ejecución de la Prueba**

Para la ejecución de las pruebas se plantearon cuatro experimentos (E1, E2, E3, E4) por cada protocolo, los cuales se detallan a continuación:

**E1:** Se realizó la transmisión simultánea del video de 13 minutos (BBC) por dos canales distintos, estos canales están representados por la dirección multicast 224.2.2.2 con el puerto 5001 y 5004 respectivamente. Los canales fueron sintonizados por 6 clientes, logrando de esta manera que en toda la red exista solo tráfico de IPTV. Este experimento se lo corrió por 20 veces.

**E2:** Se comenzó con la transmisión simultánea del video de 13 minutos (BBC) por dos canales distintos, estos canales están representados por la dirección multicast 224.2.2.2 con el puerto 5001 y 5004 respectivamente. Los canales fueron sintonizados por 6 clientes, los cuales además se descargaban del servidor FTP un archivo de 2GB, logrando de esta manera que en toda la red exista tráfico de IPTV y FTP. Este experimento se lo corrió por 20 veces.

**E3:** Se comenzó con la transmisión simultánea del video de 01h32 minutos (Viaje al centro de la tierra) por dos canales distintos, estos canales están representados por la dirección multicast 224.2.2.2 con el puerto 5001 y 5004 respectivamente. Los canales fueron sintonizados por 6 clientes, logrando de esta manera que en toda la red exista solo tráfico de IPTV. Este experimento se lo corrió por 20 veces.

**E4:** Se comenzó con la transmisión simultánea del video de 01h32 minutos (Viaje al centro de la tierra) por dos canales distintos, estos canales están representados por la dirección multicast 224.2.2.2 con el puerto 5001 y 5004 respectivamente. Los canales fueron sintonizados por 6 clientes, los cuales además se descargaban del servidor FTP un archivo de 2GB, logrando de esta manera que en toda la red exista tráfico de IPTV y FTP. Este experimento se lo corrió por 20 veces.

#### 4.5.1. Pruebas con el Protocolo PIM SIM

**Tabla 9-4:** Pruebas con el Protocolo PIM SIM

PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM SIM			
PRIMER EXPERIMENTO	SEGUNDO EXPERIMENTO	TERCER EXPERIMENTO	CUARTO EXPERIMENTO
<b>Duración del Video: 0:13:34</b>	Duración del Video: 0:13:34	Duración del Video: 1:32:12	Duración del Video: 1:32:12
<b>Video Codec: MPEG4</b>	Video Codec: MPEG4	Video Codec: H.264-MPEG4	Video Codec: H.264-MPEG4
<b>Audio Codec: MPEG 2/ ACC</b>	Audio Codec: MPEG 2/ ACC	Audio Codec: MP2	Audio Codec: MP2
<b>Resolución: 720 * 576</b>	Resolución: 720 * 576	Resolución: 640 * 480	Resolución: 640 * 480
<b>Tipo: Noticiero</b>	Tipo: Noticiero	Tipo: Película	Tipo: Película

<b>Trafico: IPTV</b>	Trafico: IPTV y FTP	Trafico: IPTV	Trafico: IPTV y FTP
----------------------	---------------------	---------------	---------------------

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.5.2. Pruebas con el Protocolo PIM DM

Tabla 10-4: Pruebas con el Protocolo PIM DM

PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM DM			
PRIMER EXPERIMENTO	SEGUNDO EXPERIMENTO	TERCER EXPERIMENTO	CUARTO EXPERIMENTO
<b>Duración del Video: 0:13:34</b>	Duración del Video: 0:13:34	Duración del Video: 1:32:12	Duración del Video: 1:32:12
<b>Video Codec: MPEG4</b>	Video Codec: MPEG4	Video Codec: H.264-MPEG4	Video Codec: H.264-MPEG4
<b>Audio Codec: MPEG 2/ ACC</b>	Audio Codec: MPEG 2/ ACC	Audio Codec: MP2	Audio Codec: MP2
<b>Resolución: 720 * 576</b>	Resolución: 720 * 576	Resolución: 640 * 480	Resolución: 640 * 480
<b>Tipo: Noticiero</b>	Tipo: Noticiero	Tipo: Película	Tipo: Película
<b>Trafico: IPTV</b>	Trafico: IPTV y FTP	Trafico: IPTV	Trafico: IPTV y FTP

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.5.3. Pruebas con el Protocolo PIM SM-DM

Tabla 11-4: Pruebas con el Protocolo PIM SM-DM

PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM SM-DM			
PRIMER EXPERIMENTO	SEGUNDO EXPERIMENTO	TERCER EXPERIMENTO	CUARTO EXPERIMENTO
<b>Duración del Video: 0:13:34</b>	Duración del Video: 0:13:34	Duración del Video: 1:32:12	Duración del Video: 1:32:12
<b>Video Codec: MPEG4</b>	Video Codec: MPEG4	Video Codec: H.264-MPEG4	Video Codec: H.264-MPEG4
<b>Audio Codec: MPEG 2/ ACC</b>	Audio Codec: MPEG 2/ ACC	Audio Codec: MP2	Audio Codec: MP2

<b>Resolución: 720 * 576</b>	Resolución: 720 * 576	Resolución: 640 * 480	Resolución: 640 * 480
<b>Tipo: Noticiero</b>	Tipo: Noticiero	Tipo: Película	Tipo: Película
<b>Trafico: IPTV</b>	Trafico: IPTV y FTP	Trafico: IPTV	Trafico: IPTV y FTP

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.5.4. Resultados Generales

A continuación, se muestran los resultados en los cuatro experimentos con cada protocolo.

**Tabla 12-4:** Resultados Generales

Nº Exp	Descripción	PIM SM			PIM DM			PIM SM-DM		
		MOS A/V	PCR Jitter [ms]	Video Packet Loss [%]	MOS A/V	PCR Jitter [ms]	Video Packet Loss [%]	MOS A/V	PCR Jitter [ms]	Video Packet Loss [%]
1	Video corto con trafico solo de IPTV	4,1	3,96	0	4,09	3,56	0	4,09	3,63	0
2	Video corto con tráfico de IPTV y FTP	4,04	4,44	1,81	4,07	3,75	1,64	4,07	3,5	1,8
3	Video largo con trafico solo de IPTV	3,72	27,38	0,99	3,64	27	0,74	3,72	27,06	0,86
4	Video largo con tráfico de IPTV y FTP	3,67	25,13	3,55	3,97	24,13	5,14	3,97	25,44	5,05
<b>Promedio Total</b>		<b>3,883</b>	<b>15,228</b>	<b>1,588</b>	<b>3,943</b>	<b>14,61</b>	<b>1,88</b>	<b>3,963</b>	<b>14,91</b>	<b>1,928</b>

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

A continuación, se muestran los resultados en los cuatro experimentos con cada protocolo.

#### 4.5.5. Modelo Estadístico

El análisis se lo realizo con dos factores los protocolos y el tipo de tráfico, el uno con tres niveles y el otro con dos, el método estadístico implementado fue el “Diseño factorial mixto 2x3”. Para lo cual se elaboró una matriz de datos que cumpla con este diseño.

Este análisis se realizó a un nivel de confianza del 98% como se muestra en la figura siguiente. El software estadístico que se usó fue Minitab v.16 en donde la matriz de datos fue ingresada para obtener los resultados de los diferentes experimentos.



**Figura 9-4:** Nivel de Confianza  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

##### 4.5.5.1. Diseño Factorial Mixto 2\*3

Este diseño factorial estudia la influencia simultánea de dos o más factores sobre una, o más de una variable. Cada factor puede tener dos o más valores o niveles. Cada tratamiento o condición experimental consiste en la combinación de los respectivos valores de un factor con los del otro.

Al analizar simultáneamente dos o más factores en un solo experimento se puede estudiar:

- El efecto de cada factor por separado (como si se tratara de un diseño con una sola variable).
- El efecto de la combinación de los niveles de los diferentes factores sobre la variable.

El experimento factorial más sencillo consta de dos factores con dos niveles cada uno:

Diseño factorial AxB

- A: número de niveles de un factor.
- B: número de niveles del otro factor.

A medida que aumenta el número de factores y el número de niveles de cada factor, aumenta el número de tratamientos y la dificultad para realizar, controlar e interpretar el experimento.

#### 4.5.5.1.1. *PASOS para realizar un diseño factorial:*

1°. Ver cuántos tratamientos tenemos (multiplicando los niveles de los factores).

2°. Asignar los sujetos a los tratamientos:

- Aleatoriamente.
- Mediante la técnica de bloques.

El diseño puede ser:

- Intersujeto: Aplicando todos los tratamientos a la totalidad de los sujetos.
- Intrasujeto: Aplicando cada tratamiento a sujetos distintos.
- Mixto: Aplicando unos tratamientos a los mismos sujetos y otros a sujetos distintos.

*ANÁLISIS DE DATOS:* mediante una tabla ANOVA o su equivalente no paramétrico.

#### 4.5.5.2. *Tabla ANOVA*

Como resultado del método factorial 2x3 se obtiene una tabla ANOVA, la que, en su diseño más sencillo, desarrolla un contraste de hipótesis estadísticas, que afecta simultáneamente a los valores medios o esperados de k poblaciones (variables aleatorias) con distribución normal, es decir, con idénticas varianzas.

Mediante la tabla ANOVA se realiza el análisis de la varianza (o Anova: Analysis of variance) es un método para comparar dos o más medias, que es necesario porque cuando se quiere comparar más de dos medias es incorrecto utilizar repetidamente el contraste basado en la t de Student.

**Tabla 13- 4:** Modelo de la ANOVA con sus componentes

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	F
Tratamiento (entre grupos)	$\sum_{i=1}^a Ni(\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2$	a-1	$SC_{Tratamientos}/(a - 1)$	$CM_{Tratamiento} / CM_E$
Error (dentro grupos)	$\sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2$	N-a	$SC_E / (N - a)$	
Total	$\sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$	N-1		

Por lo general los elementos de la tabla ANOVA son usados con siglas donde:

- GL: Grados de Libertad.
- MC: Media de los cuadrados.
- F: F-ratio. - es el cociente entre dos estimadores diferentes de la varianza poblacional
- P: valor p.- valor de significancia del tratamiento.

La tabla ANOVA es la que permite rechazar la hipótesis nula mediante el uso del “valor p”.

La hipótesis nula se rechaza cuando el “valor p” es menor que el valor de significancia.

La hipótesis nula no se rechaza cuando el “valor p” es mayor que el valor de significancia.

El valor de significancia en este estudio es de 0,05, ya que este análisis se realizó con un 95% de nivel de confianza.

#### 4.5.5.3. Protocolo Ganador

En caso de que dos protocolos resulten ganadores en el experimento, se procede al uso del método de comparación de medias llamado “Media Diferencia Significativa” o LSD, este procedimiento es una extensión de la prueba t de Student para el caso de comparación de dos medias con varianza ponderada. Con este método se comprueba estadísticamente cuál es el protocolo más adecuado para la transmisión de IPTV.

La Media Diferencia Significativa (LSD) se define como la diferencia mínima que podría existir entre dos medias de muestras significativamente diferentes. Para obtener la fórmula para la

DSM, se usa la prueba t de Student para la diferencia entre dos medias cuando las varianzas no son diferentes cuyos estadísticos de contraste es:

$$t = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{S_{\Delta X}}$$

Donde:

X: medias de las variables

S: Suma de las varianzas.

Además, si se considera  $n_i = n_j = n$ , entonces:

$$t = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\sqrt{\frac{2s^2}{n}}}$$

Donde:

n: número de muestras.

Si este valor calculado es mayor que el valor teórico (de tablas) la diferencia entre las medias de las variables es significativa. Así, el LSD puede considerarse como la menor de las diferencias, es decir:

$$DSM = |\bar{X}_i - \bar{X}_j| = t \sqrt{\frac{2s^2}{n}}$$

$$DSM = t_{1-\frac{\alpha}{2}, Error} \sqrt{\frac{2CM_{Error}}{n}}$$

DSM: Media Diferencia Significativa (LSD)

Este método de igual manera se encuentra disponible en el software Minitab v.16, donde solamente se debe ingresar una tabla con las medias de los protocolos. El software internamente realiza las operaciones y muestra los resultados de las fórmulas utilizadas para el cálculo del LSD como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 14-4: Fórmulas para obtener el LSD**

Fórmulas
$t/2; (k-2)(k-1)$
$\sqrt{(2 * CM_E/k)}$
LSD

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

Donde:

t = t de Student

k = constante

CME = Medias de los cuadrados del error.

Finalmente se obtiene una tabla comparativa de la varianza de las medias de los protocolos, donde se puede determinar que:

- Si el valor de LSD es mayor que la varianza de dos protocolos, estos dos son estadísticamente iguales.
- Si el valor de LSD es menor que la varianza de dos protocolos, estos dos son estadísticamente diferentes.

#### 4.5.6. Experimento 1

Se enfocó en el estudio de la variable “Calidad de Audio y Video MOS” que es una métrica perceptual que nos permite saber con exactitud lo que se espera que el suscriptor pueda ver. Se le asigna valores que van desde 1.0 hasta 5.0, siendo 1.0 una calidad pobre y 5.0 la mejor calidad.

#### 4.5.6.1. Descripción del Experimento

**Experimento.** -Se debe saber si las transmisiones de IPTV con tráfico FTP y el protocolo de enrutamiento Multicast, influye en la calidad de audio y video MOS.

**Variable Respuesta.** -Calidad de Audio y video MOS.

**Individuos.** -Streamig IPTV

**Unidad Experimental.** - Adimensional

#### 4.5.6.2. Hipótesis

Se plantearon las siguientes Hipótesis para los diferentes experimentos:

- **H0:** No existe algún efecto de los protocolos enrutamiento multicast sobre la calidad de audio y video MOS.
- **H1:** Existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre la calidad de audio y video MOS.
- **H0:** No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre la calidad de audio y video MOS.
- **H1:** Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre la calidad de audio y video MOS.
- **H0:** No existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en la red en la calidad de audio y video MOS.
- **H1:** Existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en la red en la calidad de audio y video MOS.

#### 4.5.6.3. Resultados

##### 4.5.6.3.1. Tabla ANOVA

Se obtuvo la siguiente tabla cuando se ingresó los datos al software.

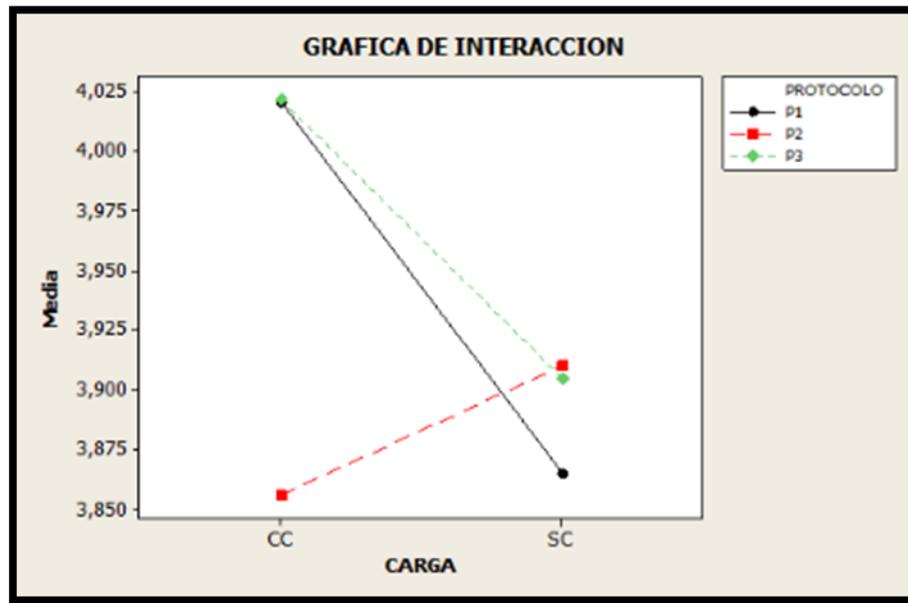
**Tabla 15-4:** Anova para la Calidad audio y Video

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Protocolo	1	0,31465	0.31465	11,38	0.001
Carga	2	0,27695	0,13847	5,01	0,007
Interacción	2	0,49445	0,24722	8,94	0
Error	234	6,4698	0,02764		
Total	239	7,55585			
<b>S=0,1663</b>			R-cuad=14,37%		R-cuad(ajustado)= 12,54%

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,001$  que es menor que el nivel de significancia 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se dice que existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre la calidad de audio y video MOS.
- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,007$  que es menor que el nivel de significancia 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se dice que existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red (Carga) sobre la calidad de audio y video MOS.
- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,00$  que es menor que el nivel de significancia 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se dice que existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en la red (Carga).

En la figura mostrada a continuación se observa que el tratamiento es el protocolo 1 (PIM DM) con carga y el protocolo 3(PIM SM-DM) con carga. Es decir que tanto el protocolo PIM-DM como el protocolo PIM SM-DM son los que mejores condiciones en calidad de audio y video MOS, aunque posea tráfico adicional en la red(carga), al tener 2 tratamientos ganadores se realizó una comparación de medias para saber si estos dos tratamientos estadísticamente son iguales.



**Figura 10-4:** Gráfica del Experimento  
 Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.5.6.4. Comparación de Medidas

Mediante el método de comparación de medias LSD se comprobó estadísticamente cuál es el protocolo adecuado para la transmisión de IPTV en lo que tiene que ver con la calidad de Audio y Video MOS. Para lo cual se ingresa la tabla, donde se tiene las medias de la métrica de calidad de audio y video MOS para los tres protocolos.

**Tabla 16-4:** Medidas de Experimento 1

Protocolos	Medidas de MOS A/V
PIM-DM	3,94
PIM-SM	3,88
PIM SM-DM	3,96

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

El software Minitab v. 16 nos muestra una tabla con los valores y fórmulas usadas para el cálculo del valor de LSD, la cual se puede observar en la tabla.

**Tabla 17-4:** Cálculo de LSD del Experimento 1

Fórmulas	
$t/2; (k-2)(k-1)$	1,97015364
$\sqrt{((2 * CM_E/k))}$	0,13576696
<b>LSD</b>	0,26748177

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

A continuación, se presenta la tabla de comparación de varianzas de los valores de cada protocolo en donde se relaciona el valor de LSD y se puede determinar si los protocolos son estadísticamente iguales o no.

**Tabla 18-4:** Determinación de igualdad del Experimento 1

$ P1 - P2 $	1,70267	Diferentes
$ P1 - P3 $	0,0595	Igual
$ P2 - P3 $	1,4321	Diferentes

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

P1: PIM DM

P2: PIM SM

P3: PIM SM-DM

El método de comparación LSD da a conocer que, con la calidad de audio y video, *el protocolo PIM-DM estadísticamente es igual al protocolo PIM SM-DM.*

#### 4.5.6.5. Protocolo Ganador

El método de comparación LSD da a conocer que los protocolos PIM DM y PIM SM-DM son los ganadores en el experimento 1, pero se determinó que el protocolo *PIM SM-DM es el ganador* al brindar una mejor calidad que PIM DM en el escenario sin tráfico adicional.

#### 4.5.7. Experimento 2

Aquí se estudia la variable “Max PCR Jitter (ms)” que es una métrica que muestra un valor en milisegundos, representando el tiempo de la variación del retardo en la que se recibe la señal de sincronización PCR desde el encoder, para una correcta reproducción del audio y video.

##### 4.5.7.1. Descripción del Experimento

**Experimento.** -Se debe saber si las transmisiones de IPTV con tráfico FTP y el protocolo de enrutamiento Multicast, influye en el Max PCR Jitter.

**Variable Respuesta.** -Max PCR Jitter...

**Individuos.** -Streamig IPTV

**Unidad Experimental.** - Milisegundos (ms)

##### 4.5.7.2. Hipótesis

- **H0:** No existe algún efecto de los protocolos enrutamiento multicast sobre el Max PCR Jitter.
- **H1:** Existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el Max PCR Jitter
- **H0:** No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el Max PCR Jitter.
- **H1:** Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el Max PCR Jitter.
- **H0:** No existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en la red en el Jitter.
- **H1:** Existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en la red en el Jitter.

#### 4.5.7.3. Resultados

##### 4.5.7.3.1. Tabla ANOVA

Se obtuvo la siguiente tabla cuando se ingresó los datos al software.

**Tabla 19-4:** Anova para el Jitter

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Protocolo	1	92,7	92,703	0,73	0,395
Carga	2	4,8	2,414	0,02	0,981
Interacción	2	4,3	2,2165	0,02	0,983
Error	234	29816,8	127,422		
Total	239	29918,7			

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,395$  que es mayor que el nivel de significancia  $0,05$  no se rechaza la hipótesis nula y se dice que no existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el Max PCR Jitter.
- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,981$  que es mayor que el nivel de significancia  $0,05$  no se rechaza la hipótesis nula y se dice que no existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que se maneje en la red (Carga) en el Max PCR Jitter.
- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,983$  que es mayor que el nivel de significancia  $0,05$  no se rechaza la hipótesis nula y se dice que no existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en la red (Carga) en el Max PCR Jitter.

#### 4.5.8. Experimento 3

En este experimento se procedió al estudio de la variable “Porcentaje de paquetes perdidos” el cual es una métrica que nos permite saber cuánto del streaming se está recibiendo en el cliente de IPTV.

#### 4.5.8.1. Descripción del Experimento

**Experimento.** -Se debe saber si las transmisiones de IPTV con tráfico FTP y el protocolo de enrutamiento Multicast, influye en la pérdida de paquetes.

**Variable Respuesta.** -Paquetes Perdidos

**Individuos.** -Streamig IPTV

**Unidad Experimental.** - Porcentaje

#### 4.5.8.2. Hipótesis

- **H0:** No existe algún efecto de los protocolos enrutamiento multicast sobre el porcentaje de paquetes perdidos.
- **H1:** Existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el porcentaje de los paquetes perdidos.
- **H0:** No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el Max PCR Jitter.
- **H1:** Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el porcentaje de paquetes perdidos.
- **H0:** No existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en los paquetes perdidos.
- **H1:** Existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en los paquetes perdidos.

#### 4.5.8.3. Resultados

##### 4.5.8.3.1. Tabla ANOVA

Se obtuvo la siguiente tabla cuando se ingresó los datos al software.

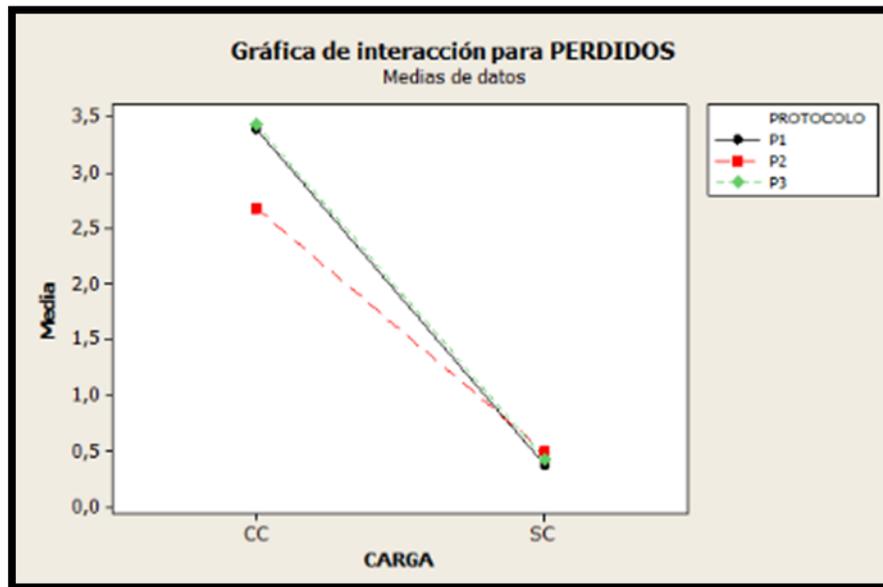
**Tabla 20-4:** Anova para paquetes perdidos

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Protocolo	1	447,72	447,72	372,81	0
Carga	2	5,425	2,713	2,26	0,107
Interacción	2	9,037	4,519	3,76	0,025
Error	234	281,019	1,201		
Total	239	734,202			

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,00$  que es menor que el nivel de significancia  $0,05$  se rechaza la hipótesis nula y se dice que existe un efecto de la cantidad de tráfico que existe en la red (carga) sobre el porcentaje de paquetes perdidos.
- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,107$  que es mayor que el nivel de significancia  $0,05$  no se rechaza la hipótesis nula y se dice que no influye en los protocolos de enrutamiento multicast sobre el porcentaje de paquetes perdidos.
- Como se muestra en la tabla ANOVA, se tiene un valor  $p = 0,025$  que es menor que el nivel de significancia  $0,05$  se rechaza la hipótesis nula y se dice que existe un efecto de interacción entre el tipo de protocolo de enrutamiento multicast y la cantidad de tráfico que existe en la red en los paquetes perdidos.

En la figura mostrada a continuación se observa que el tratamiento es el protocolo 1 (PIM DM) con carga y el protocolo 3(PIM SM-DM) con carga. Es decir que tanto el protocolo PIM-DM como el protocolo PIM SM-DM son los que mayor pérdida de paquetes presentan en el protocolo PIM SIM, al tener 2 tratamientos ganadores se realizó una comparación de medias para saber si estos dos tratamientos estadísticamente son iguales en lo que respecta a la pérdida de paquetes.



**Figura 11-4:** Gráfica del Experimento  
Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

#### 4.5.8.4. Comparación de Medidas

Mediante el método de comparación de medias LSD se comprobó estadísticamente cuál es el protocolo adecuado para la transmisión de IPTV en lo que tiene que ver con la calidad de Audio y Video MOS. Para lo cual se ingresa la tabla, donde se tiene las medias de la métrica de calidad de audio y video MOS para los tres protocolos.

**Tabla 21-4:** Medidas de Experimento 3

Protocolos	Medidas de MOS
A/V	
PIM-DM	1,88
PIM-SM	1,59
PIM SM-DM	1,93

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

El software Minitab v. 16 nos muestra una tabla con los valores y fórmulas usadas para el cálculo del valor de LSD, la cual se puede observar en la tabla.

**Tabla 22-4:** Cálculo de LSD del Experimento 3

Fórmulas	
$t/2; (k-2)(k-1)$	1,97015364
$\sqrt{((2 * CM_E/k))}$	0,89479979
<b>1,76289307</b>	0,26748177

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

A continuación, se presenta la tabla de comparación de varianzas de los valores de cada protocolo en donde se relaciona el valor de LSD y se puede determinar si los protocolos son estadísticamente iguales o no.

**Tabla 23-4:** Determinación de Igualdad del Experimento 3

$P1 - P2$	<b>1,892375</b>	Diferentes
$P1 - P3$	0,340125	Iguales
$P2 - P23$	1,927625	Diferentes

Realizado por: (Tene Dioselina, 2020)

P1: PIM DM

P2: PIM SM

P3: PIM SM-DM

El método de comparación LSD da a conocer que el porcentaje de pérdida de paquetes, el protocolo PIM-DM estadísticamente es igual al protocolo PIM SM-DM.

#### 4.5.8.5. Protocolo Ganador

El método de comparación LSD da a conocer que los protocolos PIM DM y PIM SM-DM son los ganadores en el experimento 3, pero se determinó que los dos protocolos son los que más pérdida de paquetes en una red de carga adicional por lo que se puede decir que el

protocolo *PIM SM* es el ganador, pero se dice que en entornos sin carga los tres protocolos tienen un comportamiento similar.

#### **4.5.9. Evaluación de los Elementos Ganadores de los Experimentos**

Luego de haber analizado los tres experimentos se determinó que para la implementación de multicast con MPL y brindar el servicio de IPTV:

- Se tiene como prioridad la calidad de audio y video MOS, se debe implementar el protocolo PIM SM-DM.
- Se tienen como prioridad el Max PCR Jitter se puede implementar cualquiera de los tres protocolos.
- Se tiene como prioridad la pérdida de paquetes, el protocolo que se debe implementar es el PIM SM.

La prioridad para la transmisión de IPTV es la calidad del streaming que a la vista del usuario sea la mejor, por lo que comprobando la hipótesis de esta investigación se dice que: como resultado de la investigación permitió determinar que el protocolo más adecuado para la provisión del servicio de IPTV es el protocolo PIM SM-DM.”

Se utilizo

## CONCLUSIONES

- Debido al uso de protocolos de enrutamiento Multicast el consumo de ancho de banda en una red es mínimo, esto difiere si está conectado uno a mil usuarios (receptores finales). Esto se consigue con el modelo OSI de capa 3 que convierte a cada computadora en un receptor de paquetes multicast.
- Mediante el protocolo MPLS se cumplió con los parámetros de calidad de Servicio establecidos para el servicio de IPTV mediante la utilización de encaminamiento para determinar del árbol multicast que seguirá el tráfico según su etiqueta establecida lo que da a conocer el número de saltos, ancho de banda residual y un algoritmo de señalización que permita reservar los recursos demandados por la petición, por ejemplo CR-LDP o RSVP-TE.
- Para la evaluación del servicio de IPTV se utilizó Wireshark en el cual se obtuvo los siguientes valores: Retardo de 0,9 milisegundos, Jitter de 0,104 milisegundos, la pérdida de paquetes de 0,02% y calidad de transmisión de 4,6/5, que están dentro del rango sugerido para proveer QoS en medios de transmisión.
- Después de hacer la implementación del escenario de pruebas con los protocolos PIM SIM, PIM DM y PIM SM-DM para el servicio de IPTV se pudo determinar en función de análisis estadístico "Diseño Factorial mixto" que el protocolo más adecuado para la prestación de este servicio es PIM SM-DM que a su vez permite obtener una mejor visualización de la transmisión con lo que se demuestra la hipótesis de la investigación.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los parámetros de análisis como por ejemplo el códec de audio y video sea el más liviano posible, su emisión debe contar con una tasa pequeña de emisión, pero que no afecte la calidad de estos parámetros. Esto permite consumir menor ancho de banda evitando la saturación de la red y que permita un mayor número de usuarios simultáneos sobre la misma.
- Se recomienda configurar la calidad de servicio en los enlaces que transporten voz y video, para minimizar los retardos de la red IP. Una red sin calidad de servicio realmente no podrá garantizar la entrega de los paquetes de voz y video en el menor tiempo posible.
- Se debe monitorear constantemente sobre todo el ancho de banda que está demandando la red, se debe asegurar que los equipos nunca deben estar operando al 100% de su capacidad. Si un equipo opera al 100% de su capacidad está en el límite de llegar a la sobresuscripción, provocando que el equipo deje de funcionar correctamente.
- Se recomienda el uso del protocolo de enrutamiento multicast PIM SM-DM, para la provisión del servicio de IPTV sobre MPLS.

## BIBLIOGRAFIA

- Acosta Escobar Mauro Antonio, & Treminio Henriquez Jorge Eliseo.** (2007). *Estudio de IPTV Multicasting para la universidad don Bosco*. Universidad DON BOSCO. Facultad de Ingeniería. Escuela de Computación. Recuperado a partir de [http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/405/1/38873\\_tesis.pdf](http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/405/1/38873_tesis.pdf)
- Arévalo Medina Elizabeth Fernanda, & Bejarano Criollo Ángel Leonardo.** (2013). *Evaluación de los protocolos IGP IPv4 e IPv6 soportados por el IOS de CISCO enfocado a la prestación del servicio IPTV en la ESPOCH*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica, Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes.
- Borja Saranjo Christian Alejandro, & Peña Dutan Daniel Fernando.** (2014). *Análisis e Impacto de la Incorporación de IPTV sobre una red GPON*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Ingeniería en Sistemas. Recuperado a partir de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6948/1/UPS-CT003606.pdf>
- Camposano Figueroa Daniel Alejandro, & Franco Vines Lenin Wagner** (2008). *Diseño de una red troncal en anillo de fibra óptica para el transporte de tráfico IP sobre MPLS entre ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Recuperado a partir de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/101347/D-84677.pdf>
- Cumbicus Naranjo Sonia Carlota.** (2016). *Estudio comparativo entre las plataformas tecnológicas de transmisiones IPTV y OTTTV (over the Top-TV) para brindar servicio de televisión*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17045/1/CD-7628.pdf>

**Galicia Martínez Miguel Ángel.** (s. f.). *Televisión sobre IP (IPTV) Redes de Próxima Generación NGN*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Recuperado a partir de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1130/Tesis.pdf?sequence=1>

**León Paredes Roberto Vinicio.** (2010). *Solución de transporte de información mediante una red MPLS (Multiprotocol Label Switching) basándose en la integración de circuitos virtuales en redes IP*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería en Ciencias y sistemas. Recuperado a partir de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0457\\_CS.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0457_CS.pdf)

**Martínez Rosas Gabriel Andrés, & Jaramillo Carrasco Rodrigo Emilio.** (2008). *IPTV, Análisis de las tecnologías sobre distintos medios de transmisión e impacto en el núcleo de la red causado por servicios Únicas y Multicast*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil Eléctrica. Recuperado a partir de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcim385i/doc/bmfcim385i.pdf>

**Molina Juan.** (2011). *Ancho de banda, latencia y jitter*. Barcelona, España. Recuperado a partir de <http://laneutralidaddered.blogspot.com/2011/07/ancho-de-banda-latencia-y-jitter.html>

**Orebaugh, A, G., R. (2007).** *Wireshark and Ethereal Network Protocol Analyzer Toolkit*. Massachusetts, Estados Unidos. Recuperado a partir de [https://books.google.com.ec/books?id=-AdTE9S3kigC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=-AdTE9S3kigC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

- Orozco Lara Fausto Raúl.** (2014). *Diseño de una red privada virtual con tecnología MPLS para la Carrera de Ingeniería de Networking de la Universidad de Guayaquil.* Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Recuperado a partir de: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/212/LUNA\\_JAVIER\\_MEDICION\\_ANALISIS\\_TRAFICO\\_REDES\\_MPLS.pdf?sequence=2](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/212/LUNA_JAVIER_MEDICION_ANALISIS_TRAFICO_REDES_MPLS.pdf?sequence=2)
- Pérez Yépez Luis Miguel.** (2015). *Prototipo de redes virtuales privadas basadas en la tecnología MPLS, como una alternativa optima y segura en el sistema administrativo y financiero en UNIANDES.* Ibarra, Ecuador: Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES. Facultad de Sistemas Mercantiles. Carrera de Sistemas. Recuperado a partir de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2198/1/T-UCSG-POS-MTEL-23.pdf>
- Piedra Ozuna Marcos.** (2010). *Proyecto de ingeniería en gestión de informática.* Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado a partir de [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2013/hdl\\_2072\\_206520/PiedraOsunaMarcosR-ETIGa2009-10.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2013/hdl_2072_206520/PiedraOsunaMarcosR-ETIGa2009-10.pdf)
- Rottmann Chavez Kurt Rainer.** (2010). *Diseño e Implementación de un Laboratorio de IPTV y Gestión.* Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Recuperado a partir de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103933/cf-rottmann\\_k.pdf?sequence=3](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103933/cf-rottmann_k.pdf?sequence=3)
- Tapasco Garcia Martha Odilia.** (2008). *MPLS, El presente de las redes IP.* Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Física y Sistemas. Recuperado a partir de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1311/0046T172.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Tondola Ochoa Giovanna Carolina.** (2013). *Desarrollo de una propuesta de valor para el servicio de IPTV, enfocado en productos al alcance del cliente con acceso Alámbrico e Inalámbrico.* Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello. Área de Ciencias Administrativas y Gestión. Post Grado en Administración de Empresas. Recuperado a partir de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS8519.pdf>

**Trejo Natali Bibiana.** (2008). *Departamento de Arquitectura de Computadora y Autónoma.* Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

## ANEXOS

### ANEXO A: Configuración Del Enrutamiento Ip

- Habilitar IP Multicasting routing.
- Habilitar PIM SM-DM
- Configurar Auto-RP
- Asignación del RP mapping agent
- Configuración de características de IGMP
- Configuración del umbral TTL
- Desactivar Fast Switching de IP Multicast
- Configurar PIM version 2.

#### Habilitar IP Multicasting Routing

Para habilitar el enrutamiento multicast IP en el router, se debe utilizar el siguiente comando en el modo de configuración global:

**COMANDO Router** (config) # **ip multicast-routing**

**PROPÓSITO** Habilitar IP multicast routing

#### Habilitar el PIM SM-DM

**COMANDO Router** (config - if) # **ip pim sparse-dense-mode**

**PROPÓSITO** Habilitar PIM disperso-denso sobre la interfaz.

#### Configurar AUTO-RP

**COMANDO Router** (config) # **ip pim rp-address** rp-address [access-list] [override]

**PROPÓSITO** Configura la dirección de un PIM RP

#### Asignación del RP Mapping Agent

**COMANDO Router** (config) # **ip pim send-rp-discovery scope ttl-value**

**PROPÓSITO** Asigna el agente RP mapping

### **Verificación de la Asignación de grupo a-RP**

**COMANDO Router**# **show ip pim rp [mapping | metric] [rp-address]**

**PROPÓSITO** Muestra RPs activos que se almacenan con las entradas de enrutamiento multicast asociadas. Información aprendida por la configuración Auto-RP.

### **Configuración de Características de IGMP**

#### **Configurar un Router para ser miembro de un Grupo**

**COMANDO Router** (config-if)# **ip igmp join-group group-address**

**PROPÓSITO** Unión a un grupo Multicast

#### **Control de Acceso a los grupos de Multidifusión IP**

**COMANDO Router** (config-if)# **ip igmp access-group access-list**

**PROPÓSITO** Controla los grupos multicast que pueden unirse por una interfaz

#### **Cambiando la Versión de IGMP**

**COMANDO Router** (config-if)# **ip igmp version {3 | 2 | 1} access-list**

**PROPÓSITO** Selecciona la versión IGMP que utiliza el router.

#### **Configuración del Umbral TTL**

**COMANDO Router** (config-if)# **ip multicast ttl-threshold ttl-value**

**PROPÓSITO** Configura el umbral TTL de paquetes que se reenvían fuera de la interfaz

#### **Desactivar “Fast Switching” de IP Multicast**

**COMANDO Router** (config-if)# **no ip mrouter-cache**

**PROPÓSITO** Desactiva fast switching de IP multicast

### **Configuración PIM Versión 2**

**COMANDO** Router (config-if)# ip pim version {1 | 2 }

**PROPÓSITO** Configura la versión de PIM usada

## Solución de Problemas de IP Multicast

mstat

```
Router# mstat lwei-home-ss2 171.69.58.88 224.0.255.255
Type escape sequence to abort
Mtrace from 171.69.143.27 to 171.69.58.88 via group 224.0.255.255
>From source (lwei-home-ss2.cisco.com) to destination (lwei-ss20.cisco.com)
Waiting to accumulate statistics.....
Results after 10 seconds:
```

Source	Response	Dest	Packet Statistics For	Only For Traffic
171.69.143.27	171.69.62.144		All Multicast Traffic	From 171.69.143.27
	rtt 48 ms		Lost/Sent = Pct Rate	To 224.0.255.255
v	hop 48 ms		-----	-----
171.69.143.25	lwei-cisco-isdn.cisco.com			
	ttl 1			
v	hop 31 ms	0/12 = 0%	1 pps	0/1 = --% 0 pps
171.69.121.84				
171.69.121.45	eng-frmt12-pri.cisco.com			
	ttl 2			
v	hop -17 ms	-735/12 = --%	1 pps	0/1 = --% 0 pps
171.69.121.4				
171.69.5.27	eng-cc-4.cisco.com			
	ttl 3			
v	hop -21 ms	-678/23 = --%	2 pps	0/1 = --% 0 pps
171.69.5.21				
171.69.62.130	eng-ios-2.cisco.com			
	ttl 4			
v	hop 5 ms	605/639 = 95%	63 pps	1/1 = --% 0 pps
171.69.62.144				
171.69.58.65	eng-ios-f-5.cisco.com			
	ttl 5			
v	hop 0 ms	4	0 pps	0 0 pps
171.69.58.88	171.69.62.144			
Receiver	Query Source			

Figura: Comandos mstat

mrinfo

```
Router# mrinfo
192.1.7.37 (b.cisco.com) [version cisco 11.1] [flags: PMSA]:
192.1.7.37 -> 192.1.7.34 (s.cisco.com) [1/0/pim]
192.1.7.37 -> 192.1.7.47 (d.cisco.com) [1/0/pim]
192.1.7.37 -> 192.1.7.44 (d2.cisco.com) [1/0/pim]
131.9.26.10 -> 131.9.26.9 (su.bbnplanet.net) [1/32/pim]
```

Figura: Comandos mrinfo

- P = prune-capable
- M = mtrace-capable
- S = SNMP-capable
- A = Auto-RP-capable

## Figura: Flags del Comando mtrinfo

Realizado por: (Dioselina Tene, 2018)

### mtrace

```
Router# mtrace 171.69.215.41 171.69.215.67 239.254.254.254
Type escape sequence to abort.
Mtrace from 171.69.215.41 to 171.69.215.67 via group 239.254.254.254
From source (?) to destination (?)
Querying full reverse path...
0 171.69.215.67
-1 171.69.215.67 PIM thresh^ 0 0 ms
-2 171.69.215.74 PIM thresh^ 0 2 ms
-3 171.69.215.57 PIM thresh^ 0 894 ms
-4 171.69.215.41 PIM thresh^ 0 893 ms
-5 171.69.215.12 PIM thresh^ 0 894 ms
-6 171.69.215.98 PIM thresh^ 0 893 ms
```

## Figura: Comando mtrace

### ping

```
R3# ping 239.255.0.1
Type escape sequence to abort.
Sending 1, 100-byte ICMP Echos to 239.255.0.1, timeout is 2 seconds:
Reply to request 0 from 172.16.12.2, 16 ms
Reply to request 0 from 172.16.7.2, 20 ms
```

### show ip igmp groups

```
R1# show ip igmp interface
Ethernet1 is up, line protocol is up
Internet address is 192.168.9.3/24
IGMP is enabled on interface
Current IGMP version is 2
CGMP is disabled on interface
IGMP query interval is 60 seconds
IGMP querier timeout is 120 seconds
IGMP max query response time is 10 seconds
Last member query response interval is 1000 ms
Inbound IGMP access group is not set
IGMP activity: 22 joins, 18 leaves
Multicast routing is enabled on interface
Multicast TTL threshold is 0
Multicast designated router (DR) is 192.168.9.5
IGMP querying router is 192.168.9.3 (this system)
Multicast groups joined (number of users):
  224.0.1.40(1)
```

## Figura: Comando show ip igmp groups

## Show ip igmp interface

```
R1# show ip pim neighbor
PIM Neighbor Table
Neighbor      Interface      Uptime/Expires  Ver  DR
Address
10.10.10.1    Ethernet0/0    02:19:41/00:01:38 v2   1 / DR B S
```

## Figura: Comando show ip igmp interface

### show ip pim interface

```
R1# show ip pim interface
Address      Interface      Version/Mode    Nbr  Query  DR
              Count Intvl
192.168.10.1 Ethernet0      v2/Sparse-Dense 1    30    192.168.10.2
192.168.9.3  Ethernet1      v2/Sparse-Dense 1    30    192.168.9.5
```

## Figura: Comando show ip pim interface

### show ip mroute summary

```
R1## show ip mroute summary
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, C - Connected, L - Local, P - Pruned
       R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set, J - Join SPT
       M - MSDP created entry, X - Proxy Join Timer Running
       A - Advertised via MSDP
Outgoing interface flags: H - Hardware switched
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.255.0.1), 01:57:07/00:02:59, RP 192.168.7.2, flags: SJCF
(133.33.33.32, 239.255.0.1), 01:56:23/00:02:59, flags: CJT
(192.168.9.1, 239.255.0.1), 01:57:07/00:03:27, flags: CFT

(*, 224.0.1.40), 1d00h/00:00:00, RP 192.168.7.2, flags: SJPCL
```

## Figura: Comando show ip mroute summary

### Show ip mroute

```

R1# show ip mroute
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, C - Connected, L - Local, P - Pruned
      R - RP-bit set, F - Register flag, T - SPT-bit set, J - Join SPT
      M - MSDP created entry, X - Proxy Join Timer Running
      A - Advertised via MSDP
Outgoing interface flags: H - Hardware switched
Timers: Optime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 239.255.0.1), 01:55:27/00:02:59, RP 192.168.7.2, flags: SJCF
  Incoming interface: Ethernet0, RPF nbr 192.168.10.2
  Outgoing interface list:
    Ethernet1, Forward/Sparse, 01:55:27/00:02:52

(133.33.33.32, 239.255.0.1), 01:54:43/00:02:59, flags: CJT
  Incoming interface: Ethernet0, RPF nbr 192.168.10.2
  Outgoing interface list:
    Ethernet1, Forward/Sparse, 01:54:43/00:02:52

(192.168.9.1, 239.255.0.1), 01:55:30/00:03:26, flags: CPT
  Incoming interface: Ethernet1, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    Ethernet0, Forward/Sparse, 01:55:30/00:03:12

(*, 224.0.1.40), 1d00h/00:00:00, RP 192.168.7.2, flags: SJPCL
  Incoming interface: Ethernet0, RPF nbr 192.168.10.2
  Outgoing interface list: Null

```

**Figura: Comando show ip mroute**

### Show ip mroute active

```

R1# show ip mroute active
Active IP Multicast Sources - sending >= 4 kbps

Group: 239.255.0.1, (?)
  Source: 133.33.33.32 (?)
  Rate: 10 pps/115 kbps(1sec), 235 kbps(last 23 secs), 87 kbps(life avg)

```

**Figura: Comando show ip mroute**

### Show ip rpf

```

R1# show ip rpf 133.33.33.32
RPF information for ? (133.33.33.32)
  RPF interface: Ethernet0
  RPF neighbor: ? (192.168.10.2)
  RPF route/mask: 133.33.0.0/16
  RPF type: unicast (eigrp 1)
  RPF recursion count: 0
  Doing distance-preferred lookups across tables

```

**Figura: Comando show ip mroute**

## Showip mcache

```
R1# show ip mcache
IP Multicast Fast-Switching Cache
(133.33.33.32/32, 239.255.0.1), Ethernet0, Last used: 00:00:00
  Ethernet1      MAC Header: 01005E7F000100000C13DBA90800
(192.168.9.1/32, 239.255.0.1), Ethernet1, Last used: 00:00:00
  Ethernet0      MAC Header: 01005E7F000100000C13DBA80800
```

## Figura: Comando show ip mroute

## Show ip mroute count

```
R1# show ip mroute count
IP Multicast Statistics
  routes using 2406 bytes of memory
  2 groups, 1.00 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: 2, Group pkt count: 11709
  RP-tree: Forwarding: 3/0/431/0, Other: 3/0/0
  Source: 133.33.33.32/32, Forwarding: 11225/6/1401/62, Other: 11225/0/0
  Source: 192.168.9.1/32, Forwarding: 481/0/85/0, Other: 490/0/9
  Group: 224.0.1.40, Source count: 0, Group pkt count:
```

## Figura: Comando show ip mroute

## Show ip route

```
R2# show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route
Gateway of last resort is not set
D    192.168.9.0/24 [90/307200] via 192.168.10.1, 00:59:45,    Ethernet0
C    192.168.10.0/24 is directly connected, Ethernet0
D    192.168.4.0/24 [90/11040000] via 192.168.7.1, 23:21:00,    Serial0
D    192.168.5.0/24 [90/11023872] via 192.168.7.1, 23:21:02,    Serial0
C    192.168.7.0/24 is directly connected, Serial0
D    133.33.0.0/16 [90/2195456] via 192.168.7.1, 1d23h, Serial0
D    192.168.1.0/24 [90/11552000] via 192.168.7.1, 22:41:27,    Serial0
```

## Figura: Comando show ip mroute

## Show ip pim rp mapping

```

R1# show ip pim rp mapping
PIM Group-to-RP Mappings
Group(s) 224.0.1.40/32
RP 192.168.7.2 (?), vl
Info source: local, via Auto-RP
Uptime: 2d00h, expires: never
Group(s): 224.0.0.0/4, Static
RP: 192.168.7.2 (?)

```

### Debug ip igmp

```

R1# debug ip igmp
12:32:51.065: IGMP: Send v2 Query on Ethernet1 to 224.0.0.1
12:32:51.069: IGMP: Set report delay time to 9.4 seconds for 224.0.1.40 on Ethernet1
12:32:56.909: IGMP: Received v1 Report from 192.168.9.1 (Ethernet1) for 239.255.0.1
12:32:56.917: IGMP: Starting old host present timer for 239.255.0.1 on Ethernet1
12:33:01.065: IGMP: Send v2 Report for 224.0.1.40 on Ethernet1
12:33:01.069: IGMP: Received v2 Report from 192.168.9.4 (Ethernet1) for 224.0.1.40
12:33:51.065: IGMP: Send v2 Query on Ethernet1 to 224.0.0.1

```

### Figura: Comando show ip mroute

### Debug ip mpacket

```

R1# debug ip mpacket 239.255.0.1 detail
13:09:55.973: IP: MAC sa=0000.0c70.d41e (Ethernet0), IP last-hop=192.168.10.2
13:09:55.977: IP: IP tos=0x0, len=892, id=0xD3C1, ttl=12, prot=17
13:09:55.981: IP: s=133.33.33.32 (Ethernet0) d=239.255.0.1 (Ethernet1) len 906, mforward

```

### Figura: Comando show ip mroute

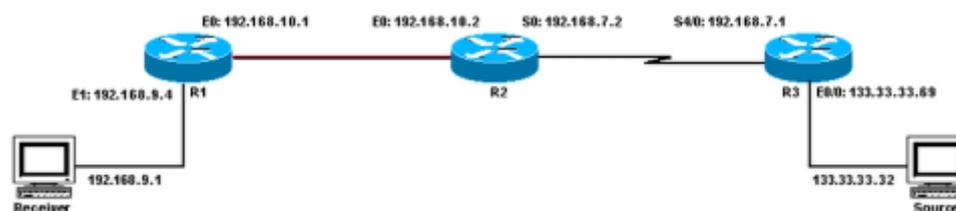
### Debug ip mrouting

```

R1# debug ip mrouting 239.255.0.1
13:17:27.821: MRI: Create (*, 239.255.0.1), RPF Null, PC 0x34F16CE
13:17:27.825: MRI: Create (133.33.33.32/32, 239.255.0.1), RPF Ethernet0/192.168.10.2,
PC 0x34F181A
13:17:30.481: MRI: Create (192.168.9.1/32, 239.255.0.1), RPF Ethernet1/0.0.0.0,
PC 0x34F18

```

### Debug ip pim



R1# debug ip pim

PIM: Send v2 Hello on Ethernet0  
PIM: Send v2 Hello on Ethernet1  
PIM: Received v2 Hello on Ethernet0 from 192.168.10.2  
PIM: Send v2 Hello on Ethernet0  
PIM: Send v2 Hello on Ethernet1  
PIM: Building Join/Prune message for 239.255.0.1  
PIM: v2, for RP, Join-list: 192.168.7.2/32, RP-bit, WC-bit, S-bit  
PIM: Send v2 periodic Join/Prune to RP via 192.168.10.2 (Ethernet0)  
PIM: Received RP-Reachable on Ethernet0 from 192.168.7.2 for group 239.255.0.1  
PIM: Update RP expiration timer (270 sec) for 239.255.0.1

## ANEXO B: Configuración Del Escenario De Pruebas

<pre>IPTV1#show run  hostname IPTV1  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.1.1 192.168.1.10  ip dhcp pool LAN1   network 192.168.1.0 255.255.255.0   default-router 192.168.1.1   dns-server 192.168.1.1  ip multicast-routing  interface FastEthernet0/0 bandwidth 1000000 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0 ip pim dense-mode duplex auto speed auto no shut  interface Serial0/1/0 bandwidth 1000000 ip address 10.1.13.1 255.255.255.252 ip pim dense-mode ip tcp header-compression iphc-format mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression iphc-format ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/1 bandwidth 1000000 ip address 10.1.17.2 255.255.255.252 ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/3/1 bandwidth 1000000 ip address 10.1.10.1 255.255.255.252 ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0</pre>	<pre>IPTV2#show run  hostname IPTV2  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.2.1 192.168.2.10  ip dhcp pool LAN2   network 192.168.2.0 255.255.255.0   default-router 192.168.2.1 ip multicast-routing  interface FastEthernet0/0 bandwidth 10000000 ip address 192.168.2.1 255.255.255.0 ip pim dense-mode duplex auto speed auto no shut  interface Serial0/0/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.14.2 255.255.255.252 ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.11.2 255.255.255.252 ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.10.2 255.255.255.252 ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 2000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0  end</pre>
--	---

<pre> IPTV3#show run  hostname IPTV3  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.4.1 192.168.4.10  ip dhcp pool LAN3   network 192.168.4.0 255.255.255.0   default-router 192.168.4.1 ip multicast-routing  interface FastEthernet0/0 bandwidth 10000000 ip address 192.168.4.1 255.255.255.0  ip pim dense-mode duplex auto speed auto no shut  interface Serial0/1/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.15.2 255.255.255.252  ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.12.2 255.255.255.252  ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.13.2 255.255.255.252  ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0 </pre>	<pre> IPTV4#show run  hostname IPTV4  ip multicast-routing  interface Serial0/0/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.17.1 255.255.255.252  ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip no fair-queue clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/0/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.15.1 255.255.255.252  ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.16.1 255.255.255.252  ip pim dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.14.1 255.255.255.252  ip pim dense-mode  mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 </pre>
--	---

```
IPTV5#show run
Building configuration...

hostname IPTV5

ip cef
ip dhcp excluded-address 192.168.3.1
192.168.3.10

ip dhcp pool LAN5
  network 192.168.3.0 255.255.255.0
  default-router 192.168.3.1

ip multicast-routing

interface FastEthernet0/0
  bandwidth 10000000
  ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
  ip pim dense-mode
  duplex auto
  speed auto
  no shut

interface Serial0/0/0
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.16.2 255.255.255.252
  ip pim dense-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

interface Serial0/0/1
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.11.1 255.255.255.252
  ip pim dense-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

interface Serial0/3/0
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.12.1 255.255.255.252
  ip pim dense-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

router ospf 1
  log-adjacency-changes
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
  network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
```

## Configuración del Protocolo PIM-SM

<pre>IPTV1#show run  hostname IPTV1  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.1.1 192.168.1.10  ip dhcp pool LAN1   network 192.168.1.0 255.255.255.0   default-router 192.168.1.1   dns-server 192.168.1.1  ip multicast-routing ip pim rp-address 10.1.17.1  interface FastEthernet0/0   bandwidth 1000000   ip address 192.168.1.1 255.255.255.0   ip pim sparse-mode   duplex auto   speed auto   no shut  interface Serial0/1/0   bandwidth 1000000   ip address 10.1.13.1 255.255.255.252   ip pim sparse-mode   ip tcp header-compression iphc-format   mpls label protocol ldp   mpls ip   ip rtp header-compression iphc-format   ip rtp compression-connections 256   no shut  interface Serial0/1/1   bandwidth 1000000   ip address 10.1.17.2 255.255.255.252   ip pim sparse-mode   mpls label protocol ldp   mpls ip   ip rtp header-compression   ip rtp compression-connections 256   no shut  interface Serial0/3/1   bandwidth 1000000   ip address 10.1.10.1 255.255.255.252   ip pim sparse-mode   mpls label protocol ldp   mpls ip   ip rtp header-compression   ip rtp compression-connections 256   no shut  router ospf 1   log-adjacency-changes   network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0   network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0</pre>	<pre>IPTV2#show run  hostname IPTV2 p cef p dhcp excluded-address 192.168.2.1 192.168.2.10 p dhcp pool LAN2   network 192.168.2.0 255.255.255.0   default-router 192.168.2.1 p multicast-routing p pim rp-address 10.1.17.1 nterface FastEthernet0/0   bandwidth 10000000   ip address 192.168.2.1 255.255.255.0   ip pim sparse-mode   duplex auto   speed auto   no shut nterface Serial0/0/1   bandwidth 10000000   ip address 10.1.14.2 255.255.255.252   ip pim sparse-mode   mpls label protocol ldp   mpls ip   ip rtp header-compression   ip rtp compression-connections 256   no shut nterface Serial0/1/0   bandwidth 10000000   ip address 10.1.11.2 255.255.255.252   ip pim sparse-mode   mpls label protocol ldp   mpls ip   clock rate 8000000   ip rtp header-compression   ip rtp compression-connections 256   no shut nterface Serial0/1/1   bandwidth 10000000   ip address 10.1.10.2 255.255.255.252   ip pim sparse-mode   mpls label protocol ldp   mpls ip   clock rate 2000000   ip rtp header-compression   ip rtp compression-connections 256   no shut router ospf 1   log-adjacency-changes   network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0   network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0</pre>
--	--

<pre> IPTV3#show run  hostname IPTV3  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.4.1 192.168.4.10  ip dhcp pool LAN3   network 192.168.4.0 255.255.255.0   default-router 192.168.4.1 ip multicast-routing ip pim rp-address 10.1.17.1  interface FastEthernet0/0 bandwidth 10000000 ip address 192.168.4.1 255.255.255.0 ip pim sparse-mode duplex auto speed auto no shut  interface Serial0/1/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.15.2 255.255.255.252 ip pim sparse-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.12.2 255.255.255.252 ip pim sparse-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.13.2 255.255.255.252 ip pim sparse-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0 </pre>	<pre> IPTV4#show run Building configuration...  hostname IPTV4  ip multicast-routing ip pim rp-address 10.1.17.1  interface Serial0/0/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.17.1 255.255.255.252 ip pim sparse-mode mpls label protocol ldp mpls ip no fair-queue clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/0/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.15.1 255.255.255.252 ip pim sparse-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.16.1 255.255.255.252 ip pim sparse-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.14.1 255.255.255.252 ip pim sparse-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 </pre>
--	--

```
IPTV5#show run

hostname IPTV5

ip cef
ip dhcp excluded-address 192.168.3.1
192.168.3.10

ip dhcp pool LAN5
  network 192.168.3.0 255.255.255.0
  default-router 192.168.3.1

ip multicast-routing
ip pim rp-address 10.1.17.1

interface FastEthernet0/0
  bandwidth 10000000
  ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
  ip pim sparse-mode
  duplex auto
  speed auto
  no shut

interface Serial0/0/0
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.16.2 255.255.255.252
  ip pim sparse-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

interface Serial0/0/1
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.11.1 255.255.255.252
  ip pim sparse-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

interface Serial0/3/0
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.12.1 255.255.255.252
  ip pim sparse-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

router ospf 1
  log-adjacency-changes
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
  network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
```

## Configuración del Protocolo PIM SM-DM

<pre>IPTV1#show run  hostname IPTV1  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.1.1 192.168.1.10  ip dhcp pool LAN1   network 192.168.1.0 255.255.255.0   default-router 192.168.1.1   dns-server 192.168.1.1  ip multicast-routing  interface FastEthernet0/0 bandwidth 1000000 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0 ip pim sparse-dense-mode duplex auto speed auto no shut  interface Serial0/1/0 bandwidth 1000000 ip address 10.1.13.1 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode ip tcp header-compression iphc-format mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression iphc-format ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/1 bandwidth 1000000 ip address 10.1.17.2 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/3/1 bandwidth 1000000 ip address 10.1.10.1 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0</pre>	<pre>IPTV2#show run  hostname IPTV2  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.2.1 192.168.2.10  ip dhcp pool LAN2   network 192.168.2.0 255.255.255.0   default-router 192.168.2.1 ip multicast-routing  interface FastEthernet0/0 bandwidth 10000000 ip address 192.168.2.1 255.255.255.0 ip pim sparse-dense-mode duplex auto speed auto no shut  interface Serial0/0/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.14.2 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.11.2 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.10.2 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 2000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0  end</pre>
--	---

<pre> IPTV3#show run  hostname IPTV3  ip cef ip dhcp excluded-address 192.168.4.1 192.168.4.10  ip dhcp pool LAN3   network 192.168.4.0 255.255.255.0   default-router 192.168.4.1 ip multicast-routing  interface FastEthernet0/0 bandwidth 10000000 ip address 192.168.4.1 255.255.255.0 ip pim sparse-dense-mode duplex auto speed auto no shut  interface Serial0/1/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.15.2 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/1/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.12.2 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.13.2 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0 </pre>	<pre> IPTV4#show run  hostname IPTV4  ip multicast-routing  interface Serial0/0/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.17.1 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip no fair-queue clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/0/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.15.1 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/0 bandwidth 10000000 ip address 10.1.16.1 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  interface Serial0/2/1 bandwidth 10000000 ip address 10.1.14.1 255.255.255.252 ip pim sparse-dense-mode mpls label protocol ldp mpls ip clock rate 8000000 ip rtp header-compression ip rtp compression-connections 256 no shut  router ospf 1 log-adjacency-changes network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0 </pre>
--	--

```
IPTV5#show run

hostname IPTV5

ip cef
ip dhcp excluded-address 192.168.3.1
192.168.3.10

ip dhcp pool LAN5
  network 192.168.3.0 255.255.255.0
  default-router 192.168.3.1

ip multicast-routing

interface FastEthernet0/0
  bandwidth 10000000
  ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
  ip pim sparse-dense-mode
  duplex auto
  speed auto
  no shut

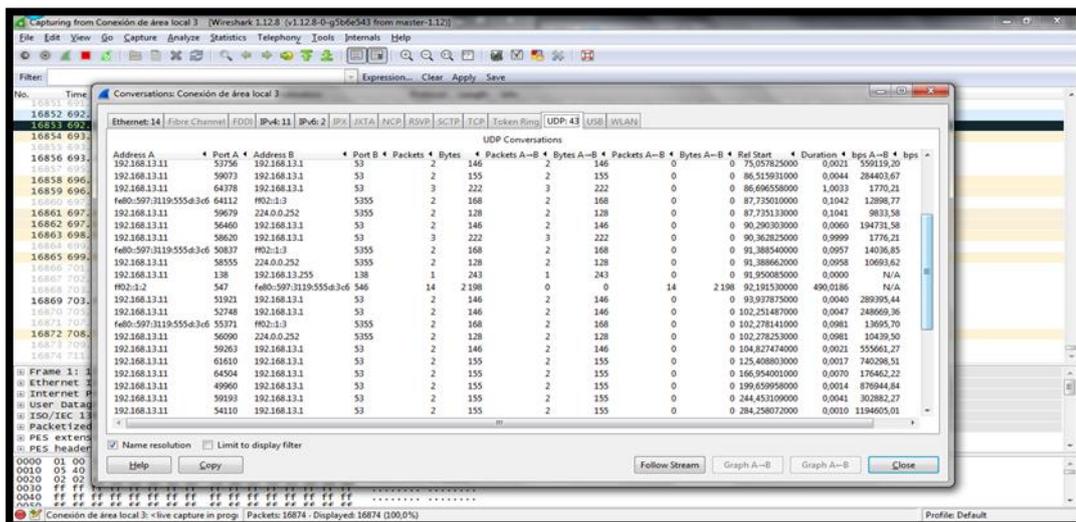
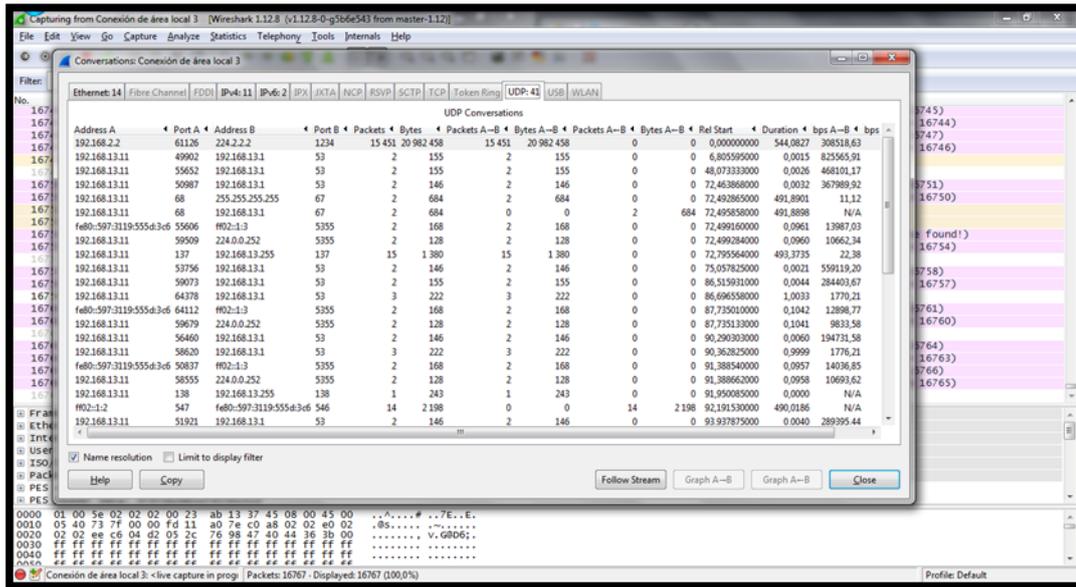
interface Serial0/0/0
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.16.2 255.255.255.252
  ip pim sparse-dense-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

interface Serial0/0/1
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.11.1 255.255.255.252
  ip pim sparse-dense-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

interface Serial0/3/0
  bandwidth 10000000
  ip address 10.1.12.1 255.255.255.252
  ip pim sparse-dense-mode
  mpls label protocol ldp
  mpls ip
  ip rtp header-compression
  ip rtp compression-connections 256
  no shut

router ospf 1
  log-adjacency-changes
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
  network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
```

# ANEXO C: WIRESHARK



Wireshark 1.12.8 (v1.12.8-0-g3b6e543 from master-112)

Filter: udp

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2630	72.59532300	192.168.13.11	224.0.0.252	LLMNR	64	Standard query 0xe6cc A wpad
2631	72.59973100	DTS 90546.219011111	PTS 90546.219011111	MPEG PE	1358	video-stream
2632	72.64984900	DTS 90546.212966666	PTS 90546.286122222	MPEG TS	1358	video-stream
2633	72.69972600	DTS 90546.312166666	PTS 90546.312166666	MPEG TS	1358	video-stream
2634	72.74960800	DTS 90546.319677777	PTS 90546.358600000	MPEG TS	1358	video-stream
2635	72.79556400	DTS 90546.353233333	PTS 90546.353233333	MPEG TS	1358	video-stream
2636	72.79968700	DTS 90543.539644444	PTS 90543.539644444	MPEG TS	1358	video-stream
2637	72.80003700	DTS 90543.539644444	PTS 90543.539644444	MPEG TS	1358	video-stream
2638	72.80049500	DTS 90543.539644444	PTS 90543.707422222	MPEG TS	1358	video-stream
2639	72.80091200	DTS 90543.640311111	PTS 90543.673866666	MPEG TS	1358	video-stream
2640	72.80136600	DTS 90543.707422222	PTS 90543.740977777	MPEG TS	1358	video-stream
2641	72.80178000	DTS 90543.808088888	PTS 90543.808088888	MPEG PE	1358	video-stream
2642	72.80222100	DTS 90543.841644444	PTS 90543.875200000	MPEG TS	1358	video-stream
2643	72.80440600	DTS 90543.975877777	PTS 90544.009433333	MPEG TS	1358	Program Association Table (PAT)
2644	72.80441000	DTS 90544.009433333	PTS 90544.177211111	MPEG TS	1358	video-stream
2645	72.80441200	DTS 90544.110100000	PTS 90544.143655555	MPEG TS	1358	video-stream
2646	72.80441400	DTS 90544.177211111	PTS 90544.244322222	MPEG TS	1358	Program Map Table (PMT)
2647	72.80441500	DTS 90544.244322222	PTS 90544.277877777	MPEG TS	1358	video-stream
2648	72.80479000	DTS 90544.244322222	PTS 90544.277877777	MPEG TS	1358	Source port: 61126 Destination port: 1234
2649	72.80514100	DTS 90544.244322222	PTS 90544.277877777	MPEG TS	1358	Source port: 61126 Destination port: 1234
2650	72.80558500	DTS 90544.244322222	PTS 90544.277877777	MPEG TS	1358	Source port: 61126 Destination port: 1234
2651	72.80593800	DTS 90544.244322222	PTS 90544.277877777	MPEG TS	1358	Source port: 61126 Destination port: 1234
2652	72.80631200	DTS 90544.244322222	PTS 90544.277877777	MPEG TS	1358	Source port: 61126 Destination port: 1234
2653	72.80666800	DTS 90544.311433333	PTS 90544.412100000	MPEG PE	1358	video-stream

Frame 2630: 64 bytes on wire (512 bits), 64 bytes captured (512 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: Hewlett-Packard (08:00:0c:27:8d:85), Dst: IPv4multicast (01:00:5e:00:00:fc)

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.13.11 (192.168.13.11), Dst: 224.0.0.252 (224.0.0.252)

User Datagram Protocol, Src Port: 59509 (59509), Dst Port: 5355 (5355)

Link-Local Multicast Name Resolution (query)

```

0000 01 00 5e 00 00 fc d4 85 64 a0 c3 85 08 00 45 00  ..^....d....E.
0010 00 32 41 98 00 00 01 11 c9 73 c0 a8 0b e0 00 00  .2A.....S.....
0020 00 fc e8 75 14 eb 00 1e 93 f8 e6 cc 00 00 01 00  ...u.....w pad....
0030 00 00 00 00 00 00 04 77 70 61 64 00 00 01 00 01  .....w pad....

```

Conexión de área local 3 - live capture in pro... Packets: 17578 - Displayed: 13626 (88.9%)

Wireshark 1.12.8 (v1.12.8-0-g3b6e543 from master-112)

Filter: udp.port==59509

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2626	72.49928400	192.168.13.11	224.0.0.252	LLMNR	64	Standard query 0xe6cc A wpad
2630	72.59532300	192.168.13.11	224.0.0.252	LLMNR	64	Standard query 0xe6cc A wpad

Conexión de área local 3 - UDP Multicast Streams

Detected 16 Multicast streams, Average Bw: 0.1 Mbps, Max Bw: 15.4 Mbps, Max burst: 142 / 100ms, Max buffer: 37.6 KB

Src IP addr	Src port	Dst IP addr	Dst port	Packets	Packets/s	Avg Bw	Max Bw	Max bursts	Burst alarms	Max buffers	Buffer alarms
192.168.13.11	59509	224.0.0.252	5355	2	20/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0
192.168.13.11	59679	224.0.0.252	5355	2	19/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0
192.168.13.11	58555	224.0.0.252	5355	2	20/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0
192.168.13.11	56900	224.0.0.252	5355	2	20/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0
192.168.13.11	54041	224.0.0.252	5355	2	20/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0
192.168.13.11	50397	224.0.0.252	5355	2	20/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0
192.168.2.2	61126	224.2.2.2	1234	6125	11/s	0.1 Mbps	7.7 Mbps	71 / 100ms	3	66.6 KB	3
192.168.2.2	61126	NONE	1234	1342	2/s	0.0 Mbps	0.3 Mbps	3 / 100ms	0	1.4 KB	0
fe80::597:3119:555:5606	m02:l:3	5355	2	20/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0	
fe80::597:3119:555:64112	m02:l:3	5355	2	19/s	0.0 Mbps	0.0 Mbps	1 / 100ms	0	0.1 KB	0	

Select a stream with left mouse button

Burst int: 100 ms, Burst alarm: 50 pps, Buffer alarm: 10000 Bytes, Stream empty speed: 5000 Kbps, Total empty speed: 100000 Kbps

Set parameters Prepare Filter Close

Frame 2630: 64 bytes on wire (512 bits), 64 bytes captured (512 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: Hewlett-Packard (08:00:0c:27:8d:85), Dst: IPv4multicast (01:00:5e:00:00:fc)

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.13.11 (192.168.13.11), Dst: 224.0.0.252 (224.0.0.252)

User Datagram Protocol, Src Port: 59509 (59509), Dst Port: 5355 (5355)

Link-Local Multicast Name Resolution (query)

```

0000 01 00 5e 00 00 fc d4 85 64 a0 c3 85 08 00 45 00  ..^....d....E.
0010 00 32 41 98 00 00 01 11 c9 73 c0 a8 0b e0 00 00  .2A.....S.....
0020 00 fc e8 75 14 eb 00 1e 93 f8 e6 cc 00 00 01 00  ...u.....w pad....
0030 00 00 00 00 00 00 04 77 70 61 64 00 00 01 00 01  .....w pad....

```

Conexión de área local 3 - live capture in pro... Packets: 17457 - Displayed: 2 (0.0%)

Wireshark 1.12.8 (v1.12.8-0-g3b6e543 from master-112)

Filter: udp.ports==1234

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
127154	629.991560192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127155	629.992001192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127156	629.9961230192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127157	629.9965490192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127158	629.997340192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127159	630.0013470192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127160	630.0017820192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127161	630.0030460192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127162	630.0061430192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127163	630.0068090192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127164	630.0111650192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127165	630.0115460192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127166	630.0124590192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127167	630.0161510192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127168	630.0165470192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127169	630.0211620192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127170	630.0217170192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127171	630.0219860192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127172	630.0261490192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127173	630.0265630192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127174	630.0274910192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127175	630.0311820192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127176	630.0315940192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234
127177	630.0361680192	168.2.2	224.2.2.2	MPEG TS	1358	Source port: 61614 Destination port: 1234

Frame 4: 1358 bytes on wire (10864 bits), 1358 bytes captured (10864 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: CiscoCm\_13:37:45 (00:23:ab:13:37:45), Dst: IPv4mcast\_02:02:02 (01:00:5e:02:02:02)

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.2 (192.168.2.2), Dst: 224.2.2.2 (224.2.2.2)

User Datagram Protocol, Src Port: 60219 (60219), Dst Port: 1234 (1234)

ISO/IEC 13818-1 PID=0x0 CC=0

MPEG2 Program Association Table

ISO/IEC 13818-1 PID=0x42 CC=0

MPEG2 Program Map Table

0000 01 00 5e 02 02 02 00 23 ab 13 37 45 08 00 45 00 ..^...# ..7E..E.  
 0010 05 40 0c ff 00 00 fd 11 07 1f c0 a8 02 02 e0 02 ..@.....  
 0020 02 02 9b 04 d2 05 2c 62 64 49 40 00 30 a6 00 .....b660..

Frame (1358 bytes) | Reassembled MP2T (941 bytes) | Reassembled MP2T (941 bytes)

Conección de área local 2 - Live capture in prog | Packets: 127177 - Displayed: 126176 (99.2%)

Wireshark 1.12.8 (v1.12.8-0-g3b6e543 from master-112)

Filter: udp

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
93485	529.2781110192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93486	529.2931550192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93487	529.3031090192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93488	529.3181010192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93489	529.3281040192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93490	529.3381030192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93491	529.3531140192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93492	529.3631040192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93493	529.3731200192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93494	529.3881130192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93495	529.3981580192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93496	529.4081070192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93497	529.4231010192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93498	529.4330990192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93499	529.4431000192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93500	529.4581010192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93501	529.4681030192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93502	529.4781080192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93503	529.4931460192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93504	529.5031140192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93505	529.5131040192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93506	529.5281000192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93507	529.5381060192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234
93508	529.5531380192	168.13.11	224.2.2.2	UDP	1512	Source port: 50301 Destination port: 1234

Frame 4: 1358 bytes on wire (10864 bits), 1358 bytes captured (10864 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: CiscoCm\_13:37:45 (00:23:ab:13:37:45), Dst: IPv4mcast\_02:02:02 (01:00:5e:02:02:02)

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.2 (192.168.2.2), Dst: 224.2.2.2 (224.2.2.2)

User Datagram Protocol, Src Port: 60219 (60219), Dst Port: 1234 (1234)

ISO/IEC 13818-1 PID=0x0 CC=0

MPEG2 Program Association Table

ISO/IEC 13818-1 PID=0x42 CC=0

MPEG2 Program Map Table

0000 01 00 5e 02 02 02 00 23 ab 13 37 45 08 00 45 00 ..^...# ..7E..E.  
 0010 05 40 0c ff 00 00 fd 11 07 1f c0 a8 02 02 e0 02 ..@.....  
 0020 02 02 9b 04 d2 05 2c 62 64 49 40 00 30 a6 00 .....b660..

Frame (1358 bytes) | Reassembled MP2T (941 bytes) | Reassembled MP2T (941 bytes)

Conección de área local 2 - Live capture in prog | Packets: 93508 - Displayed: 92652 (99.1%)

## ANEXO D: Pruebas Con El Protocolo PIM SIM

### Primer Experimento con PIM SIM

Duración del Video: 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG 2/ ACC

Resolución: 720 \* 576

Tipo: Noticiero

Trafico: IPTV

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	0:13:34	4,08	3,99	0,02
2	0:13:34	4,07	3,98	0,00
3	0:13:34	4,07	3,99	0,00
4	0:13:34	4,09	3,97	0,02
5	0:13:34	4,08	3,98	0,00
6	0:13:34	4,11	3,95	0,00
7	0:13:34	4,10	3,96	0,00
8	0:13:34	4,08	3,98	0,00
9	0:13:34	4,12	3,96	0,00
10	0:13:34	4,10	3,96	0,00
11	0:13:34	4,13	3,93	0,00
12	0:13:34	4,13	3,93	0,00
13	0:13:34	4,11	3,95	0,00
14	0:13:34	4,10	3,95	0,00
15	0:13:34	4,11	3,95	0,00
16	0:13:34	4,09	3,94	0,00
17	0:13:34	4,10	3,96	0,00
18	0:13:34	4,10	3,96	0,00
19	0:13:34	4,12	3,97	0,00
20	0:13:34	4,12	3,94	0,00
Promedio		4,10	3,96	0,00

## Segundo Experimento con PIM SIM

Duración del Video: 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG 2/ ACC

Resolución: 720 \* 576

Tipo: Noticiero

Trafico: IPTV y FTP

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	0:13:34	4,04	4,44	1,81
2	0:13:34	4,04	4,44	1,81
3	0:13:34	4,06	4,42	1,80
4	0:13:34	4,05	4,43	1,80
5	0:13:34	4,06	4,43	1,81
6	0:13:34	4,05	4,42	1,81
7	0:13:34	4,03	4,45	1,81
8	0:13:34	4,04	4,44	1,81
9	0:13:34	4,04	4,44	1,80
10	0:13:34	4,05	4,43	1,81
11	0:13:34	4,06	4,43	1,81
12	0:13:34	4,05	4,42	1,82
13	0:13:34	4,03	4,46	1,81
14	0:13:34	4,02	4,45	1,81
15	0:13:34	4,04	4,44	1,81
16	0:13:34	4,04	4,44	1,81
17	0:13:34	4,03	4,45	1,81
18	0:13:34	4,04	4,44	1,81
19	0:13:34	4,03	4,45	1,81
20	0:13:34	4,04	4,44	1,81
Promedio		4,04	4,44	1,81

### Tercero Experimento con PIM SIM

Duración del Video: 1:32:12

Video Codec: H.264-MPEG4

Audio Codec: MP2

Resolución: 640 \* 480

Tipo: Película

Trafico: IPTV

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	1:32:12	3,70	27,52	1,00
2	1:32:12	3,73	27,45	9,00
3	1:32:12	3,69	27,52	1,00
4	1:32:12	3,74	27,45	0,99
5	1:32:12	3,73	27,38	0,98
6	1:32:12	3,72	27,45	0,99
7	1:32:12	3,75	27,31	0,99
8	1:32:12	3,73	27,45	0,99
9	1:32:12	3,73	27,24	0,99
10	1:32:12	3,71	27,45	0,99
11	1:32:12	3,71	27,24	0,98
12	1:32:12	3,72	27,17	0,98
13	1:32:12	3,73	27,31	0,99
14	1:32:12	3,71	27,24	0,99
15	1:32:12	3,73	27,31	0,98
16	1:32:12	3,72	27,38	1,00
17	1:32:12	3,72	27,31	0,99
18	1:32:12	3,70	27,52	0,99
19	1:32:12	3,71	27,59	0,99
20	1:32:12	3,71	27,52	1,00
Promedio		3,72	27,38	0,99

## Cuarto Experimento con PIM SIM

Duración del Video: 1:32:12

Video Codec: H.264-MPEG4

Audio Codec: MP2

Resolución: 640 \* 480

Tipo: Película

Trafico: IPTV y FTP

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	1:32:12	3,68	25,07	3,54
2	1:32:12	3,66	25,21	3,56
3	1:32:12	3,67	25,13	3,55
4	1:32:12	3,68	25,07	3,54
5	1:32:12	3,66	25,06	3,54
6	1:32:12	3,69	25,01	3,53
7	1:32:12	3,68	25,06	3,54
8	1:32:12	3,67	25,13	3,55
9	1:32:12	3,66	25,20	3,56
10	1:32:12	3,67	25,13	3,55
11	1:32:12	3,68	25,06	3,54
12	1:32:12	3,66	25,22	3,56
13	1:32:12	3,67	25,13	3,54
14	1:32:12	3,68	25,08	3,54
15	1:32:12	3,68	25,06	3,55
16	1:32:12	3,66	25,21	3,56
17	1:32:12	3,66	25,21	3,56
18	1:32:12	3,67	25,22	3,56
19	1:32:12	3,66	25,21	3,55
20	1:32:12	3,67	25,13	3,56
Promedio		3,67	25,13	3,55

## ANEXO E: PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM DM

### Primer Experimento con PIM DM

Duración del Video: 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG 2/ ACC

Resolución: 720 \* 576

Tipo: Noticiero

Trafico: IPTV

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	0:13:34	4,06	3,59	0,00
2	0:13:34	4,07	3,58	0,00
3	0:13:34	4,08	3,57	0,00
4	0:13:34	4,09	3,56	0,00
5	0:13:34	4,10	3,55	0,01
6	0:13:34	4,12	3,53	0,00
7	0:13:34	4,11	3,54	0,00
8	0:13:34	4,10	3,55	0,00
9	0:13:34	4,08	3,57	0,00
10	0:13:34	4,06	3,56	0,00
11	0:13:34	4,09	3,59	0,00
12	0:13:34	4,09	3,56	0,00
13	0:13:34	4,08	3,57	0,00
14	0:13:34	4,08	3,58	0,00
15	0:13:34	4,07	3,57	0,00
16	0:13:34	4,09	3,54	0,01
17	0:13:34	4,11	3,56	0,00
18	0:13:34	4,11	3,54	0,00
19	0:13:34	4,10	3,55	0,00
20	0:13:34	4,11	3,54	0,00
Promedio		4,09	3,56	0,00

## Segundo Experimento con PIM DM

Duración del Video: 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG 2/ ACC

Resolución: 720 \* 576

Tipo: Noticiero

Trafico: IPTV y FTP

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	0:13:34	4,08	3,73	1,63
2	0:13:34	4,09	3,73	1,64
3	0:13:34	4,07	3,75	1,63
4	0:13:34	4,09	3,73	1,63
5	0:13:34	4,06	3,76	1,64
6	0:13:34	4,05	3,76	1,65
7	0:13:34	4,06	3,78	1,64
8	0:13:34	4,07	3,75	1,64
9	0:13:34	4,05	3,76	1,64
10	0:13:34	4,07	3,75	1,64
11	0:13:34	4,07	3,75	1,64
12	0:13:34	4,06	3,76	1,64
13	0:13:34	4,09	3,74	1,64
14	0:13:34	4,05	3,78	1,65
15	0:13:34	4,06	3,76	1,64
16	0:13:34	4,07	3,75	1,64
17	0:13:34	4,09	3,72	1,63
18	0:13:34	4,07	3,75	1,64
19	0:13:34	4,08	3,74	1,64
20	0:13:34	4,07	3,75	1,64
Promedio		4,07	3,75	1,64

### Tercero Experimento con PIM DM

Duración del Video: 1:32:12

Video Codec: H.264-MPEG4

Audio Codec: MP2

Resolución: 640 \* 480

Tipo: Película

Trafico: IPTV

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	1:32:12	3,67	25,90	0,71
2	1:32:12	3,63	27,19	0,75
3	1:32:12	3,64	27,22	0,74
4	1:32:12	3,65	27,15	0,75
5	1:32:12	3,64	26,93	0,74
6	1:32:12	3,65	26,93	0,74
7	1:32:12	3,64	27,15	0,74
8	1:32:12	3,65	26,93	0,74
9	1:32:12	3,63	27,17	0,74
10	1:32:12	3,64	27,11	0,74
11	1:32:12	3,64	27,13	0,74
12	1:32:12	3,63	27,19	0,75
13	1:32:12	3,68	25,85	0,71
14	1:32:12	3,65	26,99	0,74
15	1:32:12	3,62	27,19	0,75
16	1:32:12	3,63	27,19	0,75
17	1:32:12	3,63	27,19	0,75
18	1:32:12	3,64	27,12	0,74
19	1:32:12	3,63	27,12	0,74
20	1:32:12	3,61	27,23	0,75
Promedio		3,64	27,00	0,74

## Cuarto Experimento con PIM DM

Duración del Video: 1:32:12

Video Codec: H.264-MPEG4

Audio Codec: MP2

Resolución: 640 \* 480

Tipo: Película

Trafico: IPTV y FTP

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	1:32:12	4,05	23,00	4,9
2	1:32:12	3,97	24,13	5,14
3	1:32:12	3,96	24,23	5,16
4	1:32:12	3,95	24,65	5,25
5	1:32:12	3,99	24,01	5,11
7	1:32:12	3,97	24,13	5,14
8	1:32:12	3,98	24,07	5,13
9	1:32:12	3,97	24,13	5,14
10	1:32:12	3,98	24,07	5,13
11	1:32:12	3,96	27,15	5,14
12	1:32:12	3,97	24,13	5,14
13	1:32:12	3,96	24,24	5,16
14	1:32:12	3,95	24,45	5,21
15	1:32:12	4,00	24,05	4,91
16	1:32:12	3,99	23,01	5,11
17	1:32:12	3,96	24,19	5,15
18	1:32:12	3,94	24,71	5,26
19	1:32:12	3,94	24,81	5,28
20	1:32:12	3,95	24,25	5,17
Promedio		3,97	27,00	5,14

## ANEXO F: Pruebas Con El Protocolo PI SM – DM

### Primer Experimento con PIM SM-DM

Duración del Video: 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG 2/ ACC

Resolución: 720 \* 576

Tipo: Noticiero

Trafico: IPTV

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	0:13:34	4,08	3,64	0,00
2	0:13:34	4,09	3,62	0,00
3	0:13:34	4,07	3,64	0,00
4	0:13:34	4,08	3,62	0,00
5	0:13:34	4,09	3,62	0,01
6	0:13:34	4,08	3,63	0,00
7	0:13:34	4,08	3,62	0,00
8	0:13:34	4,10	3,64	0,01
9	0:13:34	4,09	3,62	0,00
10	0:13:34	4,10	3,61	0,00
11	0:13:34	4,11	3,63	0,01
12	0:13:34	4,10	3,62	0,00
13	0:13:34	4,08	3,64	0,00
14	0:13:34	4,09	3,62	0,00
15	0:13:34	4,10	3,64	0,00
16	0:13:34	4,08	3,63	0,01
17	0:13:34	4,10	3,64	0,00
18	0:13:34	4,10	3,65	0,00
19	0:13:34	4,08	3,63	0,00
20	0:13:34	4,10	3,64	0,01
Promedio		4,09	3,63	0,00

## Segundo Experimento con PIM DM

Duración del Video: 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG 2/ ACC

Resolución: 720 \* 576

Tipo: Noticiero

Trafico: IPTV y FTP

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	0:13:34	4,07	3,50	1,80
2	0:13:34	4,05	3,52	1,81
3	0:13:34	4,06	3,51	1,80
4	0:13:34	4,07	3,50	1,81
5	0:13:34	4,06	3,50	1,81
6	0:13:34	4,09	3,48	1,79
7	0:13:34	4,08	3,49	1,81
8	0:13:34	4,06	3,51	1,79
9	0:13:34	4,06	3,49	1,81
10	0:13:34	4,06	3,51	1,79
11	0:13:34	4,08	3,51	1,81
12	0:13:34	4,07	3,50	1,80
13	0:13:34	4,09	3,48	1,79
14	0:13:34	4,08	3,49	1,81
15	0:13:34	4,09	3,48	1,79
16	0:13:34	4,08	3,48	1,79
17	0:13:34	4,06	3,51	1,79
18	0:13:34	4,07	3,50	1,80
19	0:13:34	4,05	3,52	1,81
20	0:13:34	4,07	3,50	1,80
Promedio		4,09	3,50	1,80

### Tercero Experimento con PIM SM-DM

Duración del Video: 1:32:12

Video Codec: H.264-MPEG4

Audio Codec: MP2

Resolución: 640 \* 480

Tipo: Película

Trafico: IPTV

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	1:32:12	3,71	27,13	0,86
2	1:32:12	3,72	27,06	0,84
3	1:32:12	3,71	27,13	0,86
4	1:32:12	3,73	26,99	0,87
5	1:32:12	3,71	27,13	0,86
6	1:32:12	3,72	27,06	0,87
7	1:32:12	3,71	27,13	0,86
8	1:32:12	3,73	26,99	0,86
9	1:32:12	3,72	27,06	0,85
10	1:32:12	3,73	26,99	0,86
11	1:32:12	3,73	27,07	0,86
12	1:32:12	3,72	26,99	0,86
13	1:32:12	3,73	26,99	0,86
14	1:32:12	3,71	26,99	0,86
15	1:32:12	3,73	27,13	0,86
16	1:32:12	3,72	27,06	0,85
17	1:32:12	3,71	27,13	0,86
18	1:32:12	3,72	27,06	0,86
19	1:32:12	3,73	26,99	0,86
20	1:32:12	3,71	27,13	0,86
Promedio		3,72	27,06	0,86

### Cuarto Experimento con PIM SM-DM

Duración del Video: 1:32:12

Video Codec: H.264-MPEG4

Audio Codec: MP2

Resolución: 640 \* 480

Tipo: Película

Trafico: IPTV y FTP

Repetición	Measurement Time	Average Audio/Video MOS (1.0-5.0)	Max PCR Jitter (ms)	Video Packet Loss Ratio (%)
1	1:32:12	3,99	25,34	5,03
2	1:32:12	3,99	25,38	5,04
3	1:32:12	3,98	25,34	5,03
4	1:32:12	3,99	24,32	5,05
5	1:32:12	3,97	25,44	5,03
6	1:32:12	3,99	25,46	5,05
7	1:32:12	3,97	25,25	5,01
8	1:32:12	4,00	25,32	5,03
9	1:32:12	3,99	25,44	5,05
10	1:32:12	3,97	25,35	5,03
11	1:32:12	3,95	25,58	5,08
12	1:32:12	3,99	25,60	5,09
13	1:32:12	3,95	25,65	5,08
14	1:32:12	3,94	25,51	5,06
15	1:32:12	3,96	25,46	5,05
16	1:32:12	3,97	25,51	5,06
17	1:32:12	3,96	25,44	5,05
18	1:32:12	3,97	25,51	5,06
19	1:32:12	3,96	25,38	5,04
20	1:32:12	3,98	25,44	5,05
Promedio		3,97	25,44	5,05