



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**“ESTUDIO DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO
MULTICAST SOBRE MPLS APLICADO A LA PROVISIÓN DEL
SERVICIO DE IPTV EN LA CNT RIOBAMBA”**

TESIS DE GRADO

Previa obtención del título de:

**INGENIERO ELECTRÓNICO EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

Presentado por:

Miguel Angel Barriga Yumiguano

Juan José Viscaíno Gavilanes

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

Agradecemos a Dios por habernos guiado a lo largo de nuestra carrera y permitirnos culminar con éxito la misma.

A nuestras familias por ser quienes nos han brindado su apoyo y aliento para alcanzar todos los objetivos que nos hemos propuesto.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales bajo el lema de “Saber para Ser”.

De manera muy especial al Ing. Alberto Arellano y al Ing. Marcelo Donoso por el apoyo y colaboración incondicional para el desarrollo de este proyecto y en el transcurso y culminación de nuestra carrera estudiantil.

Miguel y Juan

El presente trabajo dedico a Dios por su infinito amor y guía segura en el transitar de mi vida, mostrándome siempre que es posible vencer las adversidades con paciencia, sabiduría y humildad, para finalmente llegar a la cima del camino emprendido.

A mis queridos padres: Miguel Angel Barriga H. y Fanny Isabel Yumiguano P. quienes me brindaron su apoyo incondicional en todos los aspectos y principalmente en mi formación como persona.

A mi hermana Gabriela Barriga por su afecto y comprensión en los momentos más complicados de mi vida.

A mis padrinos: Nestor y Violeta a quienes los llevo en mi corazón

A mis tíos y tías que de una u otra forma me han acompañado en estos años de preparación para poder llegar a esta instancia de mis estudios.

Miguel

Con todo mi cariño y amor a Dios por darme la fuerza y el ímpetu de continuar con paso firme cada acción positiva y fructífera de mi vida.

Para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, mi madre Mary, a mi padre Julio, mis hermanos Miguel, Daniel, Richard y mi María José.

A ustedes por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, quienes con mucho afecto y cariño no dudaron en apoyarme y brindarme su confianza para seguir adelante.

Juan

“Nosotros, **MIGUEL ANGEL BARRIGA YUMIGUANO** y **JUAN JOSÉ VISCAÍNO GAVILÁNES**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

Miguel Angel Barriga Yumiguano

Juan José Viscaíno Gavilanes

NOMBRES

FIRMA

FECHA

Ing. Iván Menes Camejo

**DECANO FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

Ing. Wilson Baldeón

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

Ing. Alberto Arellano

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marcelo Donoso

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Lcdo. Carlos Rodríguez

**DIRECTOR DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE LA TESIS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Las siguientes abreviaturas son las que frecuentemente se usan en este documento, referentes las redes de multicast sobre MPLS, aplicadas a IPTV.

<u>Abreviatura</u>	<u>Descripción</u>
AL	Application Layer
ALM	Application Layer Multicast
BSF	Broadband Service Forum
CDN	Content Distribution Network
CIDR	Classless Inter Domain Routing
DER	Distributed Edge router
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSL	Digital subscriber line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IGMP	Internet Group Management Protocol version
IMA	IPTV Multicast Agent
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
ISM	IPTV Session Manager
ISP	Internet Service Provider
MBGP	Multicast Border Gateway Protocol
MBone	Multicast Backbone
MOS	Mean Opinion Score
MOSPF	Multicast Open Shortest Path First
MPEG	Moving Expert Group
MPLS	Multi Protocol Label Switching
MSDP	Multicast Source Discovery Protocol
MSN	Multicast Service Node
NACK	Negative Acknowledgment
OSPF	Open Shortest Path First
PIM	Protocol-independent Multicast
PIM-DM	Protocol-independent Multicast Dense Mode
PIM-SM	Protocol-independent Multicast Sparse Mode
PIM-SSM	Protocol-independent Multicast Source Specific Multicast
PLR	Packet loss ratio
PON	Passive optical Network
QGMRP	QoS-guaranteed Multicast Routing Protocol
QMBF	QoS-aware Multicast Routing with Bounded Flooding
QMRP	QoS-aware Multicast Routing Protocol
QoS	Quality of Service
RFC	Request for Comments
RGMP	Receiver-initiated Group Membership Protocol
RP	Rendezvous Point
RTCP	Real Time Control Protocol

RTP	Real Time Protocol
SLA	Service Level Agreement
SPR	Shortest (Single) Path Routing
SPT	Shortest Path Tree
SSM	Source Specific Multicast
STB	Set-Top Boxes
TCP	Transport Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VLAN	Virtual LAN

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
DERECHOS DE AUTORÍA	
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I	
MARCO REFERENCIAL.....	16
1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE TESIS	16
1.1. ANTECEDENTES.....	16
1.2. JUSTIFICACIÓN	18
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. OBJETIVOS GENERALES.....	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
1.4. HIPÓTESIS	20
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. IP MULTICAST.....	21
2.1.1. INTRODUCCIÓN	21
2.1.2. DIRECCIONES MULTICAST	27
2.1.3. IGMP	29
2.1.4. ROUTING IP MULTICAST	33
2.1.5. ALGORITMOS DE ROUTING MULTICAST	34
2.1.6. PROTOCOLOS DE ROUTING MULTICAST	41
2.1.7. COMPARACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE ROUTING MULTICAST	59
2.2. IPTV.....	60
2.2.1. DEFINICIÓN	60
2.2.2. ARQUITECTURA DE IPTV	61
CAPÍTULO III	
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	64
3.1. DISEÑO DE LA RED PARA EL PROTOTIPO DE PRUEBAS.	64
3.1.1. ALCANCE DEL DISEÑO	64
3.2. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	65
3.2.1. HEADEND	66
3.2.2. CORE	68

3.2.3. RED LOCAL HACIA EL USUARIO	70
3.2.4. DENTRO DE LA CASA DEL USUARIO	71
3.3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE PRUEBAS.	72
3.3.1. LEVANTAMIENTO DEL CORE	74
3.3.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE IPTV BÁSICO.....	76
3.3.3. CONFIGURACIÓN DEL FTP SERVER.....	79
3.3.4. LEVANTAMIENTO DEL PROBADOR FESTREAM.....	80
 CAPÍTULO IV	
PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	83
4.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.....	83
4.2. PROBADOR DE IPTV FESTREAM	84
4.3. VARIABLES A MEDIR.....	86
4.4. CONSIDERACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS.....	90
4.5. EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS.....	91
4.5.1. PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM SM	93
4.5.2. PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM DM.....	97
4.5.3. PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM SM-DM	101
4.5.4. RESULTADOS GENERALES	105
4.6. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS	105
4.6.1. DISEÑO GENERAL DEL EXPERIMENTO	106
4.6.2. MODELO ESTADÍSTICO.....	107
4.6.3. EXPERIMENTO 1.....	112
4.6.4. EXPERIMENTO 2.....	117
4.6.5. EXPERIMENTO 3.....	120
4.6.6. EVALUACIÓN CONJUNTA DE LOS ELEMENTOS GANADORES DE LOS EXPERIMENTOS	125
 CAPÍTULO V	
PROPUESTA METODOLÓGICA DE IMPLEMENTACIÓN DE RUTEO MULTICAST PARA IPTV	126
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA	126
5.2. HABILITAR IP MULTICAST ROUTING.....	127
5.3. HABILITAR PIM SOBRE LA INTERFAZ.	127
5.4. CONFIGURAR AUTO-RP	129
5.4.1 ASIGNACIÓN DEL RP MAPPING AGENT	130
5.5. CONFIGURACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE IGMP.....	131
5.5.1. CONFIGURAR UN ROUTER PARA SER MIEMBRO DE UN GRUPO	132
5.5.2. CONTROL DE ACCESO A LOS GRUPOS DE MULTIDIFUSIÓN IP	132
5.5.3. CAMBIANDO LA VERSIÓN DE IGMP.....	133
5.6. CONFIGURACIÓN DEL UMBRAL TTL	133
5.7. DESACTIVAR “FAST SWITCHING” DE IP MULTICAST	134
5.8. CONFIGURAR PIM VERSION 2	135
5.9. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE IP MULTICAST	136
 CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
RESUMEN	

SUMMARY

GLOSARIO

ANEXOS

ANEXO 1

ANEXO 2

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA II.I. COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS MULTICAST	59
TABLA III.II. CARACTERÍSTICAS DEL SERVIDOR DE IPTV	66
TABLA III.III. VIDEOS EMPLEADOS COMO CANALES DE IPTV	67
TABLA III.IV. DIRECCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE PRUEBAS	69
TABLA IV.V. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES USADAS POR FSTREAM	86
TABLA IV.VI. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES A MEDIR	87
TABLA IV.VII. MOS PARA IPTV	88
TABLA IV.VIII. PRIMER EXPERIMENTO CON PIM SM	93
TABLA IV.IX. SEGUNDO EXPERIMENTO CON PIM SM	94
TABLA IV.X. TERCER EXPERIMENTO CON PIM SM	95
TABLA IV.XI. CUARTO EXPERIMENTO CON PIM SM	96
TABLA IV.XII. PRIMER EXPERIMENTO CON PIM DM	97
TABLA IV.XIII. SEGUNDO EXPERIMENTO CON PIM DM	98
TABLA IV.XIV. TERCER EXPERIMENTO CON PIM DM	99
TABLA IV.XV. CUARTO EXPERIMENTO CON PIM DM	100
TABLA IV.XVI. PRIMER EXPERIMENTO CON PIM SM-DM	101
TABLA IV.XVII. SEGUNDO EXPERIMENTO CON PIM SM-DM	102
TABLA IV.XVIII. TERCER EXPERIMENTO CON PIM SM-DM	103
TABLA IV.XIX. CUARTO EXPERIMENTO CON PIM SM-DM	104
TABLA IV.XX. RESULTADOS GENERALES	105
TABLA IV.XXI. TABLA ANOVA	109
TABLA IV.XXII. FORMULAS PARA OBTENER EL LSD	111
TABLA IV.XXIII. TABLA ANOVA DEL EXPERIMENTO 1	114
TABLA IV.XXIV. TABLA DE MEDIAS DEL EXPERIMENTO 1	116
TABLA IV.XXV. CALCULO DE LSD DEL EXPERIMENTO 1	116
TABLA IV.XXVI. DETERMINACIÓN DE IGUALDADES DEL EXPERIMENTO 1	116
TABLA IV.XXVII. TABLA ANOVA DEL EXPERIMENTO 2	119
TABLA IV.XXVIII. TABLA ANOVA DEL EXPERIMENTO 3	122
TABLA IV.XXIX. TABLA DE MEDIAS DEL EXPERIMENTO 3	124
TABLA IV.XXX. CALCULO DE LSD DEL EXPERIMENTO 3	124
TABLA IV.XXXI. DETERMINACIÓN DE IGUALDADES DEL EXPERIMENTO 3	124
TABLA V.XXXII. HABILITAR IP MULICAST ROUTING	127
TABLA V.XXXIII. HABILITAR MODO DISPERSO-DENSO	129
TABLA V.XXXIV. CONFIGURACIÓN RP ESTÁTICO	130
TABLA V.XXXV. AGENTE RP MAPPING	131
TABLA V.XXXVI. VERIFICACIÓN DE LA RPS ACTIVOS	131
TABLA V.XXXVII. UNIÓN A UN GRUPO MULTICAST	132
TABLA V.XXXVIII. CONTROL DE GRUPOS MULTICAST	133
TABLA V.XXXIX. SELECCIÓN DE LA VERSIÓN IGMP EN EL ROUTER	133
TABLA V.XL. CONFIGURACIÓN DEL UMBRAL TTL	134
TABLA V.XLI. DESACTIVAR FAST SWITCHING	135
TABLA V.XLII. ESPECIFICAR LA VERSIÓN DE PIM	135

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA. II.1. UNICAST VS MULTICAST.....	21
FIGURA. II.2. DIRECCIÓN IP DE CLASE D.....	28
FIGURA. II.3. MENSAJE QUERY IGMP	31
FIGURA. II.4. FORMATO DEL MENSAJE IGMPV1	32
FIGURA. II.5. FORMATO DEL MENSAJE IGMPV2	32
FIGURA. II.6. FORMATO DEL MENSAJE IGMPV3	33
FIGURA. II.7. MULTICAST FLOODING	35
FIGURA. II.8. ÁRBOL DE EXPANSIÓN.	36
FIGURA. II.9. ÁRBOL RPB.....	37
FIGURA. II.10. ALGORITMO TRPB	38
FIGURA. II.11. ALGORITMO RPM.....	39
FIGURA. II.12. ÁRBOL DE STEINER.....	40
FIGURA. II.13. CORE-BASED TREE	41
FIGURA. II.14. ARBOL CON RAÍZ EN EL EMISOR.	42
FIGURA. II.15. ARBOL CON RAÍZ COMPARTIDA.....	43
FIGURA. II.16. FUNCIONAMIENTO PIM DM	48
FIGURA. II.17. DISTRIBUCIÓN MULTICAST UTILIZANDO PIM-PRUNE.....	48
FIGURA. II.18. PIM DM: JOIN – PRUNE.....	49
FIGURA. II.19. PIM DM: PETICIÓN DE PODA.....	49
FIGURA. II.20. PIM DM: GRAFT	50
FIGURA. II.21. PIM DM: DISTRIBUCIÓN DE INFORMACIÓN AL NUEVO PARTICIPANTE	50
FIGURA. II.22. PIM DM: PUNTO DE ENCUENTRO (RENDEZVOUZ POINTS).....	52
FIGURA. II.23. PIM SM: PUNTO DE REUNIÓN (RP).....	53
FIGURA. II.24. PIM SM: CREACIÓN DE UN ESTADO DE DISTRIBUCIÓN	53
FIGURA. II.25. PIM SM: ENVÍO DE DATOS A RP.....	54
FIGURA. II.26. PIM SM: DEENCAPSULACIÓN DE DATOS - MENSAJES JOIN	54
FIGURA. II.27. PIM SM: FINALIZACIÓN DE REGISTRO	55
FIGURA. II.28. PIM SM: CONMUTACIÓN DE RPT A SPT.....	55
FIGURA. II.29. PIM SM: RECEPCIÓN DE DATOS MULTICAST.....	55
FIGURA. II.30. PIM PRUNE.....	56
FIGURA. II.31. PIM SM: RUTA PODADA	56
FIGURA. II.32. PIM SM: INSERCIÓN.....	56
FIGURA. II.33. PIM SM: ENLACES AÑADIDOS	57
FIGURA. II.34. DIFERENCIAS ENTRE PIM SM Y PIM DM.....	58
FIGURA. II.35. ARQUITECTURA IPTV.....	61
FIGURA. III.36. MODELO DE UN SISTEMA DE IPTV	65
FIGURA. III.37. REPRODUCTOR MULTIMEDIA VLC	67
FIGURA. III.38. ESCENARIO DE PRUEBAS.....	69
FIGURA. III.39. SET-TOP BOX MAG 250.....	71
FIGURA. III.40. PROTOTIPO DE PRUEBAS DE IPTV EN FASE DE IMPLEMENTACIÓN.....	73
FIGURA. III.41. CORE DEL PROTOTIPO DE PRUEBAS.	74
FIGURA. III.42. VIDEO LAN STREAMING SOLUTIONS.	77
FIGURA. III.43. EMITIR CON VLC MEDIA PLAYER	77
FIGURA. III.44. ABIR MEDIO CON VLC MEDIA PLAYER.....	78
FIGURA. III.45. SELECCIÓN DE LA DIRECCIÓN MULTICAST A EMITIR CON VLC MEDIA PLAYER	78
FIGURA. III.46. ESTABLECER EL VALOR DE TTL PARA EMITIR CON VLC MEDIA PLAYER	79

FIGURA. III.47. FILEZILLA SERVER.....	80
FIGURA. III.48. INSTALACIÓN DE FESTREAM.....	80
FIGURA. III.49. SELECCIÓN DE INTERFAZ EN FESTREAM	81
FIGURA. III.50. INTERFAZ DE FESTREAM	82
FIGURA. III.51. PROTOTIPO DE PRUEBAS DE IPTV IMPLEMENTADO.	82
FIGURA. IV.52. COMPONENTES DE FESTREAM	85
FIGURA. IV.53. RESUMEN DE MÉTRICAS USADAS EN FESTREAM	85
FIGURA. IV.54. NIVEL DE CONFIANZA APLICADO EN EL DISEÑO FACTORIAL.	107
FIGURA. IV.55. GRÁFICA DE INTERACCIÓN DEL EXPERIMENTO 1	115
FIGURA. IV.56. GRÁFICA DE INTERACCIÓN DEL EXPERIMENTO 3	123
FIGURA. V.57. COMANDO MSTAT	136
FIGURA. V.58. COMANDO MRINFO	137
FIGURA. V.59. FLAGS DEL COMANDO MRINFO	137
FIGURA. V.60. COMANDO MTRACE.....	138
FIGURA. V.61. EJECUCIÓN DEL COMANDO PING.....	138
FIGURA. V.63. EJECUCIÓN DEL COMANDO SHOW IP IGMP INTERFACE	139
FIGURA. V.64. EJECUCIÓN DEL COMANDO SHOW IP PIM INTERFACE	140
FIGURA. V.65. EJECUCIÓN DEL COMANDO SHOW IP MROUTE SUMMARY.....	141
FIGURA. V.66. EJECUCIÓN DEL COMANDO SHOW IP MROUTE.....	142
FIGURA. V.67. EJECUCIÓN DEL COMANDO SHOW IP MROUTE ACTIVE	142
FIGURA. V.68. RESULTADO DEL COMANDO SHOW IP MCACHE	143
FIGURA. V.69. RESULTADO DEL COMANDO SHOW IP MCACHE	143
FIGURA. V.70. RESULTADO DEL COMANDO SHOW IP MROUTE COUNT	144
FIGURA. V.71. RESULTADO DEL COMANDO SHOW IP PIM RP MAPPING	144
FIGURA. V.72. RESULTADO DEL COMANDO SHOW IP PIM RP MAPPING	145
FIGURA. V.73. RESULTADO DEL COMANDO DEBUG IP IGMP	145
FIGURA. V.74. RESULTADO DEL COMANDO DEBUG IP MPACKET	146
FIGURA. V.75. RESULTADO DEL COMANDO DEBUG IP MROUTING	146
FIGURA. V.76. TOPOLOGÍA USADA PARA EXPLICAR DEBUG IP PIM	147
FIGURA. V.77. RESULTADO DEL COMANDO DEBUG IP PIM	147

INTRODUCCIÓN

Históricamente las telecomunicaciones se desarrollaron bajo dos paradigmas: la comunicación punto a punto y la comunicación broadcast. Sin embargo, en la última década, bajo la masificación de las redes de computadores, se han estado desarrollando aplicaciones que involucran a un grupo que puede consistir de uno o más emisores y uno o más receptores. El tipo de comunicación que permite ejecutar estas aplicaciones es conocida como comunicación multipunto. En la actualidad el uso de la multidifusión en redes de área amplia es esencial para el desarrollo de aplicaciones multimedia como IPTV.

En el Ecuador la Corporación Nacional de Telecomunicaciones será pionera en la implementación de este servicio en su core MPLS, por lo que es fundamental contar con un estudio de IP Multicast que permita determinar cual es el protocolo de enrutamiento multicast más adecuado para la provisión del servicio de IPTV sobre MPLS. Para esto se diseñó un prototipo de pruebas con los equipos disponibles en la academia local de redes CISCO-ESPOCH.

Como resultados de los experimentos realizados en el prototipo de pruebas, se evidenció que el protocolo de enrutamiento multicast más adecuado en términos de calidad de video fue PIM SM-DM. También se demostró que los protocolos multicast no influyen en el jitter que pueda existir en la transmisión de los streams de IPTV.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE TESIS

1.1. ANTECEDENTES

Hoy en día algunas aplicaciones requieren datos para ser entregados desde un emisor a múltiples receptores. Ejemplos de tales aplicaciones incluyen transmisiones de audio y video, entrega en tiempo real de cotizaciones de bolsa, y aplicaciones de teleconferencia. Un servicio en el que se entregan los datos desde un emisor a varios receptores se llama comunicación multipunto o de multidifusión, y las aplicaciones que implican un servicio de entrega de multidifusión se denominan aplicaciones de multidifusión.

Aunque no se han dado muchos cambios en el ámbito de IP multicast en estos últimos años, existe un gran interés en esta tecnología debido al deseo de las compañías telefónicas tradicionales para ofrecer entretenimiento mediante servicios de video sobre sus redes, usando infraestructuras de siguiente generación, como es el caso en el país de

la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, la cual tiene previsto a inicios del 2014 implementar en su infraestructura MPLS IP el servicio de IPTV, además las empresas de telefonía celular aprovechan esta tecnología para ofrecer streaming de vídeo a los teléfonos portátiles y asistentes digitales personales (PDA).

Recientemente, se ha incrementado el interés en los protocolos de enrutamiento multicast debido a las nuevas aplicaciones punto a multipunto en redes de datos, como transmisiones de radio y TV, video bajo demanda, teleconferencias y aprendizaje a distancia, etc.

A pesar del gran interés que existe en la actualidad por los sistemas de multidifusión de información, se pudo constatar que en el sitio dspace de la ESPOCH no se ha desarrollado ningún proyecto acerca de la implementación de un servicio que utilice esta tecnología, como por ejemplo IPTV.

Se encontró que los medios y las empresas de telecomunicación se están enfocando en la necesidad de maximizar la transmisión de la información, dando énfasis en las técnicas y procedimientos para transmitirla en el menor tiempo posible, con el menor uso de recursos y que esté al alcance de la población en tiempo real. Sin embargo no se han lanzado a la implementación estrictamente de la tecnología de IPTV multicasting.

En lo que respecta al uso de MPLS como tecnología de multidifusión a pesar de que en el Ecuador las principales compañías proveedoras de servicios de telecomunicaciones como la CNT, Telconet, PuntoNet, y entre otras cuentan con una infraestructura MPLS

IP que brinda el servicio de internet tanto a clientes corporativos como residenciales, aún no se ha implementado el uso de esta forma de difusión, que les permita brindar servicios de multicasting como IPTV.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El multicasting es esencial para manejar todo respecto a video y audio, todo esto a través del protocolo IP. En la actualidad lo que es IPTV multicasting es una tecnología que se ocupa para charlas virtuales, videoconferencias, todo esto en tiempo real.

En esta investigación se hizo un análisis y evaluación del funcionamiento y rendimiento de los protocolos para enrutamiento IP multicasting, de donde se determinó cuál brinda las mejores condiciones de multicasting en base a un estudio práctico, enfocándose en la implementación del servicio de IPTV sobre una plataforma MPLS, tomando en cuenta que en un futuro cercano este servicio se implementará por primera vez en el país sobre la red de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, contribuyendo de esta manera con un estudio sólido, que les facilite la prestación de multicasting en su red, específicamente del servicio de IPTV.

Mucha gente IT de informática no da crédito a la necesidad real de multicasting, ya sea por su costo o la poca información que poseen estos acerca de multicasting. Según ellos, si existen datos que deben ser enviados a varios puntos, se podría cumplir este objetivo utilizando una secuencia de transferencias punto a punto. Esta idea, sin embargo, es incorrecta ya que los servicios basados en multicasting crean una disminución en el tráfico

de una red, proveyendo una serie de recursos además de ser mucho más adecuados en materia de videoconferencias.

El prototipo de pruebas que se utilizó para la determinación del protocolo de enrutamiento multicast más adecuado para la provisión de IPTV contó con un core MPLS IP conformado con routers Cisco Catalyst 2811, con switches Cisco Catalyst 2960 para la parte de acceso, un servidor de media streaming y varios clientes del servicio de IPTV. Los equipos que se utilizaron son de la gama básica de la marca Cisco, adecuados únicamente para propósitos de pruebas como lo fue en este caso. En el core MPLS de la empresa CNT se manejan equipos Cisco de gama alta como lo son los Cisco 7200, adecuados para soportar altas cargas de tráfico de miles de usuarios como los tiene dicha empresa.

La importancia del desarrollo de la investigación se dio porque a nivel de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH no está documentado un análisis del rendimiento de los protocolos de enrutamiento para multidifusión IP sobre MPLS aplicado a la provisión de servicios de IPTV y esto marcará un precedente para la futura implementación y además servirá de base para nuevas investigaciones. Por lo que este proyecto investigativo será pionero en dicho tema. El estudio que se hizo acerca de IP multicasting sirvió para resolver las siguientes interrogantes ¿Cómo implementarla? ¿Cómo hacer? ¿Cómo funciona?, además de brindar el servicio de IPTV simulando un entorno real, el cual servirá de base para una implementación óptima y eficiente de este servicio en la comunidad, brindando una mejor alternativa en lo que respecta a educación y entretenimiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVOS GENERALES

- Estudiar los protocolos de enrutamiento multicast sobre MPLS aplicado a la provisión de servicios de IPTV.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar la tecnología de IP Multicast.
- Determinar el protocolo de enrutamiento Multicast más adecuado para la provisión del servicio de IPTV.
- Evaluar los parámetros de rendimiento para la provisión del servicio de IPTV.
- Proponer una guía metodológica para la implementación de enrutamiento Multicast.

1.4. HIPÓTESIS

El estudio de los protocolos de enrutamiento multicast sobre MPLS permitirá determinar el protocolo más adecuado para la provisión del servicio de IPTV.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. IP MULTICAST

2.1.1. INTRODUCCIÓN

La diferencia entre un servicio unicast y uno multicast como se aprecia en la figura II.1 es que en el primero existe un emisor y un receptor de cada datagrama, mientras que en el segundo hay un emisor pero normalmente son varios los destinatarios del mismo.

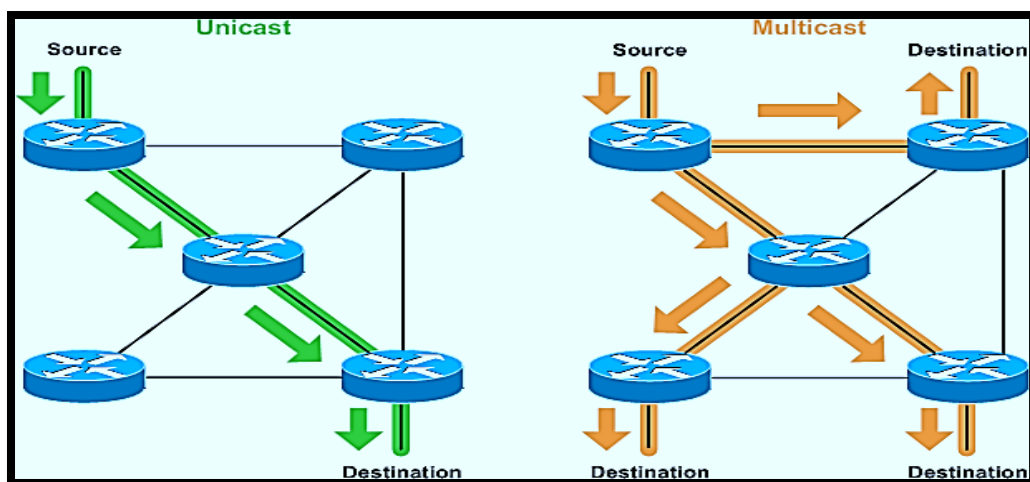


Figura. II.1. Unicast Vs Multicast
Fuente: packetlife.net/blog/2008/oct/16/pim-crash-course

Son numerosas las aplicaciones que se basan en un servicio multicast, por ejemplo:

- Teleconferencia (audio, video, pizarra compartida, editor de texto)
- Juegos compartidos y simulaciones distribuidas
- IPTV
- Aplicaciones distribuidas
- Transferencias fiables de ficheros
- Localización de un Servidor/servicio

Aunque este tipo de envío podría conseguirse con el envío de datagramas unicast (punto a punto) a cada uno de los posibles nodos de destino, hay numerosas razones que hacen aconsejable la capacidad multicast.

El primer modo y más simple de implementar este tipo de aplicaciones es realizar multicast mediante unicast del nivel de aplicación, es decir, que la aplicación emisora envíe N datagramas duplicados mediante unicast, uno a cada receptor.

Esta solución, si bien muy simple plantea el problema de la replicación de datagramas, que aumentan el nivel de utilización de la red, y en especial del enlace o enlaces de salida del emisor que está inundado con N datagramas duplicados, tantos como destinatarios posibles existan. La red no puede hacer nada para evitar esta situación, puesto que las copias no son generadas en la red sino fuera de ésta. El unicast a nivel de aplicación resulta útil para grupos pequeños y con una utilización baja del ancho de banda, como los juegos de red.

Además del problema de replicación de datagramas, hay otros dos problemas añadidos, el de la gestión de la pertenencia a grupos y el de la denominación de estos. La gestión de la pertenencia es complicada porque el emisor debe mantener una lista con todos los nodos pertenecientes a un grupo, con el fin de poder enviar una copia del paquete a cada uno de ellos; teniendo en cuenta que la pertenencia a los grupos es dinámica resulta muy complicado poder mantener esta lista actualizada en todo momento.

En cuanto a la denominación, en el mundo unicast cada estación es identificada por su dirección de red, y es por tanto esta dirección la que se utiliza para encaminar paquetes hacia/desde un nodo. En una implementación multicast de este tipo, no queda más remedio que denominar un grupo mediante la lista de las direcciones IP de sus miembros, lo que nos conduce al mismo problema de mantenimiento anterior, aparte de limitar notablemente la escalabilidad.

La solución a estos problemas es que el nivel de red ofrezca un servicio multicast. La principal ventaja en el uso de envíos multicast es la disminución del tráfico en la red; los datagramas que comparten un grupo de enlaces hasta sus destinos sólo precisan que sean transmitidos una vez y sólo se replica el mensaje cuando es necesario, recayendo la responsabilidad de la duplicación de datagramas en los routers (para hacer llegar una copia a cada miembro del grupo), de modo que estos aseguren que los datagramas viajarán una vez por cada enlace como máximo (basta con asegurar que todos los miembros reciban una copia del datagrama). De este modo, la responsabilidad de la gestión de pertenencia a un grupo también reside en la red, y serán los routers quien mediante el uso de protocolos de routing se encargue de mantener esta información. En cuanto a la

denominación de los grupos, cada uno se identificará mediante un nombre lógico o dirección multicast, lo que desacopla la identidad del grupo con la de sus miembros, favoreciendo por lo tanto la escalabilidad.

En cuanto al funcionamiento de los grupos multicast, es importante tener en cuenta que sus miembros son los receptores, mientras que los emisores pueden ser o no miembros del grupo. Además está permitido que un nodo pertenezca simultáneamente a varios grupos, siempre considerando que la pertenencia a los mismos tiene un carácter dinámico.

Otro aspecto muy interesante del envío multicast hace referencia al descubrimiento de recursos, son varias las aplicaciones que precisan saber si un determinado tipo de servicio está disponible en la red o no; los protocolos BOOTP (Bootstrap Protocol) y OSPF (Open Shortest path First) se encuentran entre ellos. El uso de mensajes multicast para enviar la petición a los nodos que son potencialmente capaces de proporcionar este servicio resultaría muy útil a estas aplicaciones. Otro aspecto importante del envío multicast es su uso por parte de aplicaciones de transmisión multimedia, lo que se ha convertido en un hecho bastante frecuente. Las señales de audio y vídeo son capturadas, comprimidas y transmitidas a un grupo de estaciones receptoras. En lugar de utilizar conexiones punto a punto entre los nodos participantes, el envío multicast permite la distribución de los datos multimedia a los receptores. En el mundo real las estaciones pueden unir o abandonar en cualquier instante la difusión de audio o vídeo. La flexibilidad de adhesión o abandono de un grupo proporcionado por el envío multicast puede hacer sencillo el manejo de una pertenencia variable.

La noción de grupo resulta esencial para el concepto de multicast. Por definición, un mensaje multicast se envía desde un emisor a un grupo de nodos de destino. Existen tres tipos de direcciones IPv4: unicast, broadcast, y multicast. Una dirección unicast como ya se mencionó anteriormente, está concebida para transmitir un datagrama a un solo destino, una dirección de difusión o broadcast se emplea para enviar un datagrama a toda una red y una dirección multicast está pensada para permitir el envío de datagramas a un conjunto de nodos que han sido configurados como miembros de un grupo multicast distribuidos por varias redes.

El envío multicast no es orientado a la conexión; un datagrama se envía a los miembros del grupo de destino con la misma fiabilidad ("best-effort") que un datagrama unicast IP standard. Esto supone que los datagramas multicast no tienen garantizada la entrega a todos los miembros del grupo, ni la llegada en el mismo orden de transmisión de los paquetes.

La única diferencia entre un datagrama multicast IP y uno unicast es la presencia de una dirección de grupo en el campo dirección de destino de la cabecera IP. En lugar de una dirección de Clase A, B, o C, el envío multicast utiliza una dirección de destino de Clase D (224.0.0.0- 239.255.255.255).

Cuando un nodo desea recibir mensajes multicast enviados a un grupo concreto, sólo debe "escuchar" los mensajes enviados al mismo. Si el emisor y el destinatario de un datagrama comparten un bus común, cada nodo sólo necesita saber qué grupos tienen miembros entre los procesos del mismo segmento. Sin embargo, si el emisor y el

destinatario no comparten la LAN, el envío de los mensajes multicast resulta más complicado. Para solucionar el problema del envío de datagramas multicast en el ámbito de Internet, los nodos deben unirse a un grupo informando de ello a los routers multicast de su subred, para lo que utilizan el protocolo IGMP (Internet Group Management Protocol). El abandono del grupo se hace también mediante IGMP. De este modo los routers multicast de la red conocen los miembros de los grupos multicast de su red y pueden decidir si encaminar los mensajes multicast a su red o no. Siempre que un router multicast recibe un datagrama multicast comprueba el identificador de grupo del mensaje y encamina el mensaje sólo si hay un miembro de dicho grupo en redes a las que está conectado. IGMP proporciona la información precisa en la última etapa del envío de mensajes multicast a sus destinos.

Sin embargo, para el envío de datagramas multicast desde el emisor hasta los nodos de destinos de otras redes, los routers multicast necesitan intercambiar la información que han reunido acerca de la pertenencia a grupos de los nodos directamente conectados a ellos. Existen varios algoritmos para intercambiar información de encaminamiento entre routers como: la inundación ("flooding"), árboles de expansión ("spanning tree"), "reverse path broadcasting", y "reverse path multicasting". Algunos de estos algoritmos se han usado en protocolos de routing multicast dinámicos tales como DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol), MOSPF (Multicast extension to Open Shortest Path First), y PIM (Protocol Independent Multicast). Basándose en la información de encaminamiento obtenida a partir de estos protocolos, cuando un datagrama multicast se envía a un grupo multicast, los routers multicast decidirán si encaminar dicho datagrama a sus redes o no. Finalmente, los routers hojas en el árbol de distribución multicast, verán

si hay o no miembros de un grupo particular en las redes a las que está físicamente conectado utilizando la información de IGMP y decidiendo si encaminar o no el datagrama.

2.1.2. DIRECCIONES MULTICAST

La especificación del Servicio Multicast del protocolo IP aparece en el RFC1112, y detalla la operación de los servicios multicast en este modelo.

Los grupos definidos en este modelo pueden ser de cualquier tamaño y con sus miembros ubicados en cualquier lugar de Internet. La pertenencia a los grupos es dinámica, pudiendo adherirse o abandonar un grupo en cualquier momento. Los emisores de un grupo no necesitan ser miembros del mismo, de modo que un nodo cualquiera puede enviar datagramas a cualquier grupo definido en Internet. Cada grupo se identifica mediante una sola dirección IP de clase D (224.0.0.0 - 239:255.255.255).

Los routers escuchan las direcciones multicast y utilizan protocolos de routing para gestionar la pertenencia a los grupos (IGMP, RFC2236) y por lo tanto tener información sobre la necesidad de replicación de datagramas para que estos alcancen a cualquier miembro del grupo.

Las direcciones clase D (entre 224.0.0.0 y 239.255.255.255) están previstas en IP para tráfico multicast. Se asigna 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, no estando, por lo tanto estructuradas las direcciones como las direcciones IP unicast. En la figura II.2. se muestra el formato indicado.

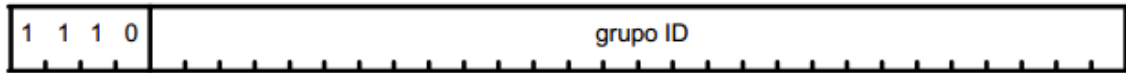


Figura. II.2.Dirección IP de clase D

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

Existen dos tipos de grupos multicast: temporales y permanentes. Algunos grupos permanentes han sido predefinidos por la IANA (Internet Assigned Numbers Authority) en el RFC1700 para propósitos especiales. La dirección 224.0.0.0 está reservada y el rango de direcciones desde 224.0.0.1 a 224.0.0.255 está reservado para el uso de protocolos de routing y otros protocolos de descubrimiento y mantenimiento de topologías de bajo nivel; los routers multicast no deberían encaminar datagramas con dirección de destino dentro de este rango independientemente del valor de su TTL.

El resto de los grupos que van desde 224.0.1.0 a 239.255.255.255 están asignados a diversas aplicaciones multicast o permanecen sin ser asignadas. De este rango, las direcciones que van de 239.0.0.0 a 239.255.255.255 están reservadas para ser utilizadas para aplicaciones locales no extensibles a Internet. Existen algunas otras direcciones de Clase D ya reservadas para grupos bien conocidos, por ejemplo:

- 224.0.0.1 Todos los nodos en una LAN (all-systems.mcast.net)
- 224.0.0.2 Todos los routers en una LAN (all-routers.mcast.net)
- 224.0.0.5 Todos los routers OSPF en una LAN
- 224.0.0.6 Todos los routers OSPF designados en una LAN
- 224.0.1.11 IETF-1 Audio

- 224.0.1.12 IETF-1 Vídeo

Las direcciones multicast temporales son asignadas y abandonadas dinámicamente.

Los servicios IP multicast en la emisión y recepción de datagramas presentan algunas características específicas respecto del servicio unicast. El servicio de emisión utiliza la operación normal de emisión de datagramas IP, con una dirección IP multicast como destino, pero debe proporcionar a la aplicación emisora un modo de:

- Especificar la interfaz de red de salida, cuando hay más de uno.
- Especificar el tiempo de vida (TTL) del paquete emitido
- Habilitar/deshabilitar el “loopback” si el nodo emisor es miembro del grupo de destino en la interfaz de salida

A la operación normal de recepción de datagramas IP debe incorporar dos operaciones nuevas:

- Unir_a_grupo_multicast (Dirección de grupo, interfaz)
- Abandonar_grupo_multicast (Dirección de grupo, interfaz)
- Recibir datagramas multicast para los grupos a los que pertenece mediante la recepción normal de datagramas IP.

2.1.3. IGMP

Los nodos que desean recibir datagramas multicast deben informar a los routers vecinos que están interesados en recibir datagramas dirigidos a ciertos grupos multicast. De este modo, cada nodo se convierte en miembro de uno o más grupos multicast y recibe los datagramas dirigidos a dicho grupo.

El protocolo mediante el que los nodos comunican esta información a los routers se denomina Internet Group Management Protocol (IGMP). IGMP también es utilizado por los router para comprobar periódicamente si los miembros de los grupos conocidos están todavía activos. En caso de que exista más de un router multicast en una subred (LAN), uno de ellos es elegido para efectuar las consultas y asumir la responsabilidad de cuidar del estado de pertenencia de los grupos multicast con miembros activos en su subred. Basándose en la información obtenida de IGMP el router puede decidir si reenviar los mensajes multicast que recibe a sus subredes o no. Después de recibir un datagrama multicast enviado a un determinado grupo multicast, el router comprobará si existe al menos un miembro del grupo particular en su subred. Si ese es el caso, el router reenviará el mensaje a la subred; en caso contrario descartará el datagrama. Obviamente, esto será la última fase del envío de un datagrama multicast.

El actual estándar en Internet es IGMPv1 (RFC-1112), si bien ya se ha publicado la versión 2 (RFC-2236) que ya se está difundiendo con rapidez y está en proceso de estudio la versión 3 del protocolo. Opera sobre LANs de difusión y enlaces punto a punto (su operación sobre redes no de difusión, multiacceso [NBMA] está todavía en estudio, p.e., MARS para ATM).

La operación del protocolo es la siguiente.

En cada LAN se elige un router (router designado) que será el encargado de enviar las peticiones a la red para que los nodos informen a qué grupos están adheridos. Este router, envía periódicamente un mensaje de Pregunta de Pertenencia al grupo de “todos los nodos” (224.0.0.1), con TTL = 1, como se observa en la figura II.3.

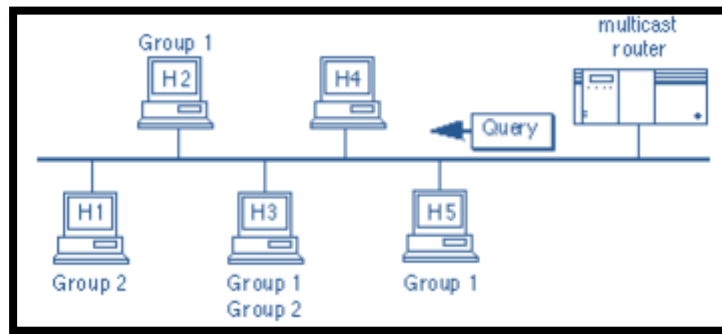


Figura. II.3. Mensaje Query IGMP

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

Cuando un nodo escucha una de estas peticiones arranca un temporizador aleatorio (entre 0 y 10 segundos) por cada uno de los grupos a los que pertenece. Cuando expira el temporizador para un grupo G, envía una Notificación de Pertenencia (“report”) a dicho grupo, con TTL = 1, por lo que dichas notificaciones nunca saldrán de la subred en que fueron generadas. El resto de los miembros de G escucharán la Notificación y detendrán sus temporizadores para dicho grupo, evitando enviar notificaciones de pertenencia al mismo, puesto que al router sólo le interesa conocer qué grupos tienen miembros, pero no cuántos ni quienes son estos. A partir de estas notificaciones el router construirá una lista con los grupos conectados a cada uno de sus interfaces.

Cuando un nodo se adhiere a nuevo grupo, envía una o dos notificaciones inmediatas, en lugar de esperar una pregunta con el fin de que la pertenencia al grupo sea conocida lo antes posible.

Cuando un router no recibe ninguna respuesta para un determinado grupo después de varias preguntas, asume que no hay ningún miembro del grupo en la red.

La figura II.4. muestra el formato de los mensajes IGMP V1.

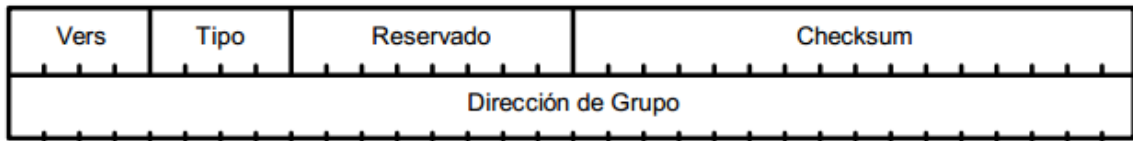


Figura. II.4. Formato del mensaje IGMPv1

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

El campo Version especifica la versión de IGMP.

El campo Tipo diferencia entre los distintos tipos de mensaje:

1 = Pregunta de Pertenencia

2 = Notificación de pertenencia

El campo Checksum permite comprobar que el mensaje no contiene errores.

El campo Dirección(es) de Grupo contiene la lista de direcciones IP de Clase D a las que pertenece el nodo que envía la notificación (en las preguntas está vacío).

La principal diferencia de IGMP Versión 2, que es una mejora del original, es la inclusión de un nuevo mensaje para indicar el abandono de un grupo, lo que reduce la latencia de abandono (“Leave latency”). Además se especifica un método de elección estándar para el router que genera las preguntas, el de menor dirección IP, algo que había quedado inconcluso en la versión anterior. Finalmente se unen en un solo campo Versión y Tipo, pero manteniendo la compatibilidad con la versión 1. La Figura II.5 muestra el formato de los mensajes IGMPv2.

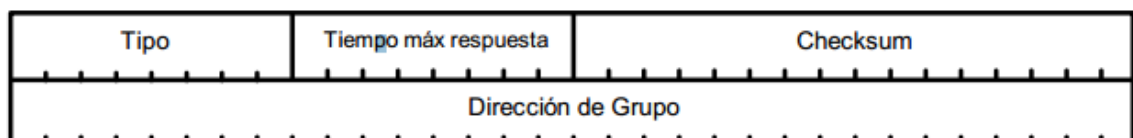


Figura. II.5. Formato del mensaje IGMPv2

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

IGMP Versión 3, la última versión, posibilita que los nodos se unan a un grupo y especifica un conjunto de emisores de dicho grupo desde los cuales quiere recibir datagramas multicast añadiendo capacidad de filtrado de emisor. Igualmente los mensajes de abandono de grupo de la Versión 2 se han mejorado para soportar el abandono de grupos-emisores. La Figura II.6 muestra el formato de los mensajes IGMPv3.

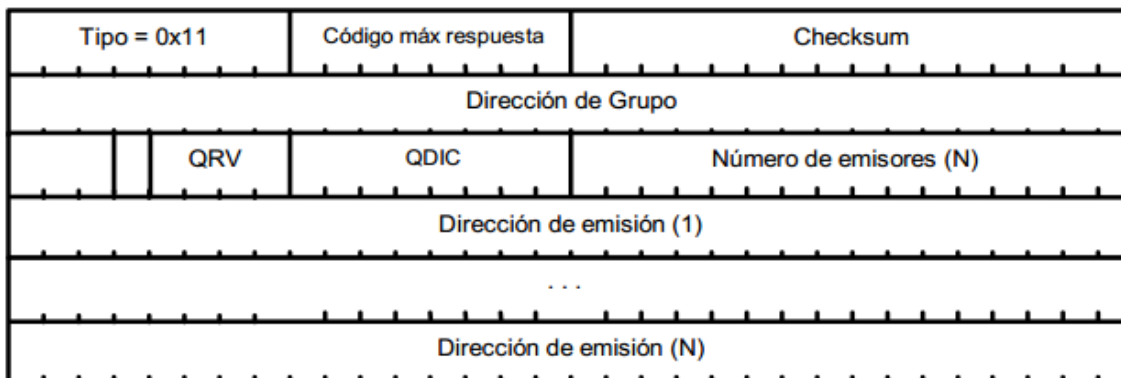


Figura. II.6. Formato del mensaje IGMPv3

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

2.1.4. ROUTING IP MULTICAST

IGMP proporciona el último paso en el servicio de envío de datagramas multicast, dado que sólo está relacionado con el envío de tráfico multicast desde el router local a los miembros de un grupo directamente conectados a sus subredes.

IGMP no contempla el envío de datagramas multicast entre routers vecinos o a través de Internet. Para conseguir un servicio global es preciso definir protocolos de routing multicast, responsables de la construcción de árboles de distribución a través de los cuales se distribuyan los datagramas multicast.

El problema del routing multicast es hacer llegar los datagramas a todos los miembros de un grupo, para ello es preciso que los routers tengan una visión de la ubicación de grupos

en la red limitada no a las redes a las cuales están directamente conectados, sino en toda la red.

A la pregunta ¿cómo hacer llegar los paquetes a los miembros de un grupo? pueden proporcionarse varias respuestas:

- Puede utilizarse la difusión de los datagramas, lo que supone un consumo de ancho de banda que no resulta aceptable puesto que los datagramas circulan por redes y segmentos en los cuales no hay ningún nodo perteneciente al grupo.
- Puede utilizarse un árbol de expansión (“Spanning tree”), lo que supone aplicar en algunos casos un retraso muy superior al de un camino unicast. Además puede producirse un problema de concentración de tráfico porque el tráfico no se distribuye adecuadamente por los recursos de la red.
- La mejor solución es resolver la pertenencia dinámica a los grupos, con el consiguiente mantenimiento del árbol de distribución de los datagramas.

A continuación se analizará en detalle los algoritmos y los protocolos utilizados para IP multicasting

2.1.5. ALGORITMOS DE ROUTING MULTICAST

Los algoritmos de enrutamiento multicast son los procedimientos que ejecutan los protocolos de enrutamiento para determinar el mejor árbol para transmitir la información a los nodos destinos del grupo multicast.

A continuación se detalla estos algoritmos: Inundación, Árboles de Expansión, Reverse Path Forwarding (RPF), Truncated Reverse Path Forwarding (TRPF), Steiner Trees (ST), y Core-Based Trees (CBT).

a) INUNDACIÓN

El algoritmo de inundación, que se utiliza en protocolos tales como OSPF es la técnica más sencilla para enviar los datagramas multicast a los routers de una red. En este algoritmo, cuando un router recibe un datagrama multicast, comprueba si ha recibido este mismo datagrama con anterioridad o es la primera vez que lo recibe. Si es la primera vez, el router reenviará el datagrama por todos sus interfaces a excepción de aquel por el que lo recibió; en caso contrario, el router descartará el datagrama, asegurando así que todos los routers de la red recibirán al menos una copia del datagrama.

Tiene algunas desventajas importantes pues genera un gran número de datagramas duplicados, desaprovechando por consiguiente una parte importante de ancho de banda, este algoritmo conduce a una utilización muy pobre de los recursos de memoria.

La figura II.7 muestra el principio fundamental de multicast por inundación.

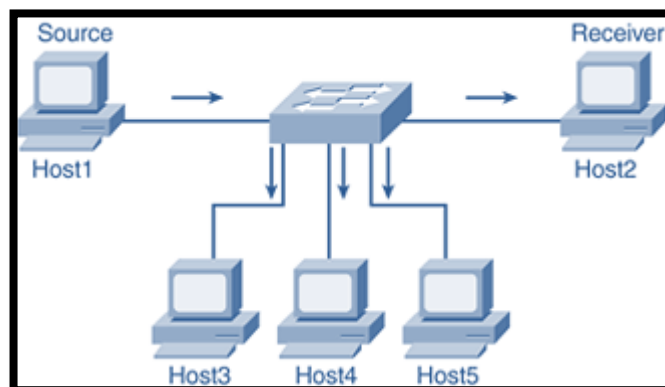


Figura. II.7. Multicast Flooding

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

b) ARBOLES DE EXPANSIÓN

Un algoritmo mejor es el del árbol de expansión (“Spanning Tree”). En él, se selecciona un subconjunto de enlaces para definir una estructura de árbol (un topología libre de bucles) tal que sólo haya un camino activo entre dos routers cualesquiera. Dado que este árbol se expande a todos los nodos de la red se denomina árbol de expansión. Cuando un router recibe un datagrama multicast lo reenvía por todos los enlaces que pertenecen al árbol de expansión, excepto por el que recibió el datagrama, garantizando que el datagrama alcanza a todos los routers de la red. La única información que el router necesita almacenar es una variable booleana por interfaz de red indicando si pertenece al árbol de expansión o no.

La figura II.8 muestra un ejemplo con cinco nodos y seis enlaces para mostrar la definición de un árbol de expansión. Los árboles de expansión son muy potentes y fáciles de implementar, sin embargo, tienen dos deficiencias: centralizan todo el tráfico en un reducido número de enlaces y no considera la pertenencia a grupos.

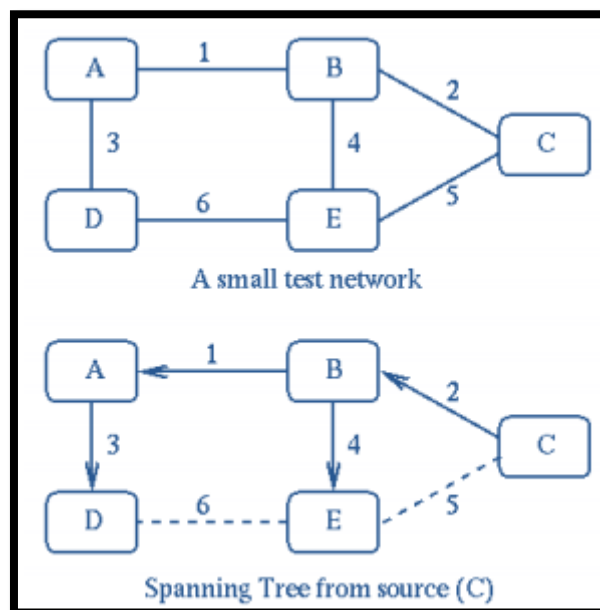


Figura. II.8. Árbol de expansión.

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

c) REVERSE PATH BROADCASTING (RPB)

El algoritmo RPB es una modificación del algoritmo de árbol de expansión. En este algoritmo, en lugar de construir un árbol de expansión para la red completa, construye un árbol implícito para cada emisor. Estos árboles de expansión constituirían unos árboles de distribución con la raíz en el emisor emanando desde la red directamente conectada al emisor. Dado que hay muchos emisores (fuentes) potenciales para un grupo, se construye un árbol de expansión para cada par activo (emisor, grupo).

La figura II.9 muestra a modo de ejemplo los árboles de distribución multicast desde dos emisores A y C respectivamente

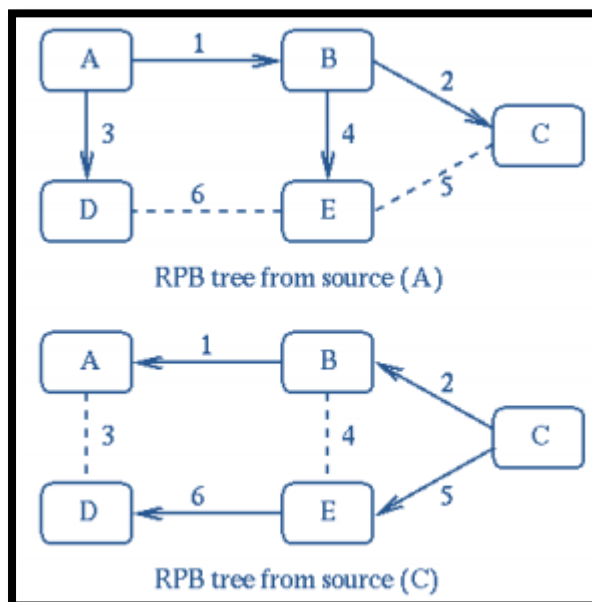


Figura. II.9. Árbol RPB

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

d) TRUNCATED REVERSE PATH BROADCASTING (TRPB)

El algoritmo TRPB ha sido propuesto para solucionar algunas de las limitaciones de RPB por lo que no se reenviará un datagrama a un router vecino si el router local no está en el camino más corto desde el router vecino al nodo emisor.

La figura II.10 muestra la operación del algoritmo TRPB. En este ejemplo el router recibe un datagrama multicast por su enlace “padre” para el par (emisor, G1). El router reencamina el datagrama por I1, dado que la interfaz tiene al menos un miembro de G1. Sin embargo no reencamina el datagrama por la interfaz I3 dado que no tiene miembros en el grupo de destino. El datagrama se reencaminará por la interfaz I4, sólo si un router en este enlace considera la interfaz como su enlace “padre” hacia (emisor,G1).

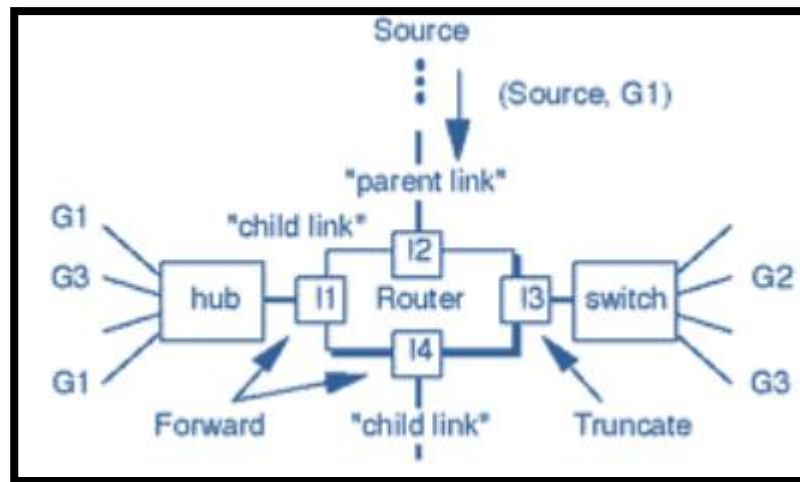


Figura. II.10. Algoritmo TRPB

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

e) REVERSE PATH MULTICASTING (RPM)

El algoritmo RPM (también conocido como RPB con podas) es una mejora de RPB y TRPB.

RPM construye un árbol de envío que expande sólo:

- Subredes con miembros de un grupo
- Routers y subredes en el camino más corto a las subredes con miembros de un grupo.
- El árbol RPM puede ser podado de modo que los datagramas multicast se envíen por enlaces que conducen a los miembros del grupo destino.

La figura II.11 muestra el árbol obtenido después del intercambio de mensajes de poda en una red.

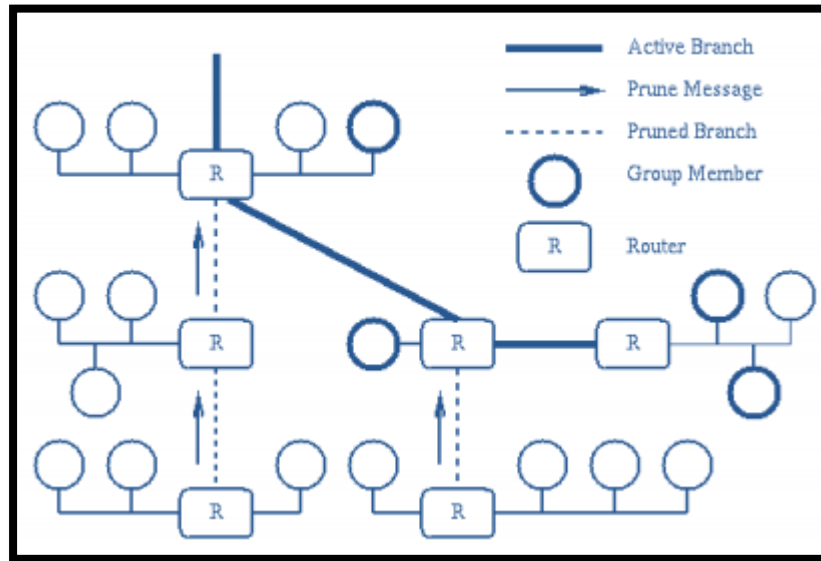


Figura. II.11. Algoritmo RPM

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

f) ARBOLES DE STEINER (ST)

La familia de los algoritmos RPB (RPB, TRPB, y RPM), utilizan el camino más corto entre el nodo emisor y cada nodo de destino para enviar el datagrama, garantizando que el envío se haga lo más rápido posible. Sin embargo, ninguno de estos algoritmos trata de minimizar el uso de los recursos de la red.

Por lo que un árbol de Steiner utiliza menos enlaces pese a que es más lento que el RPB (los datagramas deben dar más saltos para llegar a su destino) en resumen este árbol utiliza menos enlaces. La figura II.12 muestra un árbol RPB y otro diferente suponiendo que C es el emisor y A y D son los destinatarios.

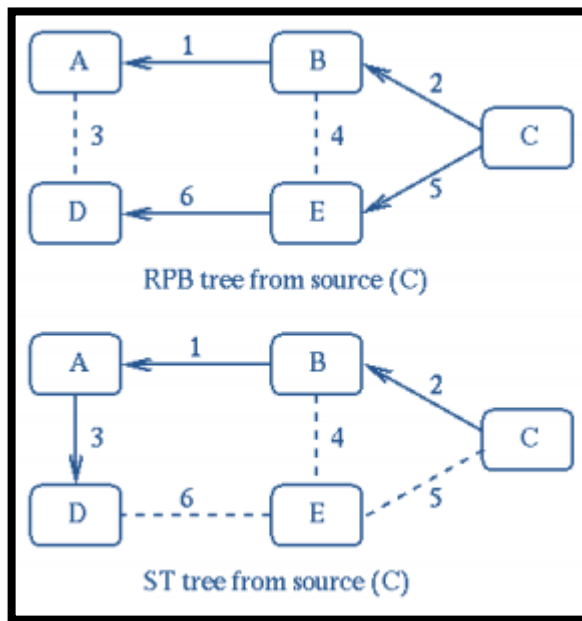


Figura. II.12. Árbol de Steiner

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

g) CORE-BASED TREES (CBT)

CBT crea un árbol de distribución para cada grupo. En otras palabras, el árbol utilizado para enviar los datagramas multicast de un grupo particular es un árbol independiente de la localización del nodo emisor. Un solo router, o un conjunto de routers son elegidos para constituir el router núcleo ("core") el árbol de distribución. Todos los datagramas para un grupo particular son enviados como mensajes unicast al router "core" hasta que alcanzan un router que pertenece al correspondiente árbol de distribución; entonces el datagrama se envía por todas las interfaces que son parte del árbol de distribución excepto por el que llegó.

La figura II.13 muestra el principio fundamental de los core-based trees.

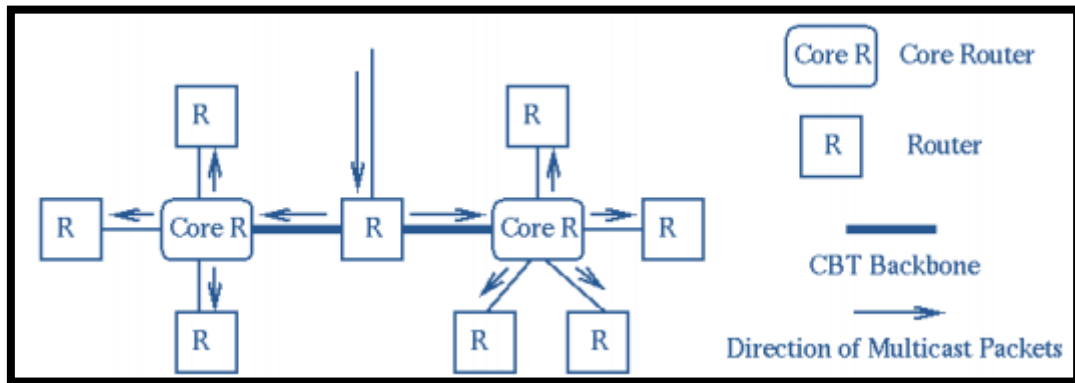


Figura. II.13. Core-Based Tree

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

2.1.6. PROTOCOLOS DE ROUTING MULTICAST

Similares a los protocolos de routing unicast (como RIP y OSPF), hay un conjunto de protocolos de routing multicast que permiten determinar a los routers dónde enviar los datagramas multicast.

Los protocolos de routing multicast: Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP), Multicast Extensions to OSPF (MOSPF) y Protocol Independent Multicast – Dense Mode (PIM-DM) son más eficientes en situaciones donde los miembros de los grupos multicast están densamente distribuidos en la red, por lo que Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM), se comporta mejor cuando los miembros de los grupos están distribuidos de modo disperso.

CLASIFICACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE ROUTING MULTICAST

Los protocolos de routing multicast pueden clasificarse atendiendo a diversos criterios.

- Árboles de distribución
- Política de Distribución de Datos
- Protocolos de modo denso y disperso

En primer lugar según la clasificación de los árboles de distribución multicast en los que se fundamentan:

- Los protocolos DVMRP, MOSPF, PIM-DM, PIM-SM que usan arboles separados con raíz en cada emisor de datos.
- Los protocolos CBT y PIM-SM que usan árboles con raíz compartida en un punto común.

El árbol de distribución con raíz en el emisor construye un árbol para cada emisor cuya raíz se encuentra en el nodo emisor de los datagramas multicast y en cuyas ramas se encuentran los nodos pertenecientes al grupo, como se muestra en la figura II.14.

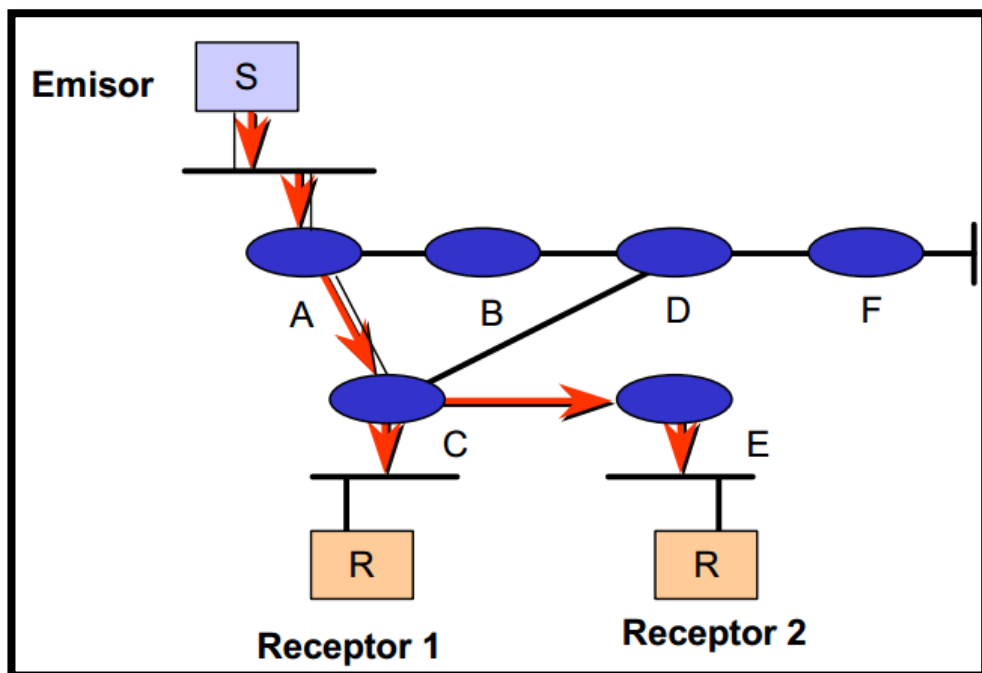


Figura. II.14. Arbol con raíz en el emisor.

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

Las características más sobresalientes del árbol de distribución con raíz en el emisor son:

- Es necesario que los routers dispongan de más memoria, del orden del producto del número de grupos por emisores, por ejemplo si tenemos 5 grupos con 2 emisores, se necesitará 10 veces más memoria que si se dispone de 1 solo grupo con 1 emisor.
- El camino desde el emisor es óptimo, por lo que se minimiza el retraso.

El árbol de distribución con raíz compartida construye un árbol para todos los nodos emisores de datagramas multicast en el que se comparten las ramas en las cuales se encuentran los nodos receptores. Todas las ramas del árbol serán compartidas a partir de un punto raíz del árbol que no está situado en ninguno de los nodos emisores, como se muestra en la figura II.15.

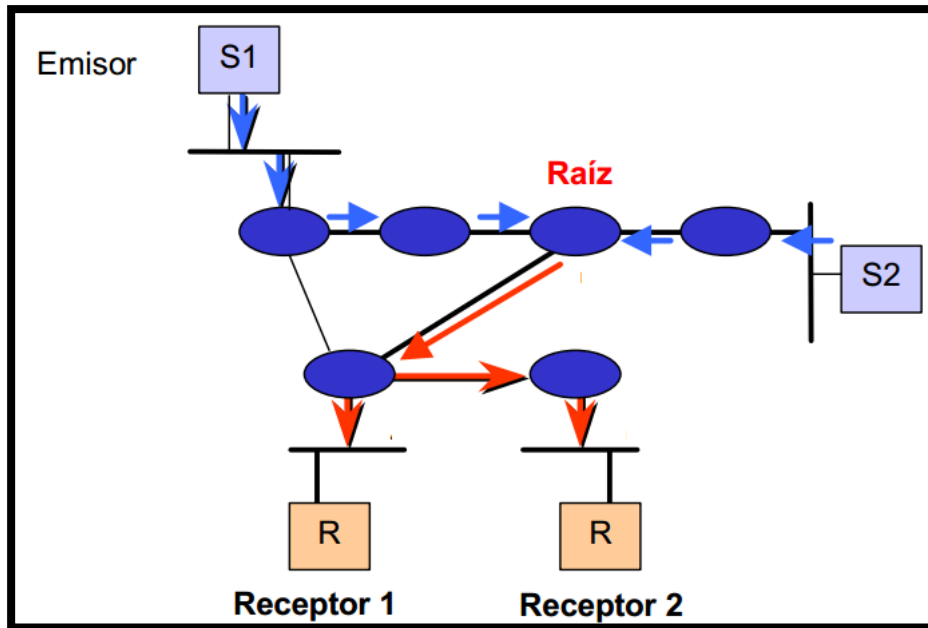


Figura. II.15. Arbol con raíz compartida.

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

Las características del árbol de distribución con raíz compartida son las siguientes:

- La memoria necesaria en los routers es menor, del orden del número de grupos.
- Los caminos desde el emisor al receptor no son óptimos en todos los casos, por lo que pueden introducirse retrasos adicionales, generalmente aquellos que se producen desde el emisor a la raíz del árbol.
- Pueden producirse transferencias duplicadas por la duplicación de un camino desde el emisor a la raíz y de la raíz a los receptores.

El segundo criterio de clasificación tiene relación con la Política de Distribución de Datos, atendiendo al modo en que emisores y receptores se “encuentran”:

- DVMRP y PIM-DM difunden los paquetes iniciales desde cada emisor y eliminan los segmentos sin ningún miembro. En este caso hay mucho tráfico inútil cuando hay pocos receptores en un área muy amplia, el motivo es que los primeros mensajes se distribuyen por toda el área hasta saber en qué segmentos hay nodos pertenecientes al grupo y en cuáles no y por lo tanto deben ser podados del árbol.
- MOSPF difunde las notificaciones de pertenencia desde cada receptor de toda la red:
- CBT y PIM-SM especifica un “punto de encuentro” al que los emisores envían sus paquetes iniciales, y los receptores se adhieren; precisa de una correspondencia entre direcciones de grupo multicast y el “punto de encuentro”.

Una tercera forma de clasificación de los Protocolos de Routing Multicast IP es por:

- **Protocolos de modo denso.** Suponen una pertenencia densa a grupos, es decir, que el número de nodos unidos a un grupo es elevado. Se basan en árboles de distribución con raíz en el emisor. Los ejemplos más característicos son: DVMRP (Distance-Vector Multicast Routing Protocol), MOSPF (Extensiones Multicast a “Open Shortest-Path First Protocol”) y PIMDM (Protocol-Independent Multicast, Dense Mode).

- **Protocolos de modo disperso.** Suponen pertenencia dispersa a grupos. Se basan en árboles compartidos. Los ejemplos más representativos en este caso son: PIM-SM (Protocol-Independent Multicast, Sparse Mode) y CBT (Core-Based Trees).

PIM: PROTOCOL-INDEPENDENT MULTICAST

Los protocolos PIM (Protocol Independent Multicast) han sido desarrollados por el grupo de trabajo Inter-Domain Multicast Routing (IDMR) de la IETF (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet). IDMR se propuso desarrollar un conjunto de protocolos de routing multicast que independientes de cualquier protocolo de routing unicast pudieran proporcionar routing multicast escalable a nivel de Internet. Desde luego, PIM precisa la existencia de un protocolo de routing unicast para actualizar la tabla de información de encaminamiento y adaptarse a los cambios de topología.

La mayoría de los protocolos multicast propuestos funcionan bien si los miembros de los grupos están densamente distribuidos y el ancho de banda no es un problema. Sin embargo, el hecho de que DVMRP inunde periódicamente la red y de que MOSPF envíe información de pertenencia a grupos a través de los enlaces, hace que estos protocolos no resulten eficientes en casos donde los miembros de los grupos se distribuyen de forma dispersa en distintas regiones de la red y donde el ancho de banda no es inagotable.

Para solucionar estos problemas, PIM contempla dos protocolos: PIM - Modo Denso (PIM-DM) que es más eficiente cuando los miembros están distribuidos densamente y PIM - Modo Disperso (PIM-SM) que tiene mejor rendimiento en los casos en que los miembros están dispersamente distribuidos.

Aunque estos dos algoritmos pertenecen a PIM y comparten mensajes de control similares, son esencialmente protocolos distintos. El modo denso se refiere a un protocolo diseñado para operar en un entorno en el que los miembros del grupo están agrupados densamente y con un ancho de banda importante. El modo disperso se refiere a un protocolo optimizado para entornos donde los miembros de los grupos están distribuidos en muchas regiones de Internet y el ancho de banda disponible no es necesariamente muy grande. Es importante tener en cuenta que el modo-disperso no implica que el número de miembros sea pequeño sino que estos se encuentran dispersos a través de Internet.

PIM-DM: PROTOCOL-INDEPENDENT MULTICAST - DENSE MODE

Aunque la arquitectura PIM fue concebida por la necesidad de proporcionar árboles de distribución de modo disperso escalables, también define en el RFC 3973 un protocolo nuevo en modo-denso en lugar de los protocolos ya existentes como DVMRP y MOSPF. Se considera que PIM-DM se desplegará en entornos con recursos abundantes, tales como una red de campus donde la pertenencia a un grupo es relativamente densa y el ancho de banda disponible es importante. PIM-DM utiliza el algoritmo RPM (Reverse Path Multicasting) para formar los árboles de distribución. PIM-DM precisa la existencia de un protocolo de routing unicast para encontrar rutas hacia el nodo emisor, además, es independiente de los mecanismos utilizados por cualquier protocolo de routing unicast. PIM-DM necesita gestionar mensajes duplicados, este método es elegido para eliminar dependencias del protocolo de routing y evitar la sobrecarga originada por el cálculo de las interfaces hijas de cada router. Para aquellos casos en los que aparecen miembros de un grupo en una rama podada del árbol de distribución, PIM-DM, utiliza mensajes "graft" para volver a unir al árbol de distribución ramas previamente podadas.

PIM DM: FUNCIONAMIENTO

PIM-DM utiliza para calcular rutas a los emisores la tabla de routing unicast. El tráfico se transmite inicialmente por inundación, con lo cual los routers no interesados pueden enviar comandos Prune (podar) o Graft (injertar). La inundación (y el consiguiente podado) se repite cada 3 minutos. Tras esta primera inundación, para evitar bucles, los routers ejecutan el RPF check (Reverse Path Forwarding check).

El RPF es una forma de evitar los bucles por inundación tanto en PIM-DM (Dense Mode) y PIM-SM (Sparse Mode o modo disperso), que consiste en, que antes de reenviar por inundación un paquete el router realiza la siguiente comprobación:

- Analiza la interfaz de entrada del paquete y su dirección de origen (unicast)
- Consulta en la tabla de rutas la interfaz de la ruta óptima hacia la dirección de origen
- Si la interfaz de entrada coincide con la de la ruta óptima, el paquete es aceptado y redistribuido por inundación.
- En caso contrario el paquete se descarta ya que probablemente se trata de un duplicado

Aunque PIM-DM es relativamente simple, presenta problemas de escalabilidad, como que cada router de la red ha de mantener la relación de las 'ramas' que cuelgan de él en el árbol así como la relación de las ramas que han sido podadas para cada emisor y cada grupo (Source, Group).

A continuación se muestra el funcionamiento del protocolo PIM DM.

La Figura II.16. muestra como se distribuyen las primeras tramas de multicast por todas las interfaces, excepto por la que ha llegado.

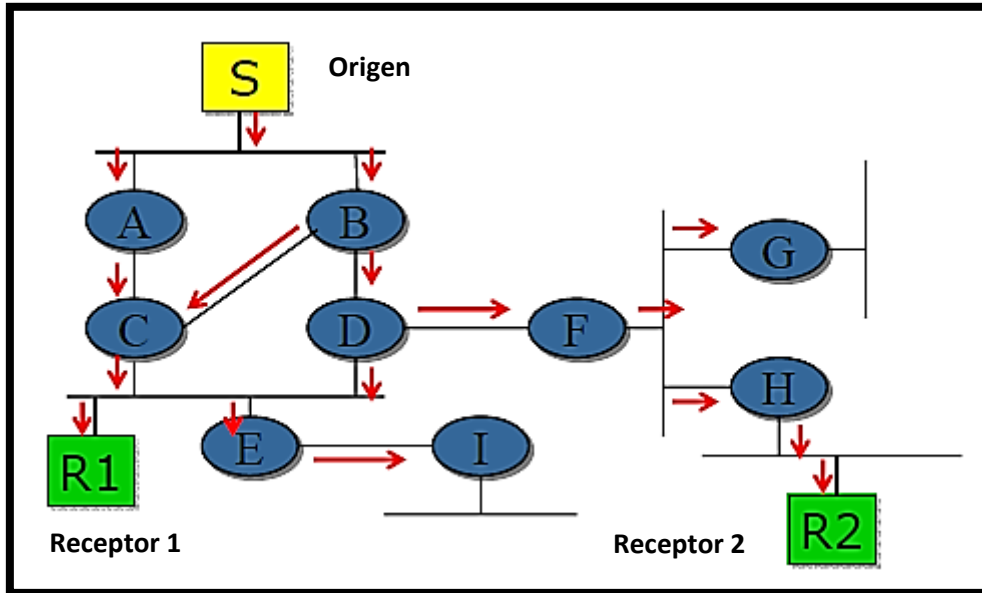


Figura. II.16. Funcionamiento PIM DM

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

La figura II.17 muestra como se elimina aquella ruta que no corresponde con la filosofía RPF utilizando tramas de PIM-Prune,

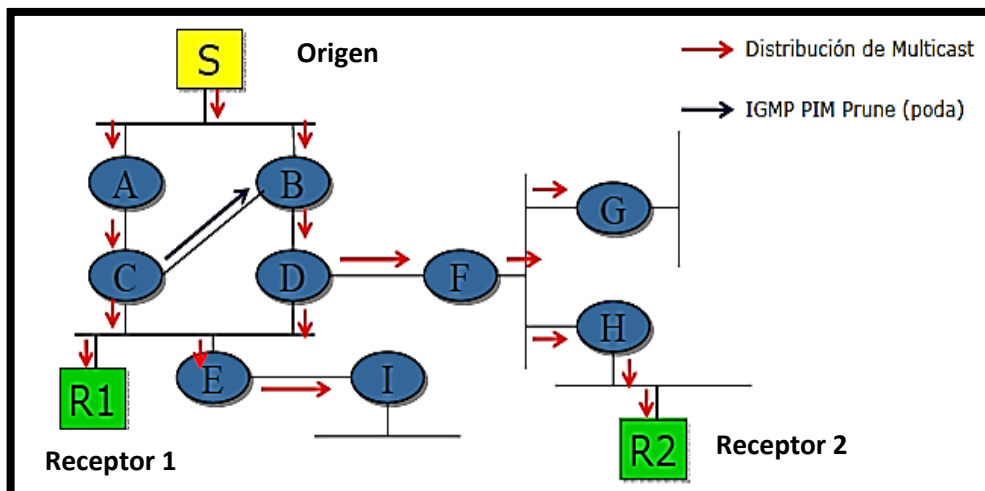


Figura. II.17. Distribución Multicast utilizando PIM-Prune

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

La figura II.18 muestra como los routers multicast I, E y G solicitan poda (prune). El router multicast H manda un mensaje de Join para que F ignore el mensaje de poda que manda G.

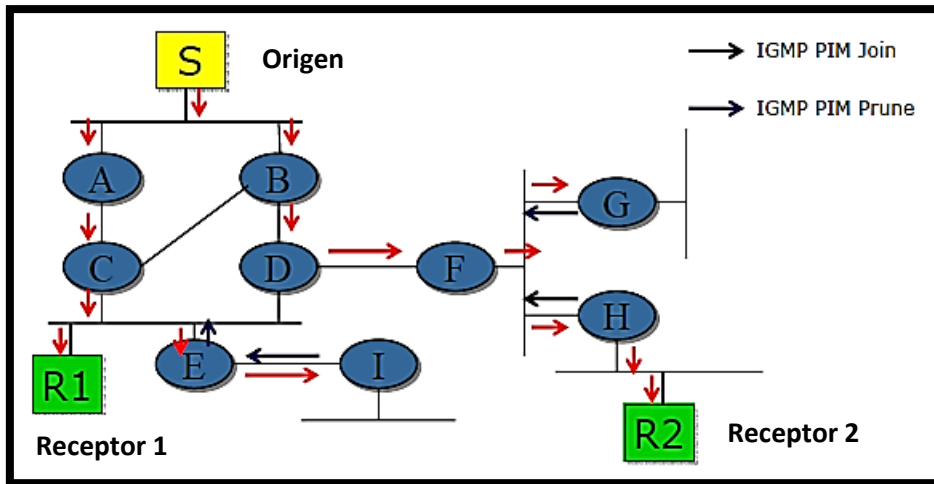


Figura. II.18. PIM DM: Join – Prune

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

El router multicast I es “podado”, la petición de poda del router multicast E es ignorada, y la petición de “poda” del router multicast G es sobreescrita, lo que se puede apreciar en la figura II.19.

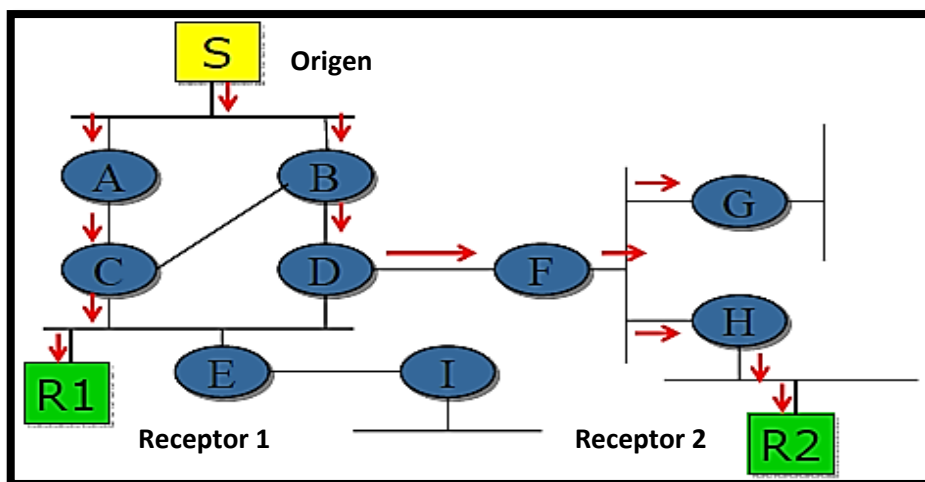


Figura. II.19. PIM DM: Petición de Poda

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

La figura II.20. muestra como aparece un nuevo receptor (R3) que cuelga del router multicast “I”. Este router “I” manda un mensaje de “injerto” (graft).

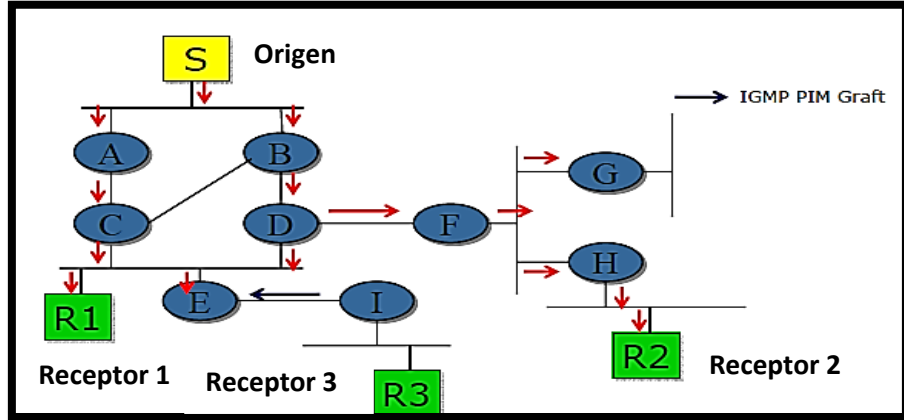


Figura. II.20. PIM DM: Graft

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

La figura II.21. muestra como el receptor pasa a ser parte de la distribución de la información.

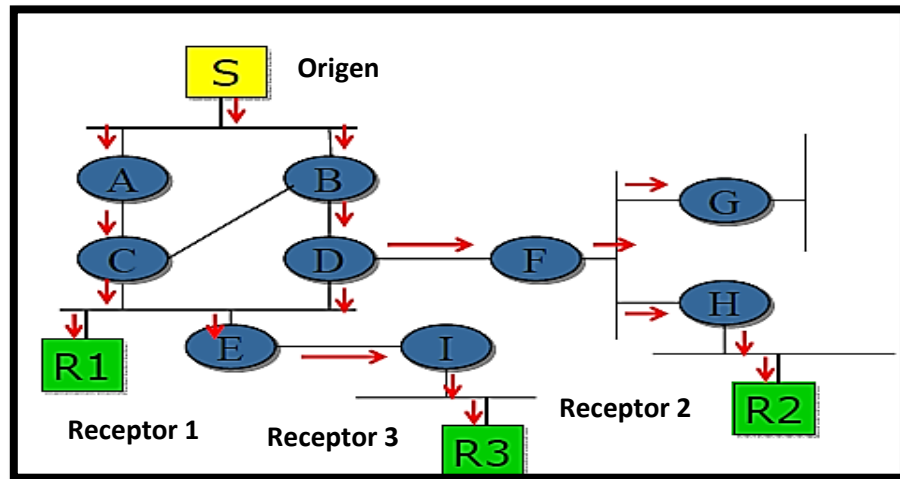


Figura. II.21. PIM DM: Distribución de información al nuevo participante

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

Se concluye que el protocolo PIM-DM envía datagramas multicast por todas las interfaces descendentes hasta que recibe un mensaje de poda, por lo que resulta obvio que PIM-DM necesita gestionar mensajes duplicados. Para aquellos casos en los que aparecen

miembros de un grupo en una rama podada del árbol de distribución. PIM-DM utiliza mensajes "graft" para volver a unir al árbol de distribución ramas previamente podadas

PIM-SM: PROTOCOL-INDEPENDENT MULTICAST - SPARSE MODE

PIM-SM ha sido desarrollado como un protocolo de routing multicast que proporcione una comunicación eficiente entre miembros de un grupo distribuidos de modo disperso, que resutan son el tipo de grupos más común en redes extensas. Sus diseñadores creyeron que una situación en la que varios nodos desean participar en una conferencia multicast no justifica la difusión del tráfico multicast en toda la red, y se temían que los protocolos de routing multicast existentes experimentarían problemas de escalado si se producían varios miles de pequeñas conferencia simultáneamente, creando gran cantidad de tráfico agregado que podría, potencialmente, saturar las conexiones de Internet. Para eliminar estos problemas potenciales de escalado, PIM-SM ha sido diseñado para limitar el tráfico multicast de modo que sólo aquellos routers interesados en recibir el tráfico dirigido a un grupo particular lo "vean".

PIM-SM está definido en RFC 2117, y presenta dos diferencias fundamentales con los protocolos de modo denso. Los routers que emplean el protocolo PIM-SM necesitan anunciar explícitamente su deseo de recibir datagramas multicast de grupos multicast, mientras que los protocolos de modo denso asumen que todos los routers necesitan recibir datagramas multicast a menos que explícitamente envíen un mensaje de poda. La segunda diferencia es el concepto de "core" o "punto de encuentro" (RP) que ha sido empleado en el protocolo PIM-SM. Como se muestra en la figura II.22.

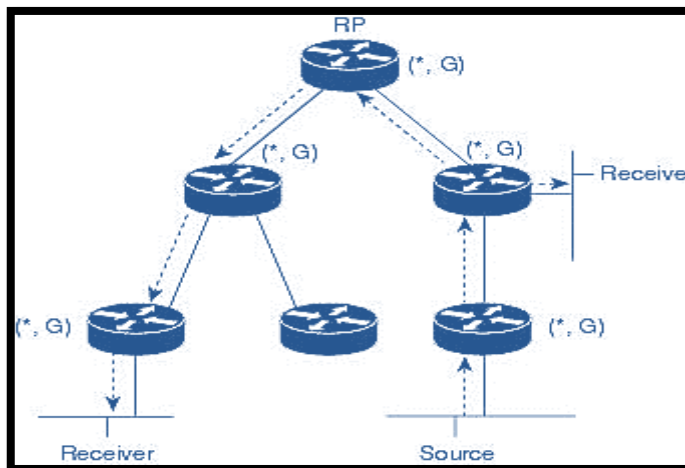


Figura. II.22. PIM DM: Punto de encuentro (Rendezvous Points)

Fuente: www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/mcst_ovr.html

PIM-SM tiene un enfoque similar al árbol Core-Based Tree (CBT) en el sentido de que emplea el concepto de rendezvous point (RP) donde los receptores "se encuentran" con los emisores. El iniciador de cada grupo multicast selecciona un RP y un pequeño conjunto ordenado de RPs alternativos, conocido como la lista-RP. Para cada grupo multicast hay un solo RP activo. Cada receptor que desea unirse a un grupo multicast contacta con su router directamente conectado, que por turno se une al árbol de distribución multicast enviando un mensaje explícito de adhesión al RP primario del grupo. El emisor utiliza el RP para anunciar su presencia y encontrar un camino a los miembros que se han unido al grupo, este modelo precisa que los routers en modo disperso mantengan un estado antes de la llegada de los datagramas. Los protocolos de routing multicast en modo disperso son dirigidos por los datos, puesto que no definen ningún estado para un grupo multicast hasta que llega el primer paquete de datos.

PIM SM: FUNCIONAMIENTO

Como se observa en la figura II.23. el Receptor 1 (R1) decide participar del grupo de multicast llamado G. El Router C crea el estado (*, Group (*cualquier fuente, grupo*)) y manda una señal de participación al RP (punto de reunión).

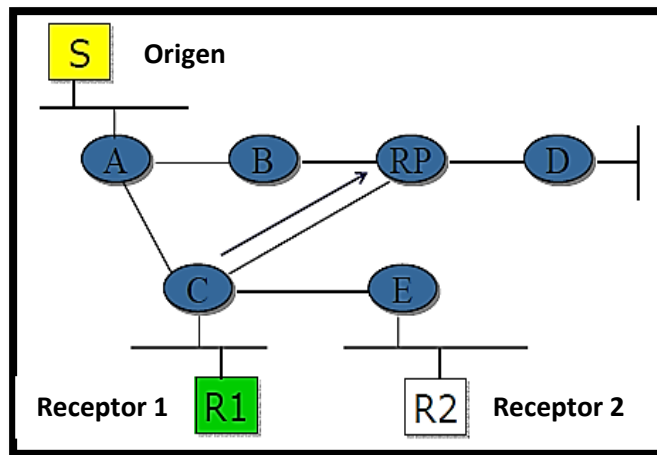


Figura. II.23. PIM SM: Punto de reunión (RP)

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

El RP (punto de reunión) crea un nuevo estado de distribución (*, Group (cualquier fuente, grupo)) a través del interface que lleva al router C, lo cual se aprecia en la figura II.24.

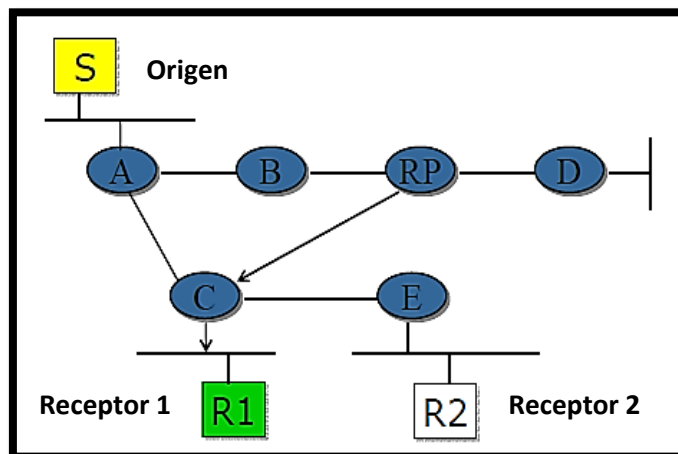


Figura. II.24. PIM SM: Creación de un estado de distribución

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

La figura II.25 muestra como la fuente S comienza a enviar datos hacia el RP. El router A encapsula estos paquetes de datos en paquetes de Registro y lo envía al RP.

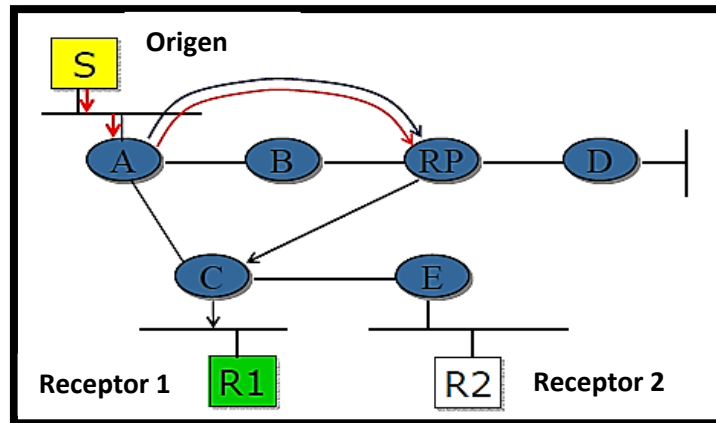


Figura. II.25. PIM SM: Envío de datos a RP

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

La figura II.26 muestra como el RP desencapsula estos paquetes de registro y envía la trama original de multicast a través de los puertos que tiene registrados para ese grupo de multicast (*, Group (cualquier fuente, grupo)). Además manda mensajes de Join hacia la fuente, indicando que es parte del grupo.

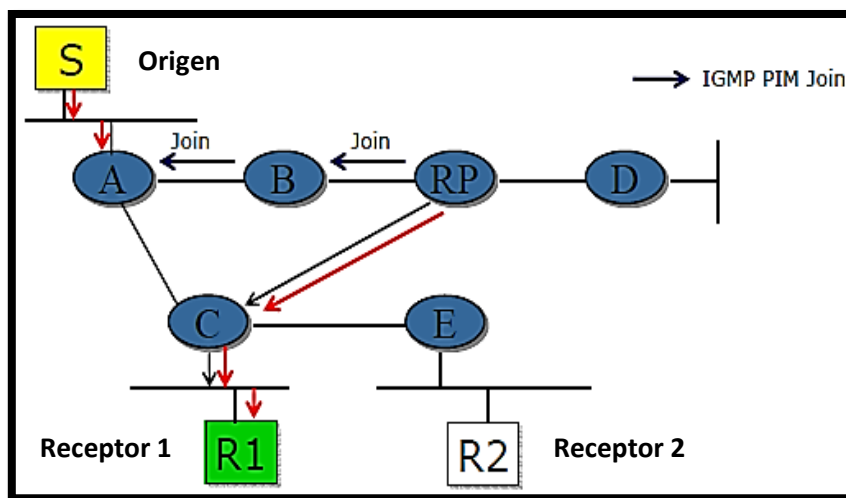


Figura. II.26. PIM SM: Desencapsulación de datos - Mensajes Join

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

Una vez que el RP recibe los mensajes de multicast sin encapsular, a través de los puertos correspondientes, manda un mensaje de finalización de registro hacia A, lo que se puede observar en la figura II.27.

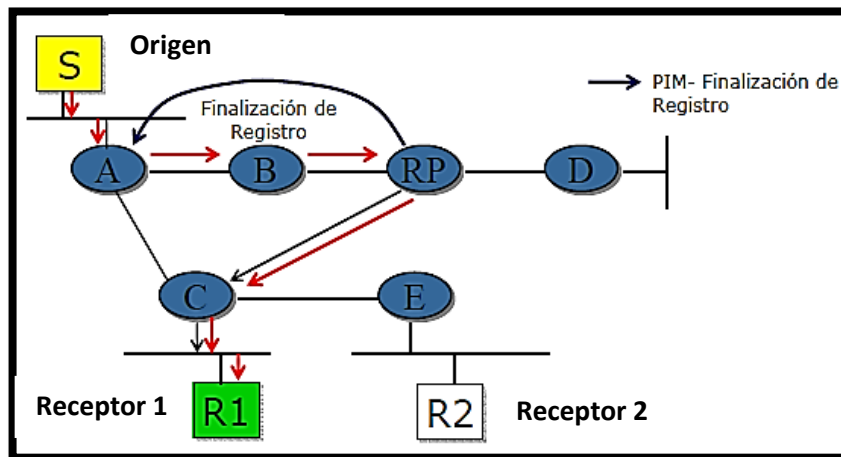


Figura. II.27. PIM SM: Finalización de Registro

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

La figura II.28. muestra como una vez que se ha llegado a un determinado nivel de congestión en el nodo C, decide conmutar a un árbol de ruta de acceso más corta.

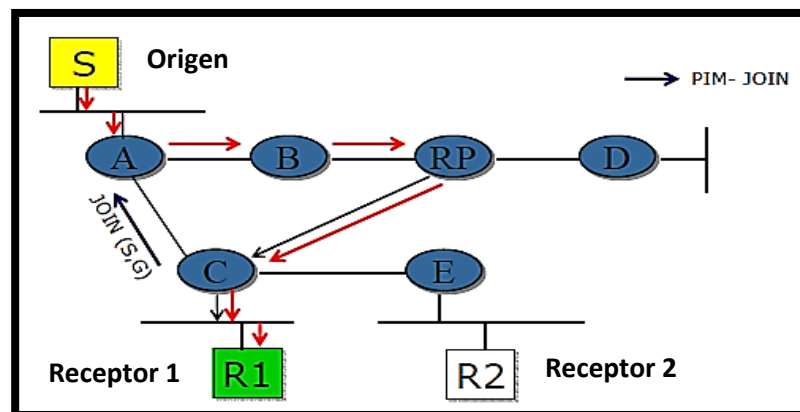


Figura. II.28. PIM SM: Conmutación de RPT a SPT

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

La figura II.29. muestra como el router C comienza a recibir datos nativos de Multicast.

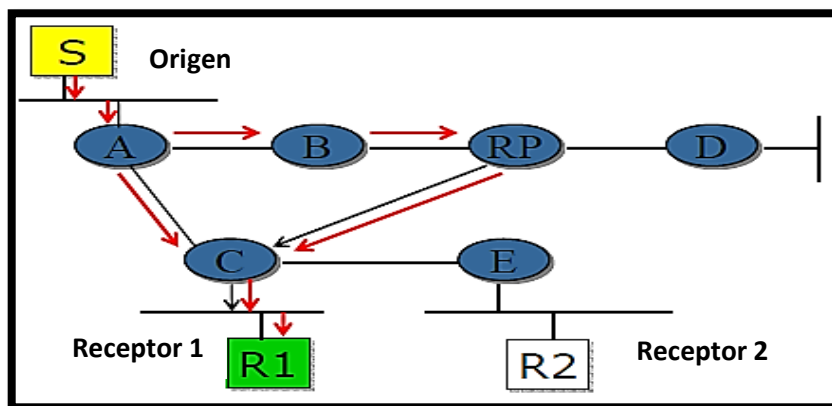


Figura. II.29. PIM SM: Recepción de datos multicast

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

El router C manda mensajes de “poda” hacia el RP. El RP borra la entrada (S, G) que tiene para el interface que va a C y manda mensajes de “poda” hacia la fuente, como se observa en la figura II.30.

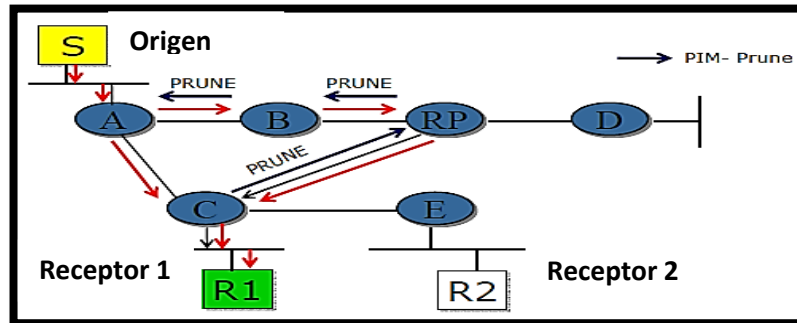


Figura. II.30. PIM Prune

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf
La figura II.31. muestra como la distribución de B y de RP hacia C es “podada”.

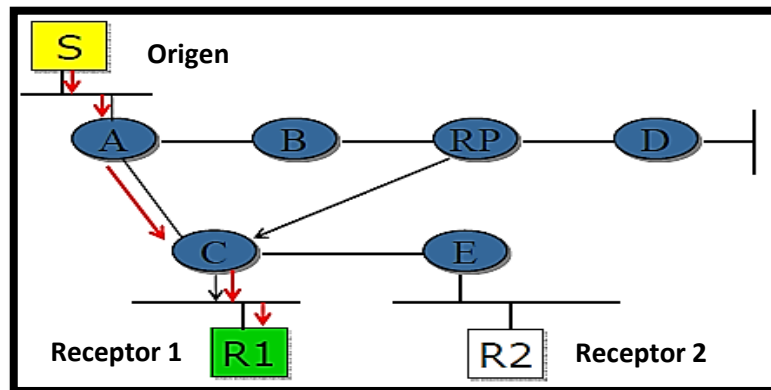


Figura. II.31. PIM SM: Ruta Podada

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

La figura II.32. muestra la Inserción de un nuevo participante:

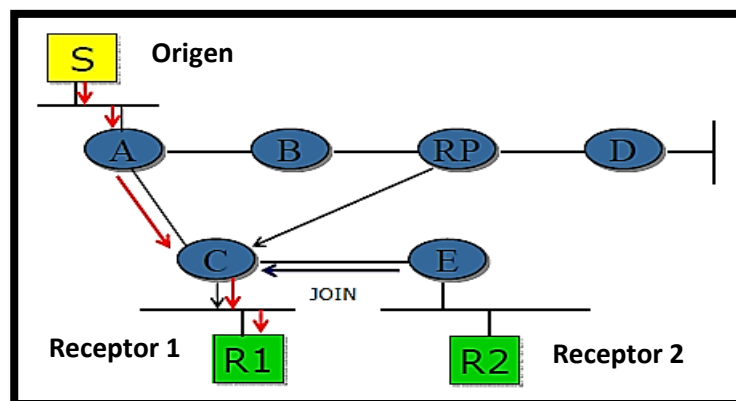


Figura. II.32. PIM SM: Inserción

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%2020IP%20Multicast.pdf

La figura II.33. muestra como el router C añade enlaces hacia E, haciendo que lleguen los datos de la fuente.

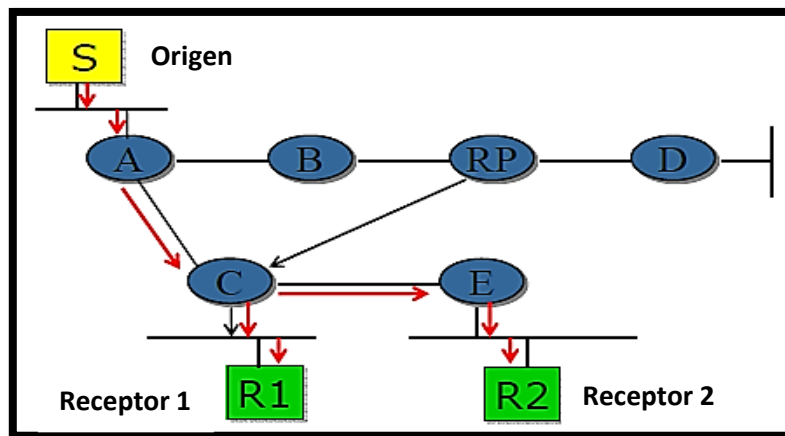


Figura. II.33. PIM SM: Enlaces añadidos

Fuente: ingteleco.webcindario.com/Redes/Apuntes/Tema%2012%20-%20IP%20Multicast.pdf

Se concluye que el protocolo PIM SM es comúnmente usado en redes extensas debido a que construye explícitamente árboles compartidos unidireccionales arraigados en un punto de encuentro (RP) por grupo, y opcionalmente crea árboles de la ruta más corta basados en el origen.

PROTOCOLO PIM SM-DM

Existe la posibilidad de configurar los routers multicast en modo mixto es decir de manera paralela el modo denso y disperso, de forma que si se conoce a un “Rendezvous Point” (para un rango de direcciones multicast) se trabaja en modo disperso (para el rango de direcciones multicast especificado), y si no en modo denso, llamándose este modo PIM-SM-DM. PIM Sparse Mode – Dense Modo: PIM SM-DM es un modo híbrido de las operaciones en modo Sparse y Dense. EL protocolo PIM SM es aquel que define un RP.

PIM SM-DM: FUNCIONAMIENTO

Al momento que trabaja como PIM Sparse Mode construye árboles de distribución multicast explícitos de los receptores a las fuentes, al momento de definir un RP designa un router especial para que sea conocido en el origen y el destino.

Si el receptor está interesado en el tráfico de un grupo multicast, este primero construye un árbol de distribución multicast hacia el RP, resultando un árbol compartido (*, Group (cualquier fuente, grupo)). Cuando una fuente aparece en la red, el router multicast más cercano se comunicará con el RP a través de unicast por el camino más corto, el RP construye un nuevo SPT hacia la fuente y se inicia el reenvío de tráfico multicast recibido por el árbol (*, G).

En cambio en PIM Dense Mode los routers inicialmente inundan de paquetes a todas sus interfaces multicast habilitadas. Si el router downstream determina que no tiene ningún host directamente conectado u otros routers disponibles para recibir tráfico multicast, envía un mensaje especial Prune PIM (poda) al router upstream. El router upstream entonces excluye la interfaz concreta desde el origen para los grupos podados. Las diferencias entre esto dos modos puede apreciarse en la figura II.34.

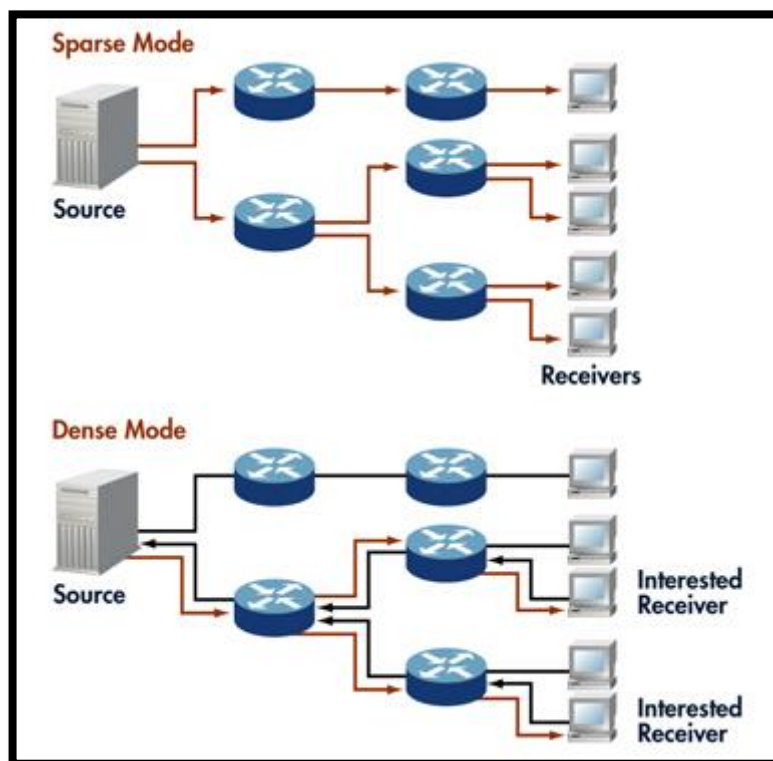


Figura. II.34. Diferencias entre PIM SM y PIM DM

Fuente: www.net130.com/CMS/Pub/network/network_protocol/2005_08_21_36977_2.htm

2.1.7. COMPARACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE ROUTING MULTICAST

Los criterios aplicables para la evaluación de los protocolos de routing multicast son los siguientes:

- Algoritmos para la construcción de árboles
- Tipo de árbol generado
- Tipos de dominios
- Ancho de banda que utilizan para la distribución de datos.
- Retardo medio de paquetes enviados
- Requerimientos en los buffers de los routers
- Escalabilidad

La tabla II.I. muestra la comparación de los protocolos multicast que se estudiarán.

Tabla II.I. Comparación de protocolos Multicast
Fuente: Los Autores

Criterios Aplicables Para Su Evaluación	PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO MULTICAST UTILIZADOS		
	MODO DENSO	MODO ESPARCIDO	MODO DENSO-ESPARCIDO
	PIM DM	PIM SM	PIM SM-DM
Algoritmos para la construcción de arboles	SPT, RP	SPT, RP	SPT, RP
Tipo de árbol generado	Árbol basado en el origen, árbol no compartido	Árbol basado en el origen y árbol compartido	Árbol basado en el origen y árbol compartido.
Tipos de dominios	Intra Dominio	Intra Dominio	Intra Dominio
Consumo de ancho de banda	Alto consumo por las inundaciones periódicas.	Bajo consumo de ancho de banda porque trabajan con arboles compartidos.	Depende del ancho de banda del enlace disponible de esta manera usa el método PIM-DM o PIM-SM
Retardo medio de paquetes enviados	Presentan mejor retardo ya que tiene la mejor ruta desde el origen hasta el destino, y posee un árbol por cada origen.	No se puede garantizar un buen retardo porque al utilizar un árbol compartido es posible que no se obtenga la mejor ruta desde el origen al destino.	El retardo dependerá del método utilizado ya sea PIM-DM o PIM-Sm
Requerimientos en los buffers de los routers	Utilizan considerablemente el buffer del router	Tiene menor consumo del buffer.	El consumo del buffer dependerá del método usado.
Escalabilidad	Sus inundaciones periodicas afectan la escalabilidad.	Presenta buena escalabilidad, al limitar su tráfico solo a los routers interesados.	La escalabilidad presentada se define por el método usado.

Según las características mencionadas anteriormente se definió teóricamente que el protocolo que mayor ventaja presenta frente a los otros fue PIM SM-DM, pues presenta criterios y prestaciones superiores a los protocolos ya mencionados mediante su modo de operabilidad.

2.2. IPTV

2.2.1. DEFINICIÓN

Televisión sobre el Protocolo de Internet es el significado de IPTV, es un sistema de distribución de contenidos de televisión y video hacia los usuarios a través de conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP. La tecnología IPTV se ha desarrollado en base al denominado video – streaming que consiste en la distribución de audio y video por internet. El desarrollo de IPTV está ligado al ancho de banda, ya que para obtener una imagen de calidad y en tiempo real es necesario poseer un gran ancho de banda. Por este motivo generalmente la entrega de este servicio es realizado por los operadores de banda ancha.

Es utilizada una arquitectura de red cerrada, en donde el operador añade IPTV como otro servicio para el usuario residencial, es así que a menudo IPTV es proporcionado en conjunción con video en demanda y puede ser unido con la telefonía y servicio de Internet, transmitiendo todo esto por la misma red, esto es llamado triple play, integración de voz, video y datos.

El proveedor no emitirá sus contenidos esperando que el espectador se conecte, sino que los contenidos llegarán solo cuando el cliente los solicite (PIM SM). La clave está en la

personalización del contenido para cada cliente de manera individual. Esto permite el desarrollo del pay per view o pago por evento o el video bajo demanda.

El usuario dispondrá de un aparato receptor conectado a su computador o a su televisión y a través de una guía podrá seleccionar los contenidos que desea ver o descargar para almacenar en el receptor y de esta manera poder visualizarlos tantas veces como desee.

Quizás una definición más simple de IPTV sería la entrega de contenido de televisión que, en vez de ser entregada en forma tradicional, es recibida por el espectador por las tecnologías usadas para redes de computadores.

2.2.2. ARQUITECTURA DE IPTV

La Figura II.35. muestra un sistema de arquitectura básica de IPTV, soportando aplicaciones de difusión de televisión y video bajo demanda (VoD).

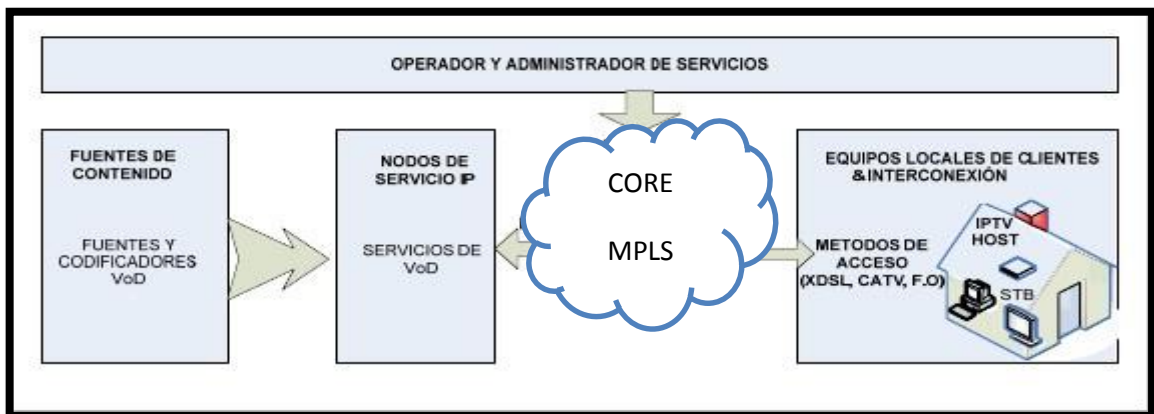


Figura. II.35. Arquitectura IPTV

Fuente: ldc.usb.ve/~poc/RedesII/Grupos/G5/funcionamiento_esquema.htm

Fuentes de contenido

Su función es recibir el contenido del video, codificarlo y almacenarlo en una base de datos (VoD), también conocido como Headend.

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. Estos nodos de servicio se comunican con el equipo local de clientes para la distribución de servicio y con el servicio IPTV atienden al suscriptor, sesión y dirección de derechos digitales. Los nodos de servicio pueden ser centralizados o distribuidos.

Redes de distribución:

Proporciona la capacidad de distribución, la calidad de servicio. Es necesaria para la 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) localizado en la central del operador de servicio. Normalmente se usa tecnologías como ATM, MPLS, entre otras.

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:

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.

Cientes 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 dispositivo, generalmente un set-top box, que realizan el tratamiento funcional, incluye control de conexión y calidad de servicio con el nodo de servicio, la decodificación del video streaming, el cambio de canal, el control de uso por usuario, conexión a interfaces de usuario como TV o monitores HDTV.

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. DISEÑO DE LA RED PARA EL PROTOTIPO DE PRUEBAS.

En el presente estudio se utilizó un prototipo de pruebas con una topología que permita demostrar la funcionalidad que multicast nos brinda en la prestación de servicios como lo es el de IPTV. A continuación se presenta el diseño del prototipo de pruebas, estableciéndose las características de cada elemento, con el fin de satisfacer los objetivos planteados en este trabajo.

3.1.1. ALCANCE DEL DISEÑO

Es necesario establecer los alcances del prototipo de pruebas de IPTV multicast acotando su funcionalidad acorde a los recursos y tiempo disponible para su desarrollo en el marco de este trabajo de grado. A continuación se establece los alcances del Laboratorio de IPTV.

El prototipo de pruebas se implementó en las instalaciones de la academia CISCO-ESPOCH, donde se utilizó routers Cisco de la serie 2800 para la simulación de un CORE

MPLS, junto con un servidor de streaming y sus respectivos clientes. Cabe recalcar que en los CORE de los ISPs por lo general cuentan con equipos Cisco de gama alta, sin embargo dado que los fines de este trabajo fue realizar pruebas con fines académicos se limitó usar los equipos existentes en la academia, por lo tanto quedó descartado como resultado obtener una plataforma de IPTV que posea desempeño y prestaciones aptas para ser utilizado con fines comerciales. Sin embargo el sistema debe posibilitar 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 consideraron aspectos docentes en el proceso de diseño al estructurar las actividades de forma evolutiva, desde un diseño básico hasta conformar una arquitectura de red más compleja. Por último cabe destacar que dado el carácter de bajo costo de la implementación es que nace la restricción de que todos los componentes que conforman el prototipo de pruebas de IPTV deberán ser constituidos a partir de proyectos de software libre ya existentes o demos de versiones comerciales.

3.2. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Considerando los alcances descritos anteriormente, se definió las características de diseño del prototipo de pruebas de IPTV, el cual cumplió con los lineamientos de la arquitectura básica usada en la industria de IPTV mostrado en la figura III.36.

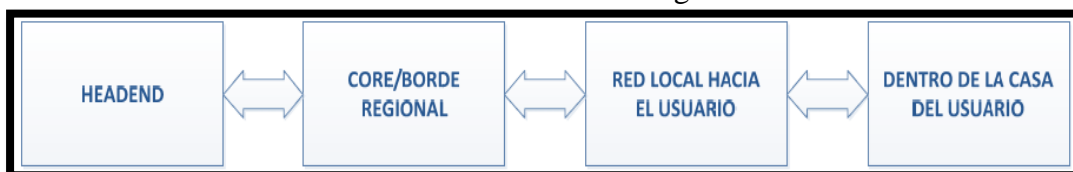


Figura. III.36. Modelo de un sistema de IPTV
Fuente: /www.idolamedia.com/documentos/estudio-iptv.pdf

Cada elemento se encuentra detallado a continuación con sus respectivas características:

3.2.1. HEADEND

Es la fuente del gran 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 y captura o ingresa el contenido del video en demanda al sistema. En nuestro prototipo el contenido multimedia se precargó con videos en un servidor de streaming.

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

a) SERVIDOR DE CONTENIDOS MULTIMEDIA.

La tabla III.II. muestra las características de la computadora que sirvió como servidor de contenidos multimedia.

Tabla III.II. Características del servidor de IPTV
Fuente: Los Autores

Equipo	Descripción
1 PC	S. O : Genuine Windows ® 7 Professional Procesador: Intel(R), Core(TM) i7-3520M CPU @ 2.9GHz Memoria: 4GbDDR3 SDRAM Tarjeta Gráfica: Intel HD Graphics Disco Duro: 500Gb, Serial ATA, 5400 rpm DVD-RAM / ± R / ± RW. Wifi 802.11 b/g/n, Ethernet gigabit, webcam, micrófono. Teclado, mouse, cargador CA.

b) SOFTWARE PARA LA EMISIÓN DE LOS STREAMINGS DE IPTV

El programa que se utilizó para la transmisión multicast del streaming de video fue el software libre VLC media player en su versión 2.1.

VLC es un reproductor de audio y video capaz de reproducir muchos códecs y formatos de audio y video, además de capacidad de streaming. La figura III.37. muestra la interfaz del reproductor VLC, el cual es software libre, distribuido bajo la licencia GPL.

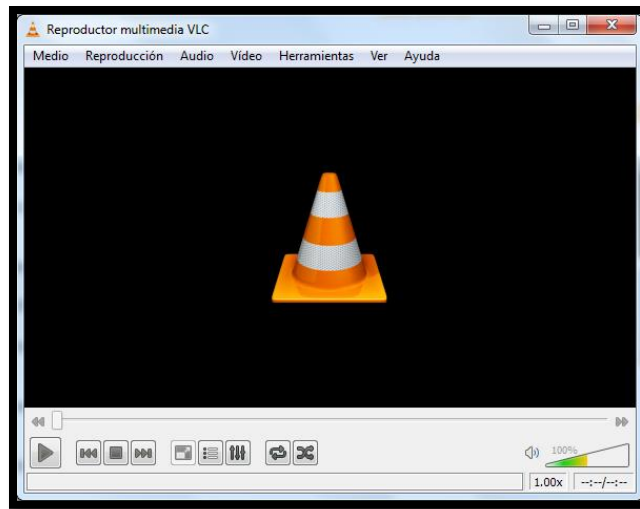


Figura. III.37. Reproductor multimedia VLC
Fuente: www.videolan.org/vlc/

c) VIDEOS PARA LA SIMULACIÓN DE CANALES DE TELEVISIÓN

El prototipo de pruebas de IPTV contó con dos canales de televisión, los cuales se simularon mediante dos videos. La tabla III.III. detalla sus características:

Tabla III.III. Videos empleados como canales de IPTV
Fuente: Los Autores

Nº	Video	Duración	Resolución	Video Codec	Audio Codec	Tamaño del video
1	BBC News	0:13:34	720x576	MPEG4	MPEG2AAC	310 MB
2	Viajes a los límites del universo NatGeo.	1:32:12	640x480	H.264-MPEG4	MP2	859 MB

3.2.2. CORE

Network Core o Núcleo de red es la capa encargada de proporcionar conectividad entre los distintos puntos de acceso (router, switch, etc). El Nucleo 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.

DISEÑO

El diseño del core del prototipo 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 III.38. muestra el escenario de pruebas diseñado para el desarrollo de esta investigación.

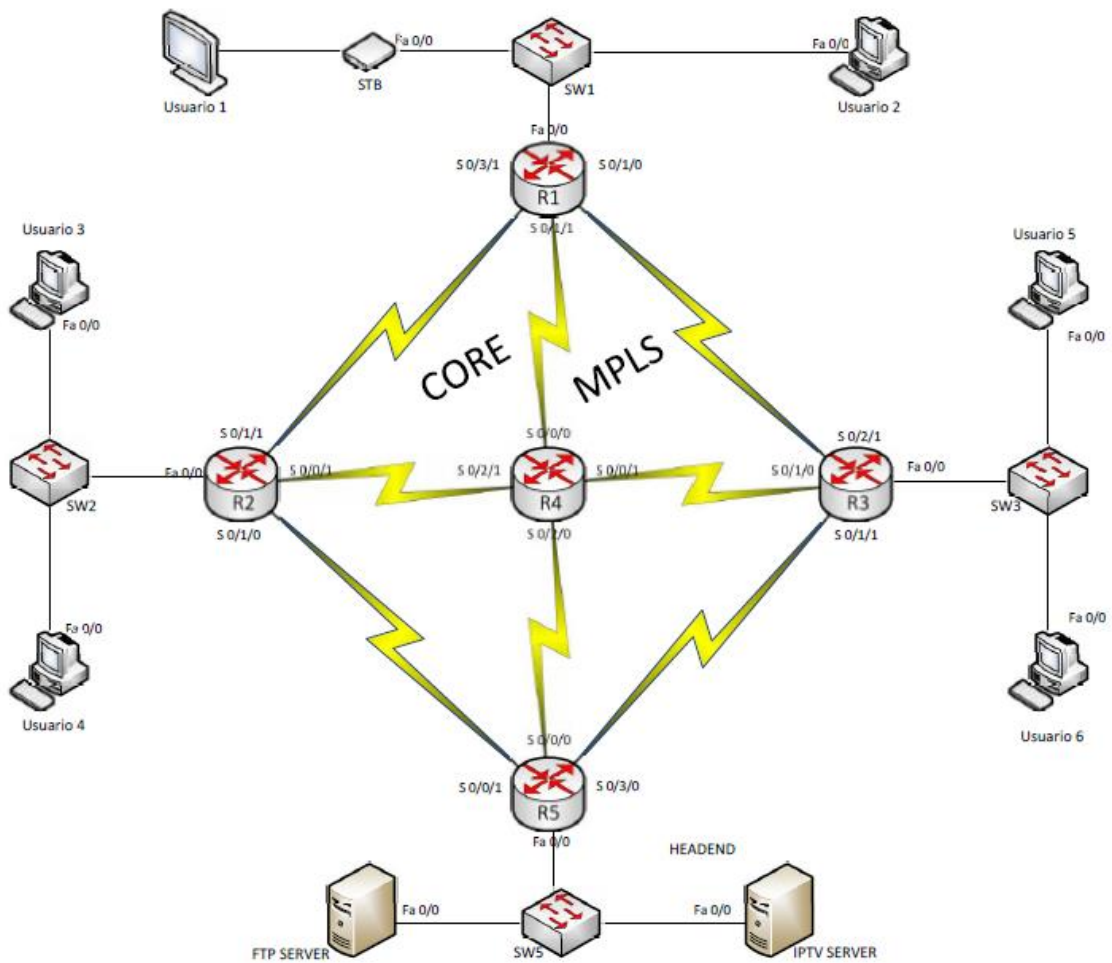


Figura. III.38. Escenario de pruebas.
Fuente: Los Autores

La tabla Tabla. III.IV. detalla el direccionamiento usado en el prototipo de pruebas

Tabla III.IV. Direccionamiento del prototipo de pruebas
Fuente: Los Autores

<i>Nombre</i>	<i>Interfaz</i>	<i>Dirección IPV4</i>	<i>Mascara</i>	<i>Default Gateway</i>
R1	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	-
R2	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	-

R3	Serial 0/1/0	10.1.15.2	255.255.255.252	-
	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	-
R4	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	-
R5	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	-
IPTV SERVER	Fa 0/0	192.168.3.2	255.255.255.0	192.168.3.1
FTP SERVER	Fa 0/0	192.168.3.3	255.255.255.0	192.168.3.1
STB(Usuario 1)	Fa 0/0	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1
Usuario 2	Fa 0/0	192.168.1.11	255.255.255.0	192.168.1.1
Usuario 3	Fa 0/0	192.168.2.10	255.255.255.0	192.168.2.1
Usuario 4	Fa 0/0	192.168.2.11	255.255.255.0	192.168.2.1
Usuario 5	Fa 0/0	192.168.4.10	255.255.255.0	192.168.4.1
Usuario 6	Fa 0/0	192.168.4.11	255.255.255.0	192.168.4.1

3.2.3. RED LOCAL HACIA EL USUARIO

Esta parte de la arquitectura es la encargada de interconectar el núcleo de la red con los respectivos clientes de la misma.

En el prototipo de pruebas 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 es un switch cisco catalyst 2960.

3.2.4. DENTRO DE LA CASA DEL USUARIO

El usuario final para poder disfrutar de los contenidos de IPTV disponibles en la red, necesita contar con un cable de conexión ethernet y un set top-box para cada televisor en el que se desee reproducir el contenido multimedia de IPTV.

Para la simulación de los clientes finales del prototipo de pruebas de IPTV se usaron computadores de escritorio, en los cuales se instalaron el reproductor VLC y además se implemento un set top-box, logrando de esta manera reproducir el contenido multimedia en un televisor.

SET-TOP BOX

Es el elemento necesario para 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 III.39. , además se mencionan las características del mismo.



Figura. III.39. Set-top Box MAG 250.

Fuente: www.infomir.eu/eng/products/iptv-stb-mag-250-micro/

- 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 (up to 40 Mbit / s and above)
- Audio codecs: MPEG-1 layer I / 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 Wi-Fi, 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.

3.3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE PRUEBAS.

La implementación del prototipo de pruebas de IPTV implica configurar todos los componentes definidos durante el diseño dentro de una misma 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 fines docentes, se tiene que los componentes del sistema deben correr en equipos separados posibilitando de este modo un análisis más profundo de la comunicación entre cada uno de ellos y de los protocolos involucrados.

Se comenzó con la implementación del CORE MPLS con los routers de la serie 2800 disponibles en la academia CISCO-ESPOCH, posteriormente en los computadores personales se instalaron los respectivos servidores y finalmente los computadores de la academia funcionaron como clientes como se muestra en la figura III.40.



Figura. III.40. Prototipo de pruebas de IPTV en fase de implementación.

Fuente: Los Autores

Una vez que se estableció el direccionamiento para el prototipo en la sección 3.2.2. se procedió a configurarlo en las respectivas interfaces de los routers con el siguiente comando:

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

Para tener conectividad entre 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 manejan tráfico con etiquetas.

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

Para que los clientes de la red puedan obtener direccionamiento automáticamente se implementó un servidor 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 ya el prototipo tiene completa conectividad unicast de extremo a extremo, pero aún no tiene la capacidad de transmitir tráfico multicast para lo cual se habilitó esta opción.

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

Ahora es necesario un protocolo de enrutamiento multicast para el envío de este tipo de tráfico, en esta parte se configuraron los protocolos 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 TCP saliente con el formato IPHC)  
  
Router(config-if)# ip rtp header-compression iphc-format (Comprime el tráfico RTP saliente 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 1.

3.3.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE IPTV BÁSICO

Como se mencionó en el diseño del prototipo, el software usado para que actúe como el servidor de streaming es VLC media player.

¹ http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_2/ip/configuration/guide/1cfmulti.html#wp1069177

VLC es un software de dominio público que permite realizar distribución de vídeo streaming por Internet. El software incorpora tanto las funciones de servidor como de cliente lo cual facilitó nuestra tarea al tener que usar una sola aplicación para todo como se aprecia en la figura III.42.

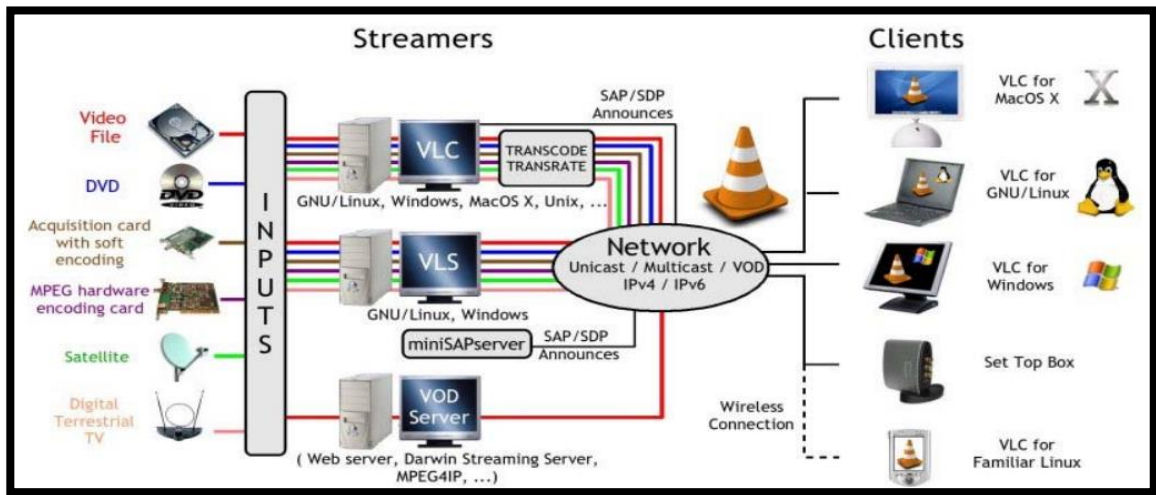


Figura. III.42. VideoLAN Streaming solutions.
Fuente: www.videolan.org/

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 III.43.

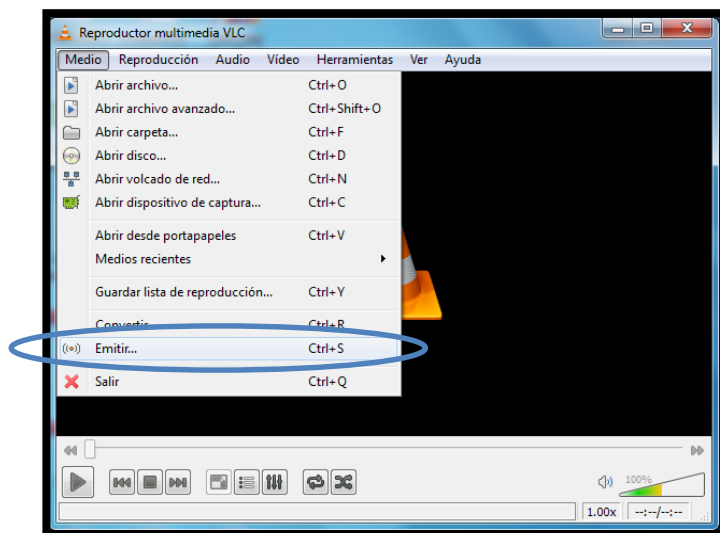


Figura. III.43. Emitir con VLC media player
Fuente: Los Autores

- Seleccionar el archivo o archivos a Emitir por el primer canal, como se observa en la figura III.44.

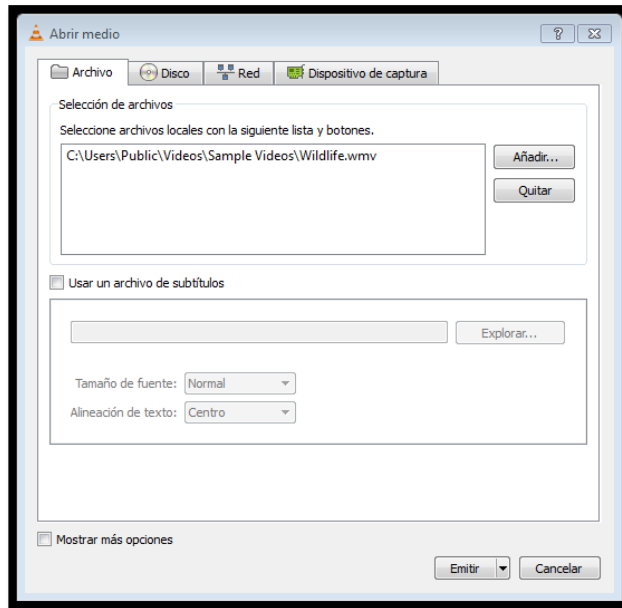


Figura. III.44. Abir medio con VLC Media Player
Fuente: Los Autores

- Seleccionar 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 III.45.

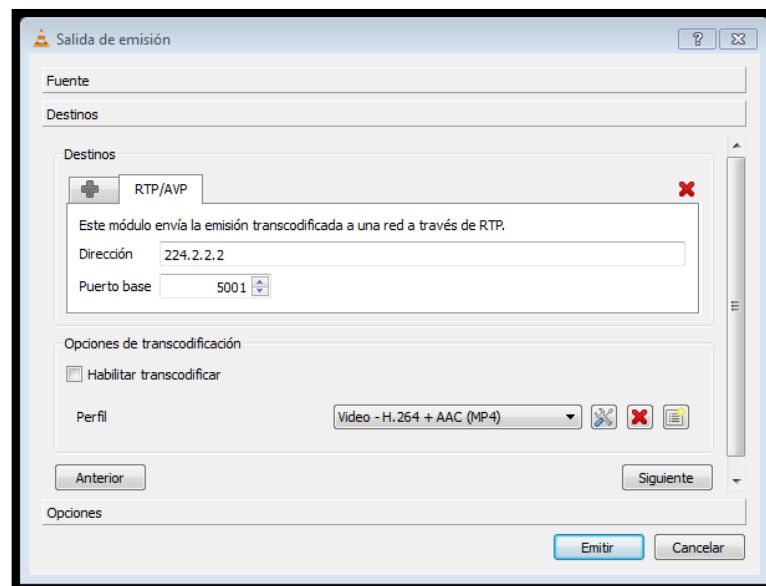


Figura. III.45. Selección de la dirección multicast a emitir con VLC Media Player
Fuente: Los Autores

- En la figura III.46. se puede observar como se configuró el TTL para el streaming, el cual por defecto es 1 lo cual 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 establecio el valor más alto que es 255 y se comenzó a emitir.

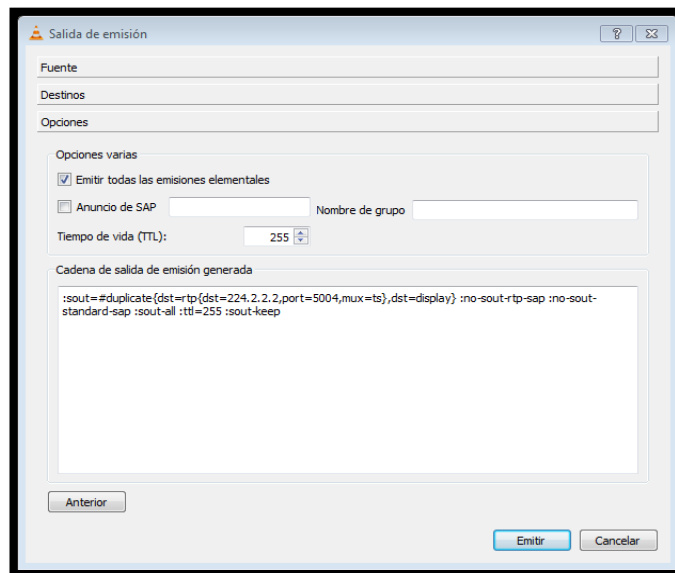


Figura. III.46. Establecer el valor de TTL para emitir con VLC Media Player
Fuente: Los Autores

3.3.3. CONFIGURACIÓN DEL FTP SERVER

Una vez que ya se contó con el prototipo de pruebas funcionando con IPTV, se necesitaba un factor adicional necesario para las pruebas que se realizaron de los protocolo multicast. Esto es la inmersión de tráfico adicional a la red y eso se lo hizo mediante un servidor FTP, el cual añadió flujo de datos al core MPLS, mediante la transferencia de un archivo comprimido con formato .rar de 2GB.

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 III.47.

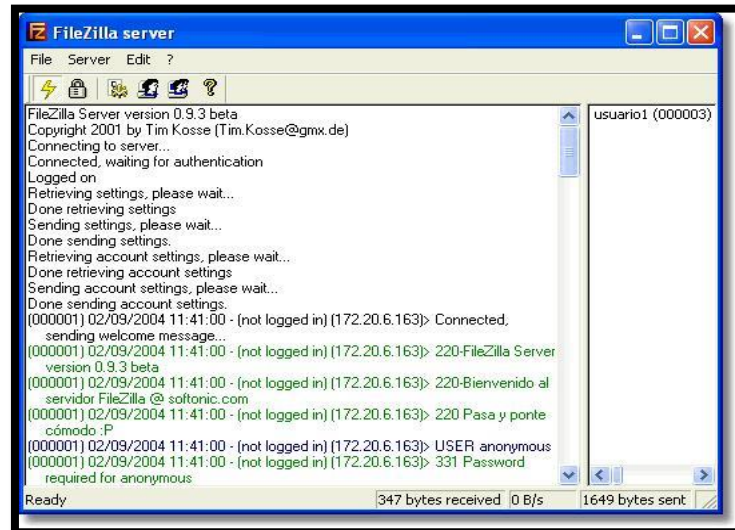


Figura. III.47. FileZilla Server
Fuente: Los Autores

3.3.4. CONFIGURACIÓN DEL PROBADOR FESTREAM

El objetivo principal de este trabajo de grado fue la comprobación del funcionamiento de los protocolos multicast aplicados a IPTV en el prototipo de pruebas. Estas pruebas se las realizaron con el software feStream probe, del cual se contaba con un demo de 30 días. Para la implementación de este probador solamente se ejecutó el instalador como se observa en la figura III.48.



Figura. III.48. Instalación de feStream
Fuente: Los Autores

feStream utiliza una interfaz Ethernet que este 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 III.49.

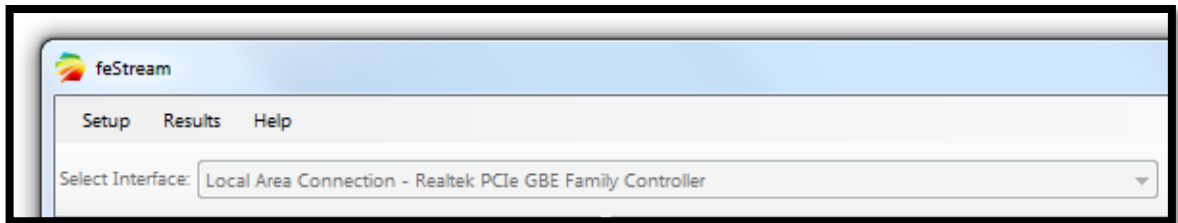


Figura. III.49. Selección de interfaz en feStream
Fuente: Los Autores

Los pasos a seguir para iniciar la aplicación fueron 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 haya cargado el software feStream como se observa en la figura III.50. se debe hacer clic en el botón “Start Testing”
- Cualquier stream de IPTV presente en el cable, este se mostrará en el tes 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.

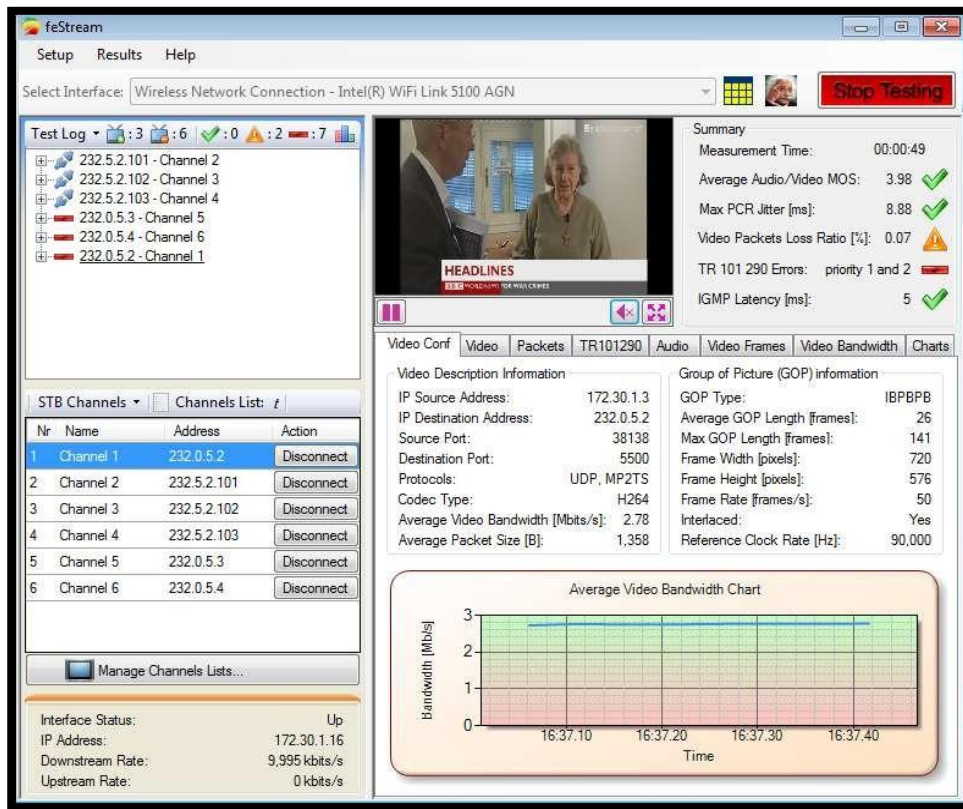


Figura. III.50. Interfaz de feStream

Fuente: Los Autores

En la figura III.51. se puede apreciar el prototipo de pruebas totalmente implementado:



Figura. III.51. Prototipo de pruebas de IPTV implementado.

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

Para el presente estudio se planteó la siguiente hipótesis: *“El estudio de los protocolos de enrutamiento multicast sobre MPLS permitirá determinar el protocolo más adecuado para la provisión del servicio de 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 probador de IPTV con los tres protocolos multicast de estudio 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

4.2. PROBADOR DE IPTV FESTREAM

El objetivo final del prototipo de pruebas, es que sirva para evaluar su 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 prototipo se usó un probador basado en software, cuya licencia de tres meses tiene un costo de 295 dólares, pero luego de realizar las respectivas gestiones se logró conseguir un demo de la versión comercial para 30 días, periodo 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

Esto componentes se muestran en la figura IV.52.

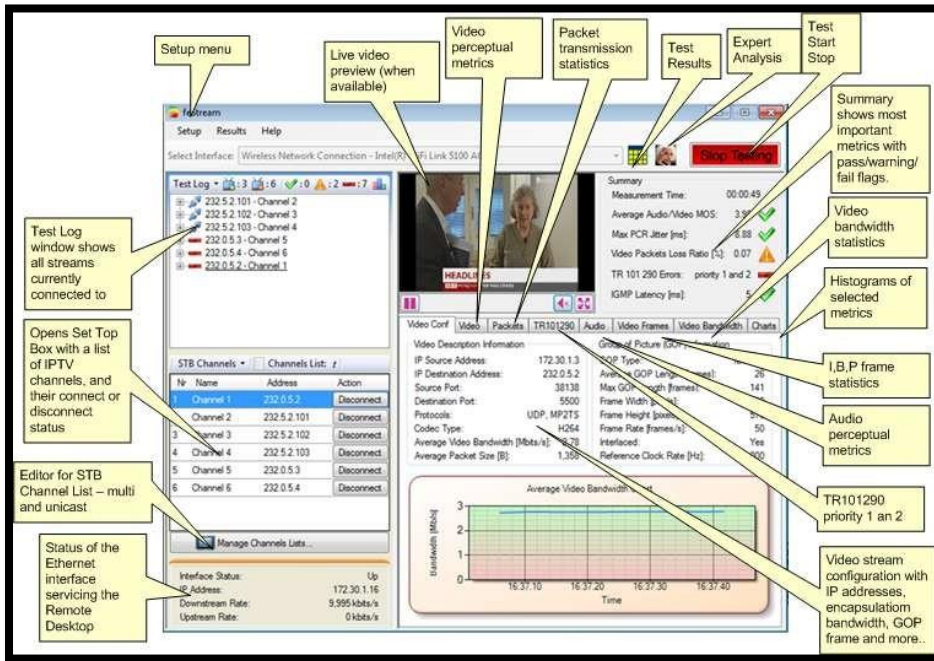


Figura. IV.52. Componentes de feStream

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

La figura IV.53. 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.

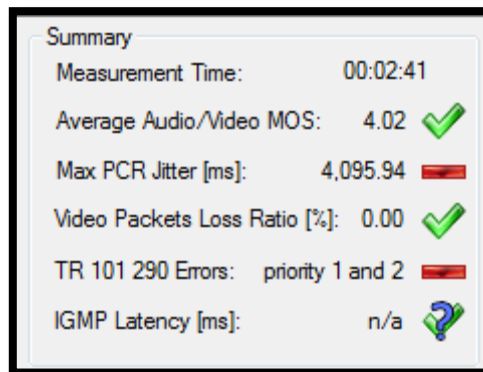


Figura. IV.53. Resumen de métricas usadas en feStream

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

² ATIS, QoS metrics for linear broadcast IPTV, 2010.

La tabla IV.V. muestra la descripción para cada ítem de la categoría “Summary”

Tabla IV.V. Descripción de las variables usadas por feStream
Fuente: <http://fetest.com/newsite/portfolio/festreamxmp-expert-monitoring-probe/>

<i>Pestaña</i>	<i>Categoría</i>	<i>Nombre de la métrica</i>	<i>Rango</i>	<i>Descripción</i>
Summary	Summary	Measurement Time	0 – 12 horas	El tiempo total de duración del test en segundos desde que el botón “Start” fue oprimido 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 toda la duración del 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.

4.3. VARIABLES A MEDIR

Las variables que el programa feStream permite evaluar van desde las más básicas hasta las más complejas variables de video y audio, 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 (%)”,

Parametros que se usan en el artículo científico publicado por la ATIS(3), titulado “QoS Metrics for Linear Broadcast IPTV”

³ Alliance for Telecommunications Industry Solutions, QoS Metrics for Linear Broadcast IPTV, 2010.

En la tabla IV.VI. se puede apreciar las variables a medir con su respectivo rango de valoración.

Tabla IV.VI. Descripción de las variables a medir
Fuente: <http://fetest.com/newsite/portfolio/festreamxmp-expert-monitoring-probe/>

Variable	Rango	Descripción
Average Audio/Video MOS	1.0 - 5.0	Es una medida “Mean Opinion Score” de la calidad perceptual del audio y video, calculada mediante un algoritmo especializado denominado VQMON. Donde 1 es una calidad pobre y 5 es la mejor calidad.
Max PCR Jitter (ms)	0 - ∞	Nos da en milisegundos la variabilidad del tiempo de ejecución de los paquetes de streaming.
Video Packet Loss Ratio (%)	0 - 100	Mide en porcentajes la pérdida de paquetes que existe en la transmisión del stream de IPTV

a) AVERAGE AUDIO/VIDEO MOS

Un análisis de vídeo perceptual se refiere al análisis de varias capas de un stream de paquetes de video en el extremo 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.

UIT-T P.800 define una escala de 1-5 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 IV.VII.

Tabla IV.VII. MOS para IPTV

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

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

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.

b) 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 la ilusión de movimiento. Sin embargo, los retrasos introducidos por la codificación, multiplexación y transmisión pueden causar una cantidad variable de retardo para los paquetes de vídeo que llega al decodificador. Este retraso causa estragos en el proceso de decodificación que provoca 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 nos mostrará 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.

c) VIDEO PACKET LOSS RATE

La pérdida de paquetes puede darse debido a las limitaciones de ancho de banda o congestión de la red.

También debido a errores de transmisión como por ejemplo con UDP donde no se pueden recuperar los paquetes enviados.

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 perdida de paquetes es aceptable.

4.4. CONSIDERACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS

Como se mencionó en el capítulo III sección 3.2.1, para este prototipo de pruebas solo 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(4), 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(5), 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 Broadban Forum, Achieving Quality IPTV over DSL, 2012.

⁵ MarketingCharts, How Much TV Do People Watch During the Day?, 2013.

⁶ Pitarque Alfonso, Métodos y Diseños de Investigación, 2010.

Dicho método fue elegido, ya que era el más adecuado en base al número de variables respuestas y factores con los que se contaba y por la manera en la que se estructuró la matriz de datos.

Una vez definidos estos parámetros se procedió a realizar las pruebas por cada protocolo, para lo cual el probador se implementó como un dispositivo pasivo de monitoreo, es decir como un cliente más de la red.

4.5. EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS

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 comenzó con la transmisión simultánea del video de 13 minutos (BBC News) 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 News) 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 (Viajes a los límites del universo NatGeo.) 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 (Viajes a los límites del universo NatGeo.) 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 SM

a) Primer Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.VIII.

Tabla IV.VIII. Primer Experimento con PIM SM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG2/ACC

Resolución: 720x576

Tipo: Noticiero

Tráfico: Solo 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	3,98	0,00
2	0:13:34	4,07	3,99	0,02
3	0:13:34	4,07	3,99	0,02
4	0:13:34	4,09	3,97	0,00
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	3,94	0,00
10	0:13:34	4,13	3,93	0,00
11	0:13:34	4,13	3,93	0,00
12	0:13:34	4,10	3,96	0,00
13	0:13:34	4,10	3,96	0,00
14	0:13:34	4,11	3,95	0,00
15	0:13:34	4,11	3,95	0,00
16	0:13:34	4,11	3,95	0,00
17	0:13:34	4,09	3,97	0,00
18	0:13:34	4,10	3,96	0,00
19	0:13:34	4,10	3,96	0,00
20	0:13:34	4,12	3,94	0,00
PROMEDIOS		4,10	3,96	0,00

b) Segundo Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.IX.

Tabla IV.IX. Segundo Experimento con PIM SM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 0:13:34
Video Codec: MPEG4
Audio Codec: MPEG2/ACC
Resolución: 720x576
Tipo: Noticiero
Tráfico: 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	4,06	4,42	1,80
2	0:13:34	4,04	4,44	1,81
3	0:13:34	4,04	4,44	1,81
4	0:13:34	4,06	4,42	1,80
5	0:13:34	4,05	4,43	1,81
6	0:13:34	4,05	4,43	1,81
7	0:13:34	4,04	4,44	1,81
8	0:13:34	4,04	4,44	1,81
9	0:13:34	4,03	4,45	1,81
10	0:13:34	4,05	4,43	1,81
11	0:13:34	4,06	4,42	1,80
12	0:13:34	4,05	4,43	1,81
13	0:13:34	4,03	4,45	1,81
14	0:13:34	4,04	4,44	1,81
15	0:13:34	4,04	4,44	1,81
16	0:13:34	4,02	4,46	1,82
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
PROMEDIOS		4,04	4,44	1,81

c) Tercer Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.X.

Tabla IV.X. Tercer Experimento con PIM SM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 1:32:12
Video Codec: H.264-MPEG4
Audio Codec: MP2
Resolución: 720x576
Tipo: Película
Tráfico: Solo IPTV

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

d) Cuarto Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XI.

Tabla IV.XI. Cuarto Experimento con PIM SM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 1:32:12
Video Codec: H.264-MPEG4
Audio Codec: MP2
Resolución: 640x480
Tipo: Película
Tráfico: 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	3,67	25,13	3,55
2	1:32:12	3,66	25,21	3,56
3	1:32:12	3,66	25,22	3,56
4	1:32:12	3,66	25,21	3,56
5	1:32:12	3,66	25,21	3,56
6	1:32:12	3,68	25,06	3,54
7	1:32:12	3,68	25,08	3,54
8	1:32:12	3,67	25,13	3,55
9	1:32:12	3,66	25,22	3,56
10	1:32:12	3,68	25,06	3,54
11	1:32:12	3,67	25,13	3,55
12	1:32:12	3,66	25,20	3,56
13	1:32:12	3,67	25,13	3,55
14	1:32:12	3,68	25,06	3,54
15	1:32:12	3,69	25,01	3,53
16	1:32:12	3,66	25,06	3,54
17	1:32:12	3,68	25,07	3,54
18	1:32:12	3,67	25,13	3,55
19	1:32:12	3,66	25,21	3,56
20	1:32:12	3,68	25,07	3,54
PROMEDIOS		3,67	25,13	3,55

4.5.2. PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM DM

a) Primer Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XII.

Tabla IV.XII. Primer Experimento con PIM DM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG2/ACC

Resolución: 720x576

Tipo: Noticiero

Tráfico: Solo IPTV

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

b) Segundo Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XIII.

Tabla IV.XIII. Segundo Experimento con PIM DM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG2/ACC

Resolución: 720x576

Tipo: Noticiero

Tráfico: 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	3,75	1,64
2	0:13:34	4,08	3,74	1,64
3	0:13:34	4,07	3,75	1,64
4	0:13:34	4,09	3,72	1,63
5	0:13:34	4,07	3,75	1,64
6	0:13:34	4,06	3,76	1,64
7	0:13:34	4,05	3,78	1,65
8	0:13:34	4,09	3,74	1,64
9	0:13:34	4,06	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	4,05	3,76	1,64
13	0:13:34	4,07	3,75	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	4,06	3,76	1,64
17	0:13:34	4,09	3,73	1,63
18	0:13:34	4,07	3,75	1,64
19	0:13:34	4,09	3,73	1,63
20	0:13:34	4,08	3,73	1,63
PROMEDIOS		4,07	3,75	1,64

c) Tercer Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XIV.

Tabla IV.XIV. Tercer Experimento con PIM DM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 1:32:12
Video Codec: H.264-MPEG4
Audio Codec: MP2
Resolución: 640x480
Tipo: Película
Tráfico: Solo IPTV

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

d) Cuarto Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XV.

Tabla IV.XV. Cuarto Experimento con PIM DM

Fuente: Los Autores

Duración del video : 1:32:12

Video Codec: H.264-MPEG4

Audio Codec: MP2

Resolución: 640x480

Tipo: Película

Tráfico: 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	3,95	24,25	5,17
2	1:32:12	3,94	24,81	5,28
3	1:32:12	3,94	24,71	5,26
4	1:32:12	3,96	24,19	5,15
5	1:32:12	3,99	24,01	5,11
6	1:32:12	4,00	23,05	4,91
7	1:32:12	3,95	24,45	5,21
8	1:32:12	3,96	24,24	5,16
9	1:32:12	3,97	24,13	5,14
10	1:32:12	3,96	24,15	5,14
11	1:32:12	3,98	24,07	5,13
12	1:32:12	3,98	24,07	5,13
13	1:32:12	3,97	24,13	5,14
14	1:32:12	3,97	24,13	5,14
15	1:32:12	3,96	24,19	5,15
16	1:32:12	3,99	24,01	5,11
17	1:32:12	3,95	24,65	5,25
18	1:32:12	3,96	24,23	5,16
19	1:32:12	3,97	24,13	5,14
20	1:32:12	4,05	23,00	4,9
PROMEDIOS		3,97	24,13	5,14

4.5.3. PRUEBAS CON EL PROTOCOLO PIM SM-DM

a) Primer Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XVI.

Tabla IV.XVI. Primer Experimento con PIM SM-DM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG2/ACC

Resolución: 720x576

Tipo: Noticiero

Tráfico: Solo 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	0,01
2	0:13:34	4,10	3,62	0,00
3	0:13:34	4,10	3,62	0,00
4	0:13:34	4,10	3,62	0,00
5	0:13:34	4,08	3,64	0,01
6	0:13:34	4,10	3,62	0,00
7	0:13:34	4,09	3,63	0,00
8	0:13:34	4,08	3,64	0,00
9	0:13:34	4,10	3,62	0,00
10	0:13:34	4,11	3,61	0,00
11	0:13:34	4,09	3,63	0,00
12	0:13:34	4,10	3,62	0,00
13	0:13:34	4,10	3,62	0,00
14	0:13:34	4,08	3,64	0,01
15	0:13:34	4,09	3,63	0,00
16	0:13:34	4,08	3,64	0,00
17	0:13:34	4,08	3,64	0,01
18	0:13:34	4,07	3,65	0,00
19	0:13:34	4,09	3,63	0,00
20	0:13:34	4,08	3,64	0,01
PROMEDIOS		4,09	3,63	0,00

b) Segundo Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XVII.

Tabla IV.XVII. Segundo Experimento con PIM SM-DM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 0:13:34

Video Codec: MPEG4

Audio Codec: MPEG2/ACC

Resolución: 720x576

Tipo: Noticiero

Tráfico: 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	4,07	3,50	1,80
4	0:13:34	4,06	3,51	1,81
5	0:13:34	4,09	3,48	1,79
6	0:13:34	4,08	3,49	1,79
7	0:13:34	4,08	3,49	1,79
8	0:13:34	4,09	3,48	1,79
9	0:13:34	4,07	3,50	1,80
10	0:13:34	4,08	3,49	1,79
11	0:13:34	4,06	3,51	1,81
12	0:13:34	4,06	3,51	1,81
13	0:13:34	4,06	3,51	1,81
14	0:13:34	4,08	3,49	1,79
15	0:13:34	4,09	3,48	1,79
16	0:13:34	4,07	3,50	1,80
17	0:13:34	4,06	3,51	1,81
18	0:13:34	4,06	3,51	1,81
19	0:13:34	4,05	3,52	1,81
20	0:13:34	4,07	3,50	1,80
PROMEDIOS		4,07	3,50	1,80

c) Tercer Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XVIII.

Tabla IV.XVIII. Tercer Experimento con PIM SM-DM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 1:32:12
 Video Codec: H.264 - MPEG4
 Audio Codec: MP2
 Resolución: 640x480
 Tipo: Película
 Tráfico: Solo 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	3,73	26,99	0,86
3	1:32:12	3,72	27,06	0,86
4	1:32:12	3,71	27,13	0,86
5	1:32:12	3,72	27,06	0,85
6	1:32:12	3,71	27,13	0,86
7	1:32:12	3,73	26,99	0,86
8	1:32:12	3,73	26,99	0,86
9	1:32:12	3,72	27,06	0,86
10	1:32:12	3,73	26,99	0,86
11	1:32:12	3,73	26,99	0,86
12	1:32:12	3,72	27,06	0,85
13	1:32:12	3,73	26,99	0,86
14	1:32:12	3,71	27,13	0,87
15	1:32:12	3,72	27,06	0,86
16	1:32:12	3,71	27,13	0,86
17	1:32:12	3,73	26,99	0,87
18	1:32:12	3,72	27,06	0,84
19	1:32:12	3,71	27,13	0,86
20	1:32:12	3,71	27,13	0,86
PROMEDIOS		3,72	27,06	0,86

d) Cuarto Experimento

Los resultados de este experimento se muestran en la tabla IV.XIX.

Tabla IV.XIX. Cuarto Experimento con PIM SM-DM
Fuente: Los Autores

Duración del video : 1:32:12
 Video Codec: H.264 - MPEG4
 Audio Codec: MP2
 Resolución: 640x480
 Tipo: Película
 Tráfico: 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	3,97	25,44	5,05
2	1:32:12	3,98	25,38	5,04
3	1:32:12	3,96	25,51	5,06
4	1:32:12	3,96	25,51	5,06
5	1:32:12	3,97	25,44	5,05
6	1:32:12	3,97	25,46	5,05
7	1:32:12	3,96	25,51	5,06
8	1:32:12	3,94	25,65	5,09
9	1:32:12	3,95	25,60	5,08
10	1:32:12	3,95	25,58	5,08
11	1:32:12	3,99	25,35	5,03
12	1:32:12	3,97	25,44	5,05
13	1:32:12	3,99	25,32	5,03
14	1:32:12	4,00	25,25	5,01
15	1:32:12	3,97	25,46	5,05
16	1:32:12	3,97	25,44	5,05
17	1:32:12	3,99	25,32	5,03
18	1:32:12	3,99	25,34	5,03
19	1:32:12	3,98	25,38	5,04
20	1:32:12	3,99	25,34	5,03
PROMEDIOS		3,97	25,44	5,05

4.5.4. RESULTADOS GENERALES

En la tabla IV.XX se muestran los promedios de los resultados en los cuatro experimentos con cada protocolo.

Tabla IV.XX. Resultados Generales
Fuente: Los Autores

Nº Exp.	Descripción	PIM SM			PIM DM			PIM SM-DM		
		Métricas			Métricas			Métricas		
		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 tráfico solo de IPTV	4,10	3,96	0,00	4,09	3,56	0,00	4,09	3,63	0,00
2	Video corto con tráfico de IPTV y FTP.	4,04	4,44	1,81	4,07	3,75	1,64	4,07	3,50	1,80
3	Video largo con tráfico solo de IPTV	3,72	27,38	0,99	3,64	27,00	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
Promedio Total		3,883	15,228	1,588	3,943	14,61	1,88	3,963	14,91	1,928

4.6. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la comprobación de la hipótesis se diseñó tres experimentos, los cuales estarán enfocados a evaluar cada variable en base a los tres protocolos que son tema de este estudio, por lo que para el experimento 1 la variable a evaluar será la calidad de audio y video MOS, en el experimento 2 la variable es el jitter y en el experimento 3 es el porcentaje de pérdida de paquetes.

4.6.1. DISEÑO GENERAL DEL EXPERIMENTO

DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.- Conocer si al realizar una transmisión de IPTV junto con carga adicional como tráfico FTP y el tipo de protocolo de enrutamiento multicast, influye en las métricas de estudio.

FACTORES.- Para los experimentos se consideró dos factores que son:

a) PROTOCOLOS

- PIM DM
- PIM SM
- PIM SM-DM

b) CANTIDAD DE TRÁFICO EN LA RED(CARGA)

- Solo IPTV
- IPTV y FTP

VARIABLE RESPUESTA: Métrica del Experimento

INDIVIDUO: Streaming de IPTV.

UNIDAD EXPERIMENTAL: Depende de la métrica del experimento.

HIPÓTESIS

Las hipótesis que se plantearon son las siguientes:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$

H_1 : No todas las μ_1 son iguales.

<p>H_0: Hipótesis Nula μ: Media de la variable en estudio. H_1: Hipótesis Alternativa</p>
--

Las formulas expresan que la hipótesis nula dice que todas las medias de la variables en estudio son iguales, encambio la hipótesis alternativa dice que no todas las medias de las variables son iguales.

4.6.2. MODELO ESTADÍSTICO

Debido a que se dispone de 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, la misma puede observarse en el Anexo 2.

Este análisis se realizó a un nivel de confianza del 95% como se muestra en la figura IV.54. 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.

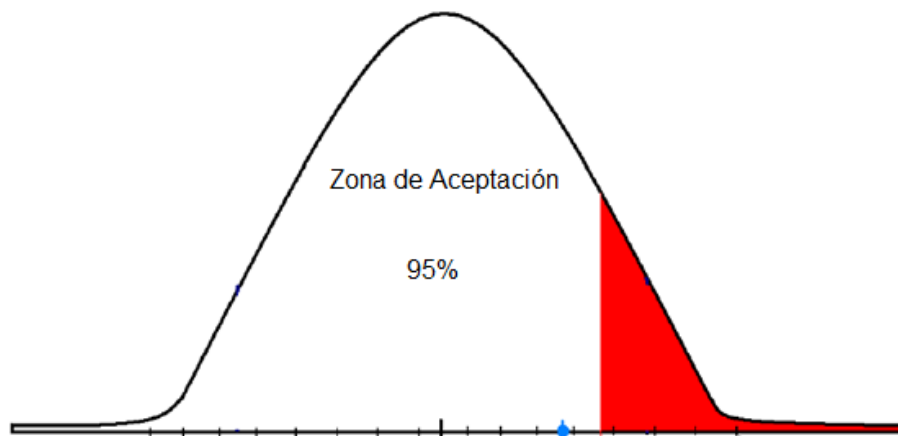


Figura. IV.54. Nivel de confianza aplicado en el diseño factorial.
Fuente: Los Autores

a) DISEÑO FACTORIAL MIXTO 2X3

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.

PASOS para realizar un diseño factorial:

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

2º. 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.

VENTAJAS:

- Permite un mejor estudio del comportamiento ya que, en la vida real, se ve influido por más de un factor

- Usa más eficazmente los recursos porque utiliza la misma muestra para evaluar simultáneamente los efectos de dos o más factores (con la misma precisión que en los experimentos unifactoriales).
- Permite evaluar los efectos de la interacción entre las variables.

ANÁLISIS DE DATOS: mediante una tabla ANOVA o su equivalente no paramétrica

b) 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 y homoscedásticas, es decir, con idénticas varianzas.

La tabla IV.XXI muestra un modelo de tabla ANOVA, donde se pueden apreciar sus componentes.

Tabla IV.XXI. Tabla ANOVA
Fuente: web.cortland.edu/matresearch/anova-i.pdf

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F
Tratamientos (entre grupos)	$\sum_{i=1}^a n_i(\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2$	$a - 1$	$SC_{Tratamientos}/(a - 1)$	$CM_{Tratamientos}/CM_E$
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.

c) DETERMINACIÓN DEL 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 varianzas 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 cuyo estadístico 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:

$$DSM = |\bar{X}_i - \bar{X}_j| = t \sqrt{\frac{2s^2}{n}} \qquad DSM = t_{1-\frac{\alpha}{2}, Error} \sqrt{\frac{2CM_{Error}}{n}}$$

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 formulas utilizadas para el calculo del LSD como se muestra en la tabla IV.XXII.

Tabla IV.XXII. Formulas para obtener el LSD
Fuente: web.cortland.edu/matresearch/anova-i.pdf

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

Donde:

t = t de Student

k = constante

CM_E = 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.

4.6.3. EXPERIMENTO 1

Este experimento fue enfocado al 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.

a) DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Experimento.- Conocer si el realizar una transmisión de IPTV junto con carga adicional como tráfico FTP y el tipo de protocolo de enrutamiento multicast, influye en la calidad de audio y video MOS.

Variable Respuesta: Calidad de Audio y Video MOS.

Individuo: Streaming de IPTV.

Unidad Experimental: Adimensional.

b) HIPÓTESIS

Las hipótesis que se formularon para este experimento son:

H_0 : No existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre la calidad de audio y video MOS.

H_1 : Existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre la calidad de audio y video MOS.

H_0 : No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre la calidad de audio y video MOS.

H_1 : Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre la calidad de audio y video MOS.

H_0 : 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.

H_1 : 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.

c) RESULTADOS

- **TABLA ANOVA**

A lo que se ingresó la matriz de datos al software estadístico, se pudo obtener la tabla Anova como se muestra en la tabla IV.XXIII

Tabla IV.XXIII. Tabla ANOVA del Experimento 1
Fuente: Software Minitab V16.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
PROTOCOLO	1	0,31465	0,31465	11,38	0,001
CARGA	2	0,27695	0,138475	5,01	0,007
Interacción	2	0,49445	0,247225	8,94	0
Error	234	6,4698	0,027649		
Total	239	7,55585			

S = 0,1663

R-cuad. = 14,37%

R-cuad.(ajustado) = 12,54%

- ✓ Según la tabla Anova IV.XXIII, al tener un valor $p = 0,001$ que es menor que el nivel de significancia 0,05 se rechaza la hipótesis nula y decimos que existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre la calidad de audio y video MOS.
- ✓ Según la tabla Anova IV.XXIII, al tener un valor $p = 0,007$ que es menor que el nivel de significancia 0,05 se rechaza la hipótesis nula y decimos que existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red (Carga) sobre la calidad de audio y video MOS.
- ✓ Según la tabla Anova IV.XXIII, al tener un valor $p = 0,00$ que es menor que el nivel de significancia 0,05 se rechaza la hipótesis nula y decimos 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 gráfica de interacción IV.55. se observa que el mejor 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

cuestión de calidad de audio y video MOS nos brindan aunque se cuente con 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.

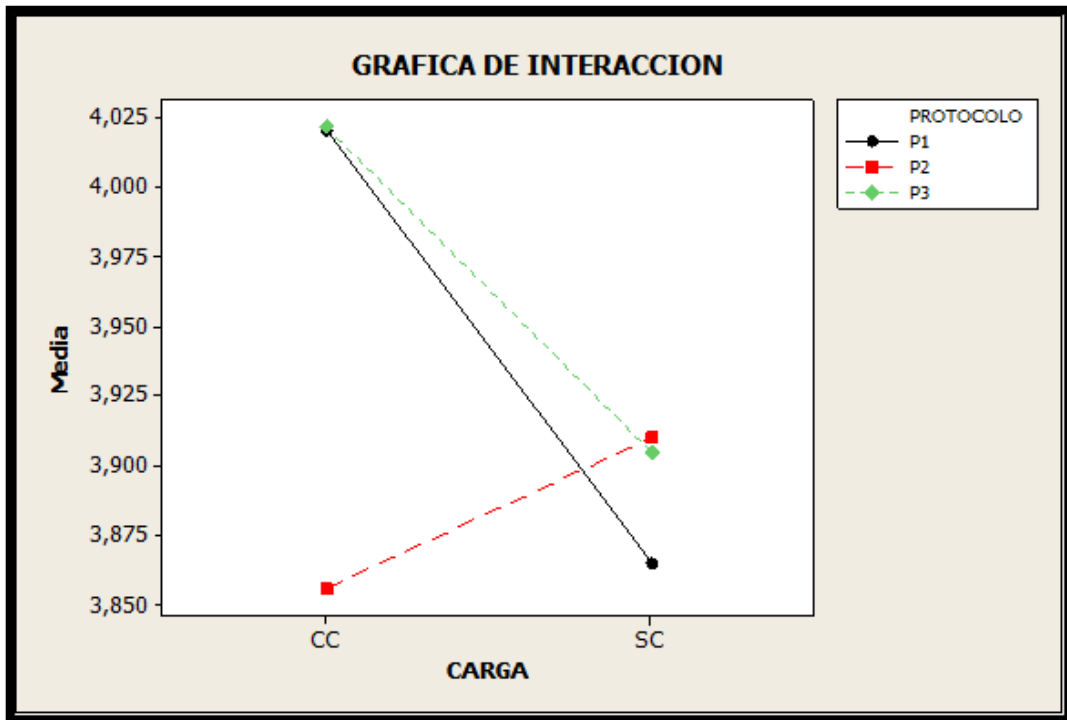


Figura. IV.55. Gráfica de interacción del Experimento 1
Fuente: Software Minitab v.16

- **COMPARACIÓN DE MEDIAS**

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 IV.XXIV, donde se tiene las medias de la métrica de calidad de audio y video MOS para los tres protocolos

Tabla IV.XXIV. Tabla de medias del Experimento 1
Fuente: Los Autores

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

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 IV.XXV.

Tabla IV.XXV. Calculo de LSD del Experimento 1
Fuente: Software Minitab v.16

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

Tambien se presenta la tabla IV.XXVI. de comparación de varianzas de los valores de cada protocolo en donde en relación al valor de LSD se determina si los protocolos son estadísticamente iguales o no.

Tabla IV.XXVI. Determinación de igualdades del Experimento 1
Fuente: Software Minitab v.16

P1-P2	1,70267	DIFERENTES
P1-P3	0,0595	IGUALES
P2-P3	1,4321	DIFERENTES

P1: PIM DM

P2: PIM SM

P3: PIM SM-DM

El método de comparación de medias LSD nos dice que en lo que respecta a la calidad de audio y video, **el protocolo PIM-DM estadísticamente es igual al protocolo PIM SM-DM.**

d) DETERMINACIÓN DEL PROTOCOLO GANADOR

El método de comparación de medias LSD nos arroja a los protocolos PIM DM y PIM SM-DM como 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.

4.6.4. EXPERIMENTO 2

Este experimento fue enfocado al estudio de la variable “Max PCR Jitter (ms)” que es una métrica que nos mostrará 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.

a) DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Experimento.- Conocer si el realizar una transmisión de IPTV junto con carga adicional como tráfico FTP y el tipo de protocolo de enrutamiento multicast, influye en el Max PCR Jitter.

Variable Respuesta: Max PCR Jitter.

Individuo: Streaming de IPTV.

Unidad Experimental: milisegundos [ms]

b) HIPÓTESIS

Las hipótesis que se formularon para este experimento son:

H_0 : No existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el Max PCR jitter.

H_1 : Existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el Max PCR jitter.

H_0 : No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el Max PCR jitter.

H_1 : Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el Max PCR jitter.

H_0 : 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.

H_1 : 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.

c) RESULTADOS

- **TABLA ANOVA**

Luego de haber ingresado nuestra matriz de datos al software estadístico, se pudo obtener la tabla Anova de este experimento visualizada en la tabla IV.XXVII.

Tabla IV.XXVII. Tabla ANOVA del Experimento 2
Fuente: Software Minitab v.16

TABLA ANOVA PARA 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	2,165	0,02	0,983
Error	234	29816,8	127,422		
Total	239	29918,7			

- ✓ Según la tabla Anova IV.XXVII, al tener un valor $p = 0,395$ que es mayor que el nivel de significancia 0,05 no se rechaza la hipótesis nula y decimos que No existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el Max PCR jitter.

- ✓ Según la tabla Anova IV.XXVII, al tener un valor $p = 0,981$ que es mayor que el nivel de significancia 0,05 no se rechaza la hipótesis nula y decimos que No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red (carga) sobre el Max PCR jitter.

- ✓ Según la tabla Anova IV.XXVII, al tener un valor $p = 0,983$ que es mayor que el nivel de significancia 0,05 no se rechaza la hipótesis nula y decimos 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.

- **DETERMINACIÓN DEL PROTOCOLO GANADOR**

En este experimento no se pudo determinar un protocolo multicast ganador ya que como resultado se obtuvo que este factor no incide en el Max PCR jitter. Así que si se considera este aspecto se pudo implementar ya sea PIM SM, PIM DM o PIM SM-DM.

4.6.5. EXPERIMENTO 3

Este experimento se enfocó 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.

a) DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Experimento.- Conocer si el realizar una transmisión de IPTV junto con carga adicional como tráfico FTP y el tipo de protocolo de enrutamiento multicast, influye en el porcentaje de paquetes perdidos.

Variable Respuesta: Porcentaje de paquetes perdidos.

Individuo: Streaming de IPTV.

Unidad Experimental: Porcentaje

b) HIPÓTESIS

Las hipótesis que se formularon para este experimento son:

H_0 : No existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el porcentaje de paquetes perdidos.

H_1 : Existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el porcentaje de paquetes perdidos.

H_0 : No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el porcentaje de paquetes perdidos.

H_1 : Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red sobre el porcentaje de paquetes perdidos.

H_0 : 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 los Paquetes Perdidos.

H_1 : 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.

c) RESULTADOS

- **TABLA ANOVA**

Luego de que se ingresó la matriz de datos al software estadístico, se pudo obtener la tabla Anova de este experimento que se muestra en la tabla IV.XXVIII.

Tabla IV.XXVIII. Tabla ANOVA del Experimento 3
Fuente: Software Minitab v.16

TABLA DE ANOVA PARA PAQUETES PERDIDOS					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
CARGA	1	447,72	447,72	372,81	0
PROTOCOLO	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	743,202			

- ✓ Según la tabla Anova IV.XXVIII, al tener un valor $p = 0,00$ que es menor que el nivel de significancia 0,05 así que se rechaza la hipótesis nula y decimos que Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red (carga) sobre el porcentaje de paquetes perdidos.

- ✓ Según la tabla Anova IV.XXVIII, al tener un valor $p = 0,107$ que es mayor que el nivel de significancia 0,05 no se rechaza la hipótesis nula y decimos que No existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el porcentaje de paquetes perdidos.

- ✓ Según la tabla Anova IV.XXVIII, al tener un valor $p = 0,025$ que es menor que el nivel de significancia 0,05 así que se rechaza la hipótesis nula y decimos 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 gráfica de interacción IV.56. se observa que el mejor tratamiento es el protocolo 1 (PIM SM) 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 mayores pérdidas de paquetes presentan en una red que cuente con tráfico adicional (carga), por lo tanto el que menos pérdida de paquetes presenta es el protocolo PIM SM. 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.

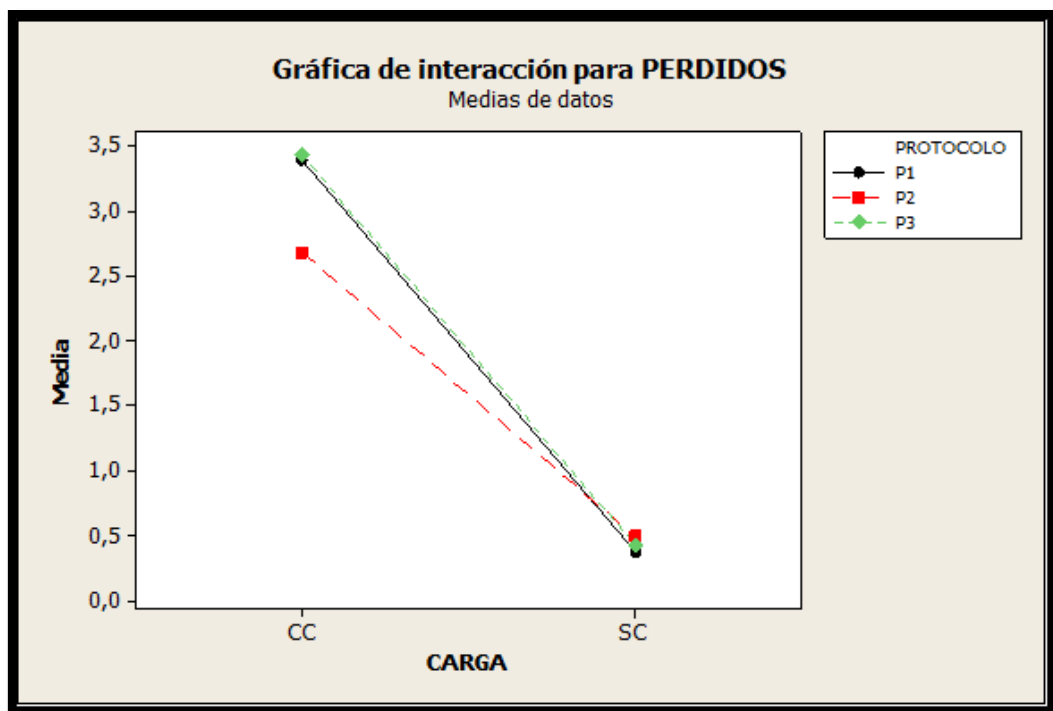


Figura. IV.56. Gráfica de interacción del Experimento 3
Fuente: Software Minitab v.16

- **COMPARACIÓN DE MEDIAS**

Mediante el método de comparación de medias LSD se comprobó estadísticamente cuál es el protocolo que mayor pérdida de paquetes presenta para la transmisión de IPTV.

Para lo cual se ingresa la tabla IV.XXIX, donde se tiene las medias de la métrica de pérdida de paquetes para los tres protocolos

Tabla IV.XXIX. Tabla de medias del Experimento 3
Fuente: Los Autores

Protocolos	Medias de % Pérdida de Paquetes
PIM-DM	1,88
PIM-SM	1,59
PIM SM-DM	1,93

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

Tabla IV.XXX. Calculo de LSD del Experimento 3
Fuente: Software Minitab v.16

$t/2;(k-2)(k-1)=$	1,97015364
$\sqrt{((2 * CM_E)/k) =}$	0,89479979
LSD=	1,76289307

Tambien se presenta la tabla IV.XXXI de comparación de varianzas de los valores de cada protocolo en donde en relación al valor de LSD se determina si los protocolos son estadísticamente iguales o no.

Tabla IV.XXXI. Determinación de igualdades del Experimento 3
Fuente: Software Minitab v.16

P1-P2	1,892375	DIFERENTES
P1-P3	0,340125	IGUALES
P2-P3	1,927625	DIFERENTES

P1: PIM DM

P2: PIM SM

P3: PIM SM-DM

El método de comparación de medias LSD nos dice que en lo que respecta al porcentaje de pérdida de paquetes, el protocolo PIM DM estadísticamente es igual al protocolo PIM SM-DM.

d) DETERMINACIÓN DEL PROTOCOLO GANADOR

El método de comparación de medias LSD nos arroja a los protocolos PIM DM y PIM SM-DM como los ganadores en el experimento 3, pero esto se refiere a que los dos protocolos son los que más pérdidas de paquetes presentan en una red con carga adicional por lo que podemos determinar que el protocolo *PIM SM es el ganador*, aunque cabe recalcar que en entornos sin carga los tres protocolos tienen un comportamiento similar.

4.6.6. EVALUACIÓN CONJUNTA DE LOS ELEMENTOS GANADORES DE LOS EXPERIMENTOS

Luego de haber evaluado los tres experimentos realizados se pudo determinar que cuando se desee implementar multicast en un core MPLS para la provisión del servicio de IPTV:

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

Como se mencionó en el punto 4.3, en una red de IPTV lo que el proveedor tiene como prioridad es que la calidad del streaming a la vista del usuario sea la mejor, por lo que comprobando la hipótesis de esta investigación se dice que: *“El estudio de los protocolos de enrutamiento multicast sobre MPLS nos permitió determinar que el protocolo más adecuado para la provisión del servicio de IPTV es el protocolo PIM SM-DM.”*

CAPÍTULO V

PROPUESTA METODOLÓGICA DE IMPLEMENTACIÓN DE RUTEO MULTICAST PARA IPTV

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA

La presente propuesta pretende ser un sustento técnico que ayudará en la configuración del enrutamiento IP multicast en el core de una red que cuente con equipamiento de la marca Cisco, para lo cual se deberán realizar los siguientes pasos:

- 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.

5.2. HABILITAR IP MULTICAST ROUTING

Habilitar IP Multicast Routing permite que el software Cisco IOS reenvíe paquetes de multidifusión. Para habilitar el enrutamiento multicast IP en el router, se debe utilizar el siguiente comando en el modo de configuración global:

Tabla V.XXXII. Habilitar IP Multicast Routing
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config)# ip multicast-routing	Habilitar IP multicast routing

5.3. HABILITAR PIM SOBRE LA INTERFAZ.

Al habilitar PIM en una interfaz a la vez se habilita la operación de IGMP en esa interfaz. Una interfaz puede ser configurada para estar en modo denso, en modo disperso, o en modo disperso-denso. El modo determina cómo el router rellena su tabla de enrutamiento multicast y cómo el router envía los paquetes de multidifusión si estos se reciben de sus LANs conectadas directamente. Se debe habilitar PIM en uno de estos modos en las interfaces que participen en el enrutamiento multicast IP.

Al momento de rellenar la tabla de enrutamiento multicast, las interfaces de modo denso siempre se añaden a la tabla. Las interfaces de modo disperso se agregan a la tabla sólo cuando se reciben mensajes de join periódicos de los routers vecinos, o cuando un miembro está conectado directamente en una de sus interfaces.

No hay una configuración por defecto. De forma predeterminada, el enrutamiento multicast está desactivado en la interfaz.

5.3.1. HABLITAR PIM SM-DM

Si se configura ya sea PIM SM o PIM DM en la interfaz, esta funcionará en su totalidad solo con uno de los dos protocolos. Sin embargo, algunos entornos pueden requerir PIM para correr en una sola región en el modo disperso para algunos grupos y en modo denso para otros grupos.

Una alternativa para permitir los dos modos en la interfaz es el habilitar el protocolo PIM SM-DM, el cual es el más adecuado para la provisión de IPTV como se demostró en esta investigación.

En este caso, la interfaz se la trata como modo denso si el grupo está en modo denso; la interfaz se trata como modo disperso si el grupo está en modo disperso. Usted debe tener un RP (Rendezvous Point) si la interfaz está en modo disperso - denso, y quiere tratar al grupo como un grupo disperso.

Si se configura el modo disperso-denso, la idea de la poca o alta densidad se aplica al grupo en el router, y el administrador de la red debe aplicar el mismo concepto a lo largo de toda la red.

Otro de los beneficios del modo disperso-denso es que la información de Auto-RP puede ser distribuida por el modo denso, sin embargo, los grupos de multidifusión para los

usuarios de los grupos se pueden usar en un modo disperso. Por lo tanto, no hay necesidad de configurar un RP por defecto en los routers rama.

Cuando una interfaz es tratada en modo denso, esta se coloca en la lista de interfaz de salida de la tabla de enrutamiento multicast cuando alguna de las siguientes condiciones son verdaderas:

- Los miembros o vecinos DVMRP se encuentran en la interfaz.
- Hay vecinos PIM y el grupo no ha sido podado.

Cuando una interfaz es tratada en modo disperso, esta se coloca en la lista de interfaz de salida de una tabla de enrutamiento multicast cuando alguna de las siguientes condiciones son verdaderas:

- Los miembros o vecinos DVMRP se encuentran en la interfaz.
- Un mensaje de unión explícita ha sido recibido por un vecino PIM en la interfaz.

Para activar PIM para que opere en el mismo modo que el del grupo, utilice el siguiente comando en el modo de configuración de interfaz:

Tabla V.XXXIII. Habilitar Modo Disperso-Denso
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router (config-if) # ip pim sparse-dense-mode	Habilita PIM disperso-denso sobre la interfaz.

5.4. CONFIGURAR AUTO-RP

Auto-RP es una característica que automatiza la distribución del grupo a un RP en una red PIM. Esta función tiene las siguientes ventajas:

- El uso de múltiples RPs dentro de una red para servir a diferentes grupos.

- Permite la división de la carga entre diferentes RPs y la disposición de los RPs de acuerdo con la ubicación de los participantes del grupo.
- Evita inconsistencia en la red, al no configurar RPs de forma manual que puedan causar problemas de conectividad.

Para que Auto-RP trabaje, un router debe ser designado como agente RP-mapping, el cual recibe los mensajes RP de los RPs y de los conflictos arbitrarios. El agente de RP-mapping además envía el group-to-RP (RP para un determinado grupo multicast) a todos los routers de la red. Por lo tanto, todos los routers descubren automáticamente los RP a utilizar para los grupos multicast.

Si se configura PIM DM o PIM SM-DM y no se configura Auto-RP, se debe configurar estáticamente un RP con el siguiente comando.

Tabla V.XXXIV. Configuración RP estático
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config)# ip pim rp-address <i>rp-address</i> [<i>access-list</i>] [override]	Configura la dirección de un PIM RP.

5.4.1 ASIGNACIÓN DEL RP MAPPING AGENT

El agente de mapeo RP (RP Mapping Agent) es el router que envía los paquetes de descubrimiento autorizados, les dice a los otros routers que group-to-RP utilizar. Tal función es necesaria en el caso de conflictos (tales como la superposición de group-to-RP).

Encontrar un router cuya conectividad no es probable que se interrumpa y asignarle el papel de agente de RP-mapping. Todos los routers dentro del TTL y número de saltos del router de origen reciben los mensajes de descubrimiento Auto-RP. Para asignar el papel

de agente de mapeo RP en ese router, se utiliza el siguiente comando en el modo de configuración global:

Tabla V.XXXV. Agente RP mapping
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config)# ip pim send-rp-discovery scope ttl-value	Asigna el agente RP mapping

5.4.2. Verificación de la asignación de grupo-a-RP

Para saber si la asignación de group-to-RP ha llegado, se utiliza el siguiente comando en el modo EXEC en los routers designados:

Tabla V.XXXVI. Verificación de la Rps activos
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router# show ip pim rp[mapping metric] [rp-address]	Muestra RPs activos que se almacenan con las entradas de enrutamiento multicast asociadas. Información aprendida por la configuración o Auto-RP.

Si las interfaces del router están configuradas en PIM SM, todavía se puede utilizar Auto-RP si todos los routers están configurados con una dirección RP estática para los grupos de Auto-RP.

5.5. CONFIGURACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE IGMP

Para configurar las funciones de IGMP lleve a cabo las tareas que se describen a continuación:

5.5.1. CONFIGURAR UN ROUTER PARA SER MIEMBRO DE UN GRUPO

Los routers Cisco pueden ser configurados para ser miembros de un grupo multicast. Esta estrategia es útil para determinar la accesibilidad de multidifusión en una red. Si un dispositivo está configurado para ser un miembro del grupo y es compatible con el protocolo que se va a enviar al grupo, este puede responder (al comando ping EXEC, por ejemplo). El dispositivo responde a una demanda de paquetes de ICMP echo dirigidos a un grupo del que es miembro. Otro ejemplo es la herramienta traceroute de multidifusión proporcionadas en el software Cisco IOS.

Para que el router se una a un grupo multicast y se habilite IGMP, utilice el siguiente comando en el modo de configuración de interfaz:

Tabla V.XXXVII. Unión a un grupo multicast
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config-if)# ip igmp join-group <i>group-address</i>	Unión a un grupo multicast

5.5.2. CONTROL DE ACCESO A LOS GRUPOS DE MULTIDIFUSIÓN IP

Los routers de multidifusión envían mensajes de consulta IGMP a los hosts para determinar qué grupos de multidifusión tienen miembros en las redes locales del router. Los routers luego envían a estos miembros del grupo todos los paquetes dirigidos al grupo multicast. Usted puede colocar un filtro en cada interfaz para restringir los grupos multicast a los que los hosts de la subred pueden unirse.

Para filtrar los grupos de multidifusión permitidos en una interfaz, utilice el siguiente comando en el modo de configuración de interfaz:

Tabla V.XXXVIII. Control de grupos multicast
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config-if)# ip igmp access-group access-list	Controla los grupos multicast que pueden unirse por una interfaz.

5.5.3. CAMBIANDO LA VERSIÓN DE IGMP

Por defecto, el router utiliza IGMP versión 2 (IGMPv2), que permite funciones tales como el tiempo de espera de consulta IGMP y el tiempo máximo de respuesta a la consulta.

Todos los routers de la subred deben ser compatibles con la misma versión. El router no detecta automáticamente la versión 1 como lo hacían las versiones anteriores del software Cisco IOS. Sin embargo, una mezcla de las versiones 1 y 2 de IGMP en los hosts de la subred es aceptable. La versión 2 de IGMP en los routers siempre funciona correctamente con la presencia de la versión 1 de IGMP en los hosts.

Para controlar qué versión de IGMP usa el router, utilice el siguiente comando en el modo de configuración de interfaz:

Tabla V.XXXIX. Selección de la versión IGMP en el router
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config-if)# ip igmp version{3 2 1}	Selecciona la versión IGMP que utiliza el router.

5.6. CONFIGURACIÓN DEL UMBRAL TTL

El valor TTL controla si los paquetes son enviados fuera de una interfaz. Se especifica el valor TTL en saltos. Sólo los paquetes de multidifusión con un TTL mayor que el del umbral TTL son enviados fuera de la interfaz. El valor por defecto es 0, lo que significa

que todos los paquetes de multidifusión se reenvían fuera de la interfaz. Para cambiar el valor umbral TTL predeterminado, utilice el siguiente comando en el modo de configuración de interfaz:

Tabla V.XL. Configuración del umbral TTL
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config-if)# ip multicast ttl-threshold <i>ttl-value</i>	Configura el umbral TTL de paquetes que se reenvían fuera de la interfaz.

5.7. DESACTIVAR “FAST SWITCHING” DE IP MULTICAST

Fast Switching está activado por defecto en todas las interfaces (incluyendo en Generic Routing Encapsulation [GRE] y en los túneles DVMRP), con una excepción: este es desactivado y no se admite sobre interfaces encapsuladas con X.25.

Es importante tener en cuenta las siguientes propiedades de conmutación rápida:

- Si fast switching está desactivado en una interfaz de entrada para una entrada de la tabla de enrutamiento multicast, el paquete se envía al nivel de proceso para todas las interfaces de la lista de interfaz de salida.
- Si fast switching está desactivado en una interfaz de salida para una entrada de la tabla de enrutamiento multicast, se envía al nivel de proceso para ser enviado por esa interfaz, pero puede ser rápidamente enviado para otras interfaces de la lista de interfaz de salida.

Desactive fast switching si desea registrar los mensajes de depuración, ya que cuando fast switching está activado, los mensajes de depuración no se registran.

Para desactivar la conmutación rápida de multidifusión IP, utilice el siguiente comando en el modo de configuración de interfaz:

Tabla V.XLI. Desactivar Fast Switching
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config-if) # no ip mroute-cache	Desactiva fast switching de IP multicast.

5.8. CONFIGURAR PIM VERSION 2

La implementación del protocolo PIM en su versión 2, permite la interoperabilidad y transición entre la versión 1 y versión 2, aunque puede haber algunos problemas de menor importancia. Se puede actualizar a la versión 2 de PIM de manera incremental. PIM en su versión 1 y 2 puede ser configuradas en diferentes routers dentro de una red. Internamente, todos los routers en una red de medios compartidos deben ejecutar la misma versión de PIM. Por lo tanto, si la versión 2 de PIM configurada en el router detecta la versión 1 de PIM configurada en otro router, la versión 2 de PIM automáticamente pasa a funcionar en su versión 1 hasta que todos los routers hayan sido actualizados.

Todos los sistemas que utilizan Cisco IOS versión 11.3 (2) T o posterior tienen PIM Version 2 como modo por defecto. Para volver a activar PIM versión 2 o especificar PIM Versión 1, se puede controlar la versión de PIM mediante el siguiente comando en el modo de configuración de interfaz:

Tabla V.XLII. Especificar la versión de PIM
Fuente: www.cisco.com/configurations/multicast/PIM

<i>COMANDO</i>	<i>PROPÓSITO</i>
Router(config-if) # ip pim version [1 2]	Configura la versión de PIM usada.

5.9. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE IP MULTICAST

Una vez que se ha configurado el enrutamiento multicast, es importante conocer los principales comandos que ayudan a la solución de problemas en redes multicast, estos comandos se detallan a continuación:

- *mstat*

Este comando muestra la ruta multicast en formato ASCII. Traza la ruta entre dos puntos de la red, muestra las rutas desacartadas y duplicadas, además los TTLs y retardos de cada nodo de la red. Es un comando muy útil cuando se necesita localizar los puntos de congestión en la red, o centrarse en un router que presenten fallas en la conexión. Lo antes dicho se puede apreciar en la Figura V.57.

```
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
Receiver         Query Source
```

Figura. V.57. Comando mstat
Fuente: Los Autores

- *mrinfo*

Este comando muestra la información del router multicast más cercano (multicast neighbor router), las capacidades del router y la versión, además la información de la interfaz multicast, barreras de TTL, la métrica, el protocolo y el estado. Es útil cuando se necesita verificar multicast neighbor router, confirmar la adyacencia más cercana bi-direccional, y verificar qué túneles se encuentran en forma bi-direccional como se muestra en la figura V.58.

```
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. V.58.Comando mrinfo
Fuente: Los Autores

La Figura V.59. muestra las siglas que se pueden encontrar en la salida de las flags las cuales son:

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

Figura. V.59. Flags del comando mrinfo
Fuente: Los Autores

- *mtrace*

Este comando muestra la ruta de acceso multicast desde el origen al destino, y traza la ruta de acceso entre los puntos de la red, además muestra los problemas del TTL y el retardo en cada nodo. Al utilizar el comando mtrace se puede encontrar donde se detiene el flujo de tráfico multicast, se podrá verificar la trayectoria del tráfico multicast e identificar los caminos óptimos. Lo antes dicho se muestra en la Figura V.60.

```
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. V.60. Comando mtrace
Fuente: Los Autores

- *ping*

El comando ping es la manera más fácil de generar tráfico multicast en la red para probar el árbol multicast, ya que se hace ping a todos los miembros del grupo y todos los miembros proceden a responder como se puede observar en la Figura V.61.

```
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
```

Figura. V.61. Ejecución del comando ping
Fuente: Los Autores

- *show ip igmp groups*

La Figura V.62. muestra el funcionamiento de este comando el cual sirve para mostrar información multicast relacionada de una interfaz, verificar que versión de IGMP está activada, los timers (temporizadores), Time to Live (TTL), valor umbral, y las consultas de los routers IGMPs son correctamente asignadas. IGMP no necesita ser configurado en una interfaz, está habilitado de forma predeterminada cuando se configura PIM DM , PIM SM o PIM SM-DM.

```
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. V.62. Comando show ip igmp groups
Fuente: Los Autores

- *show ip igmp interface*

La figura V.63 muestra que este comando se utiliza para listar los vecinos descubiertos del Protocolo Independent Multicast (PIM) por el software Cisco IOS.

```
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. V.63. Ejecución del comando show ip igmp interface
Fuente: Los Autores

Los detalles de cada campo se presentan a continuación:

- ✓ Neighbor Address.- Especifica la dirección IP de un vecino PIM.
- ✓ Interface.- Una interfaz donde se descubrió un vecino PIM.
- ✓ Uptime.- El tiempo de funcionamiento total de vecinos.

- ✓ Expires.- El tiempo agotado en recibir una respuesta por un vecino PIM.
- ✓ Ver.- La versión de PIM en la interfaz del vecino
- ✓ DR Prio.- Los valores posibles son 0 hasta 4294967294 o "N"

- *show ip pim interface*

Se Utiliza este comando para mostrar información acerca de las interfaces configuradas para PIM. Además, puede utilizar este comando para verificar que versión y modo PIM se encuentra configurado en la interfaz, el router designado (DR) Los enlaces punto a punto no muestran información de DR, entre otros parámetros como se muestra en la Figura V.64.

```
R1# show ip pim interface
```

Address	Interface	Version/Mode	Nbr Count	Query Intvl	DR
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. V.64. Ejecución del comando show ip pim interface
Fuente: Los Autores

- *show ip mroute summary*

Este comando es utilizado para mostrar el resumen del contenido de la tabla de enrutamiento multicast. También se puede utilizar para verificar el grupo multicast y remitentes activos como se muestra en la Figura V.65.

```
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. V.65. Ejecución del comando show ip mroute summary
Fuente: Los Autores

- *show ip mroute*

Utilice este comando para mostrar todo el contenido de la tabla de enrutamiento multicast

IP. Cuando solucione, utilice este comando para verificar:

- ✓ Las entradas de estado de las banderas para el (S, G) y (*, G).
- ✓ La interfaz de entrada es correcta. Si no es así, compruebe la tabla de enrutamiento unicast.
- ✓ La interfaz de salida es la correcta. Si se poda incorrecta, comprobar el estado en el router downstream.

La figura V.66 muestra el resultado de este comando.

```
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: Uptime/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: CFT
  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. V.66. Ejecución del comando show ip mroute
Fuente: Los Autores

- *show ip mroute active*

Utilice este comando para ver las fuentes de tráfico activos y los grupos por encima del umbral. Al solucionar, lo utilizan para verificar los grupos de de origen activos, la tasa de tráfico para cada par grupo de fuentes (Fuente, Grupo), y para comprobar si el tráfico multicast del grupo es recibido. Si no se está recibiendo el tráfico, buscar tráfico activo a partir de la fuente hacia el receptor. La figura V.67 muestra el resultado de este comando.

```
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. V.67. Ejecución del comando show ip mroute active
Fuente: Los Autores

- *show ip rpf*

Utilice este comando para mostrar como el IP routing multicast hace Reverse Path Forwarding (RPF). Al solucionar, lo utilizan para verificar que la información RPF sea correcta. Si no es así, compruebe la tabla de enrutamiento unicast para la dirección de origen. También puede utilizar el comando ping y traceroute de la dirección de origen para verificar que el enrutamiento unicast funcione. Puede que tenga que utilizar el protocolo Vector Distancia Multicast Routing Protocol (DVMRP) o rutas estáticas para el mroutes y arreglar cualquier inconsistencia unicast multicast. La figura V.68 muestra el resultado de este comando.

```
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. V.68. Resultado del comando show ip mcache
Fuente: Los Autores

- *show ip mcache*

Este comando puede comprobar la caché de conmutación rápida de multidifusión IP y depurar los errores de respuesta rápida, como se observa en la figura V.69

```
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. V.69. Resultado del comando show ip mcache
Fuente: Los Autores

- *show ip mroute count*

Utilice este comando para comprobar que se recibe el tráfico multicast y para comprobar sus caudales y pérdidas. También puede utilizar este comando para verificar que el tráfico se está remitiendo. Si no es así, utilice el comando show ip mroute a buscar "lista de interfaces salientes Null" y fallas del RPF. La figura V.70 muestra el resultado de este comando.

```
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. V.70. Resultado del comando show ip mroute count
Fuente: Los Autores

- *show ip route*

Utilice este comando para ver la tabla de enrutamiento unicast y corregir las fallas del RPF en la tabla mroute. La figura V.71 muestra el resultado de este comando.

```
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. V.71. Resultado del comando show ip pim rp mapping
Fuente: Los Autores

- *show ip pim rp mapping*

Utilice este comando para comprobar la asignación de RP por rango de grupo de multidifusión, y verificar que la fuente del aprendizaje RP (estático o auto-RP) y el mapeo. La figura V.72 muestra el resultado de este comando.

```
R1# show ip pim rp mapping
      PIM Group-to-RP Mappings
Group(s) 224.0.1.40/32
      RP 192.168.7.2 (?), v1
      Info source: local, via Auto-RP
      Uptime: 2d00h, expires: never
Group(s): 224.0.0.0/4, Static
      RP: 192.168.7.2 (?)
```

Figura. V.72. Resultado del comando show ip pim rp mapping
Fuente: Los Autores

- *debug ip igmp*

Utilice el comando debug ip igmp para mostrar paquetes IGMP recibidos y transmitidos, así como eventos relacionados con los hosts IGMP. La forma no de este comando desactiva la salida de depuración.

Esta salida le ayuda a descubrir si funcionan los procesos de IGMP. En general, si IGMP no funciona, el proceso enrutador nunca descubre otro ordenador de la red que está configurado para recibir paquetes de multidifusión. En el modo PIM DM, esto significa que los paquetes se entregan intermitente. En el modo PIM SM, nunca se entregan. La figura V.73 muestra el resultado de este comando.

```
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. V.73. Resultado del comando debug ip igmp
Fuente: Los Autores

- *debug ip mpacket*

Utilizar el comando `debug ip mpacket` para mostrar todos los paquetes de multidifusión IP recibidos y transmitidos. La forma no de este comando desactiva la salida de depuración. La figura V.74 muestra el resultado de este comando.

```
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. V.74. Resultado del comando `debug ip mpacket`
Fuente: Los Autores

Este comando descifra el paquete de multidifusión y muestra si el paquete se envía (mforward) o se ha descartado. Es útil al depurar problemas de flujo de paquetes en la red para ver el valor TTL y para saber la razón por la que el paquete se ha descartado.

- *debug ip mrouting*

Este comando es útil para propósitos de mantenimiento de tablas de enrutamiento. Se usa para verificar que el mroute (Fuente, Grupo) es instalado en la tabla mrouting. La información clave en esta salida es la interfaz RPF. Si hay un error de comprobación de RPF, el mroute (Fuente, Grupo) no se puede instalar en la tabla mrouting. La figura V.75 muestra el resultado de este comando.

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

Figura. V.75. Resultado del comando `debug ip mrouting`
Fuente: Los Autores

- *debug ip pim*

Utilice el comando `debug ip pim` para mostrar los paquetes PIM recibidos y transmitidos, así como eventos relacionados PIM. La forma no de este comando desactiva la salida de depuración.

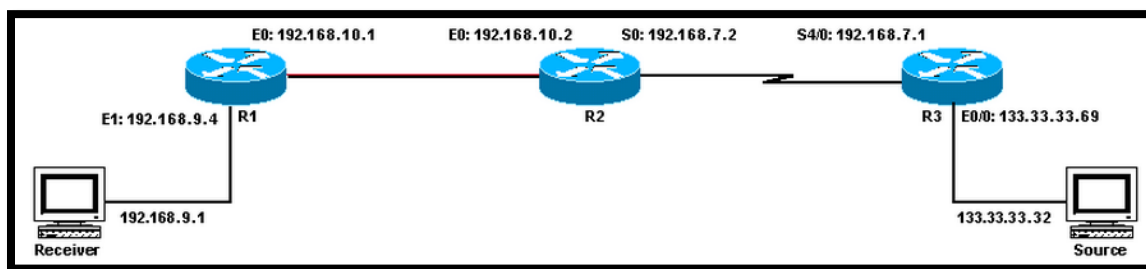


Figura. V.76. Topología usada para explicar debug ip pim
Fuente: Los Autores

En la figura V.77 basándonos en la topología de la figura V.76 se muestra la salida del comando `debug ip pim` en el R1.

```
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
```

Figura. V.77. Resultado del comando debug ip pim
Fuente: Los Autores

Esto es lo que cada línea de salida indica: R1 y R2 establecen vecindades PIM mediante el intercambio de mensajes de saludo. Estos mensajes Hello periódicos intercambiados en segundos "en consultas de intervalo" entre R1 (E0) y R2 (E0), realizar un seguimiento de los vecinos PIM.

R1 envía un mensaje join/Prune a la dirección del RP 192.168.7.2. El RP (R2) responde con un mensaje de "Received RP-Reachable" al R1 para el grupo 239.255.0.1.

CONCLUSIONES

1. Como resultado de las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes valores en promedio de las métricas, para el protocolo PIM SM:

- En su calidad de audio y video un valor de 3,88/5.
- En cuanto al jitter que existe en la transmisión de los paquetes RTP fue de 15,23[ms] y
- El porcentaje de pérdida de paquetes del streaming llego al 1,59%.

Para el protocolo PIM DM:

- En su calidad de audio y video un valor de 3,94/5.
- En cuanto al jitter que existe en la transmisión de los paquetes RTP fue de 14,61[ms] y
- El porcentaje de pérdida de paquetes del streaming llego al 1,88%.

Y para el protocolo PIM SM-DM:

- 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 llego al 1,93%.

2. Mediante la implementación de un prototipo de pruebas de un core MPLS multicast que provee el servicio de IPTV en la Academia Local de Redes Cisco-ESPOCH, se pudo determinar que el protocolo más adecuado para la prestación de este servicio es el PIM SM-DM.

3. Gracias al uso de protocolos de enrutamiento Multicast el consumo de ancho de banda en una red es equivalente al de un único usuario, independientemente de si se conectan a la transmisión cinco, mil o el número que sea de receptores simultáneamente. Esta eficiencia se consigue con instrucciones de la capa 3 del

modelo OSI que convierte a cada computadora de un grupo determinado en destinataria de los paquetes de datos Multicast que viajan a lo largo de la red.

4. Para hacer multidifusión buscando cumplir con ciertos parámetros de Calidad de Servicio a través de MPLS, necesitamos desarrollar dos componentes: un protocolo de encaminamiento para determinar el árbol Multicast que seguirá el tráfico según alguna métrica considerada (por ejemplo mínimo número de saltos o ancho de banda residual) y un algoritmo de señalización que nos permita reservar los recursos demandados por la petición, por ejemplo CR-LDP o RSVP-TE

5. Para la comprobación de la hipótesis planteada se uso el método “diseño factorial mixto de 2x3”, del cual se obtuvo los siguientes resultados estadísticos:
 - Existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre la calidad de audio y video MOS.
 - Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red(Carga) sobre la calidad de audio y video MOS.
 - No existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el Max PCR jitter.
 - No existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red(carga) sobre el Max PCR jitter.
 - Existe un efecto de la cantidad de tráfico que se maneje en la red (carga) sobre el porcentaje de paquetes perdidos.
 - No existe un efecto de los protocolos de enrutamiento multicast sobre el porcentaje de paquetes perdidos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso del protocolo de enrutamiento multicast PIM SM-DM, para la provisión del servicio de IPTV sobre un el core MPLS de la CNT Riobamba.
2. Por tratarse de un proyecto a nivel educativo es recomendable que bajo los parámetros de análisis efectuados en el capítulo IV, la CNT determine el códec de audio y video el más liviano posible, y con emisión a tasa igualmente pequeñas sin degradar la calidad de ninguno de los dos parámetros, esto con la finalidad de consumir el menor ancho de banda posible evitando que se sature la red y permita un mayor número de usuarios simultáneos sobre la misma.
3. Configurar 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.
4. Cuando el servicio sea implementado en la CNT, esta debe monitorear constantemente el ancho de banda que está demandando la red, ya que tiene que asegurarse 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 sobreescripción (operar arriba del 100% de su capacidad), lo cual provoca que el equipo deje de funcionar correctamente. Una sobreescripción en los equipos del backbone puede hacer que la red colapse completamente.

5. Hacer un estudio de mercado y determinar el sector óptimo para la implementación del servicio de IPTV, ese estudio debe contemplar que la inversión necesaria sea recuperada en un periodo de 3 años, porque la tecnología cambia drásticamente, y los equipos pueden volverse obsoletos.

6. Realizar futuros trabajos de investigación relacionados con el estudio de IP Multicast con IPv6, análisis de QoS para IPTV multicasting, seguridad en redes de IP Multicast, entre otros que servirán para ampliar el presente estudio.

RESUMEN

Se realizó el estudio de los protocolos de enrutamiento multicast sobre Multi Protocol Label Switching(MPLS) aplicado a la provisión del servicio de Internet Protocol Television(IPTV).

En la Academia Cisco de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se implementó un prototipo de pruebas que ayudó a determinar cuál es el protocolo adecuado para IPTV. Este 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.

La investigación se la realizó mediante el método inductivo, primeramente se basó en la observación del funcionamiento de cada protocolo y el registro de las mediciones que mostró el probador, luego se hizo el análisis y clasificación de los datos obtenidos para finalmente llegar a una conclusión del estudio.

Como resultado se obtuvo que el protocolo de enrutamiento multicast adecuado para la provisión del servicio de IPTV es el Protocol Independent Multicast(PIM) Sparse Mode(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 cierto nivel de inteligencia para seleccionar el algoritmo adecuado para el enrutamiento multicast, dependiendo del ancho de banda y del tipo de enlace que se disponga.

Es recomendable para la transmisión de los streaming de video el uso del Real Time Protocol(RTP) en lugar del User Datagram Protocol(UDP).

SUMMARY

We performed the study of multicast routing protocols on Multi Protocol Label Switching (MPLS) applied to the provision of the service of Internet Protocol Television (IPTV) .

In Cisco Academy at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a test prototype was implemented to help us determine which the proper protocol is for IPTV. This had five Cisco routers Catalyst 2811, four Cisco switches 2960, a streaming server, six computers as well as clients and feStream software IPTV Analyzer Expert.

The research was conducted by the inductive method, first of all we based on performance monitoring of each protocol and the recording of measurements which show us the tester, then we did the analysis and classification of the obtained data to finally reach a conclusion of the study.

As a result we obtained that routing protocol multicast suitable for the service provision IPTV it is the Protocol Independent Multicast(PIM) Sparse Mode(SM) - Dense Mode(DM), At the moment of obtaining as average in audio and video quality the amount of 3,96/5, in regard of jitter that exists in the transmission of RTP packets was 14.91 [ms] and the percentage of packets loss of streaming reached to 1.93%.

We conclude that SM PIM -DM is a protocol that provides a certain level of intelligence to select the appropriate algorithm for multicast routing, by depending on the bandwidth and the type of connection that we dispose.

It is recommendable for the streaming transmission of video the use of Real Time Protocol (RTP) instead of User Datagram Protocol (UDP).

GLOSARIO

Ancho de banda.- Cantidad de información que se puede transmitir por unidad de tiempo, expresado en hertz o en bits por segundo.

Backbone.- Es la columna vertebral de una red, por aquí fluyen grandes cantidades de datos, ya que concentra la información de muchas computadoras.

Bidireccional.- Red que transporta información en ambos sentidos

Bit.- Dígito binario, es la unidad mínima de información, sus valores están comprendidos entre 0 y 1.

Broadcast.- Sistema que envía la información a todos los usuarios sin restricciones, normalmente utiliza ondas de radio para su transmisión.

Byte.- Agrupación de 8 bits.

Central telefónica.- Sistema que agrupa un gran número de abonados.

Codec.- Significa codificador-decodificador, es un equipo o software que realiza las funciones de codificar y decodificar datos.

Codificación.- Conversión de un conjunto de bytes en códigos, con fines de seguridad del contenido.

Core.- Es la parte de una red de proveedor que lleva tráfico de una localidad a otra a altas velocidades.

Crominancia.- Señal que lleva la información de los colores en una imagen de televisión.

Cuantización.- Proceso en cual se le asignan valores discretos a las muestras tomadas durante la digitalización de una señal.

Datagrama.- Fragmento en que se descompone un paquete IP para poder ser transmitido.

Delay.- Tiempo que se toma un paquete en llegar del punto de origen a su destino.

Difusión.- Transmitir o enviar la señal a muchos usuarios.

Dirección IP.- Grupo de cuatro octetos de Bits que identifican a un dispositivo dentro de la red.

Dúplex.- Modo de transmisión en donde se envían datos en las dos direcciones pero en forma alternada, utilizando en mismo canal de comunicación.

Encapsulamiento.-- Procedimiento en el cual se cargan los datos provenientes de un dispositivo de red en una estructura de protocolo, (Ejemplo IP)

Ethernet.- Estándar utilizado para la transmisión de datos en redes de área local (LAN), y últimamente se ha extendido para la transmisión entre redes WAN.

Flyback.- Retorno al inicio de una línea nueva para escanear, en el escaneo de imágenes para digitalizar.

Frame.- Imagen o cuadro, la continúa sucesión de estos cuadros da la sucesión de movimiento de la imagen.

Full dúplex.- Modo de transmisión en donde se envían datos en las dos direcciones, utilizando canales independientes para cada sentido de transmisión.

Gateway o puerta de enlace.- Es el punto de acceso a otras redes, por lo regular el router que da la conexión a *Internet*.

H.323.- Estándares que definen, los procedimientos y componentes para la transmisión de voz y video sobre una red LAN.

Hardware.- Conjunto de elementos físicos de un equipo electrónico (por ejemplo una computadora).

Headend.- Punto central de un sistema de televisión por cable o IPTV, donde se concentran todos los canales de televisión para luego multiplexarlos en una red de cable o IP.

Host.- Descripción en redes para una computadora o elemento de red al cual se le asigna una dirección IP.

I-Frame.- Imagen que se utiliza como referencia para predecir la siguiente imagen en el proceso de compresión de video.

Interface.- Parte de un sistema que interactúa con otras partes físicas distintas al propio sistema.

Internet.- Red que interconecta muchas redes, es la red mundial en la que se comparte mucha información.

Internetwork.- Red de trabajo interna.

Jitter.- Variación en el retardo que tiene un paquete en llegar del punto de origen a su destino (Variación del *delay*).

Lumen.- Unidad de medida de la intensidad de luz.

Luminancia.- Señal que gobierna la intensidad de luz en una imagen de televisión.

Metadatos.- Información que se agrega a un archivo digital cuando se modifica.

Metroethernet.- Red *ethernet* extendida a áreas metropolitanas, que llevan datos a alta velocidad.

Middleware.- Es un software que permite al cliente interactuar con el equipo, es la conexión entre la parte visual y la parte física del equipo.

Modem.- Equipo electrónico encargado de adaptar las señales y transmitirlos.

Multicast.- Forma de transmisión IP en la que se envía la información a un grupo seleccionado de computadoras.

Multimedia.- Referente a la información de procedencia física: voz, video y datos, que demandan un ancho de banda considerable.

Multiplexación.- Método utilizado para transmitir dos o más señales de información a través de un solo canal de comunicaciones.

Networking.- Red de trabajo en la que se interconectan dos o más redes distintas.

NIC.- Tarjeta que conecta una computadora a la red.

Patch Cord.- Cable que se utiliza para interconectar los dispositivos de red a un switch o a la toma de red en el lugar de trabajo, dentro de una red LAN.

P-Frame.- Imagen que se predice en el proceso de compresión de video.

Pixel.- Es el elemento más pequeño de una imagen, que representa un pequeño punto de un color determinado.

Power Line.- Sistema que utiliza el sistema de distribución eléctrica para la transmisión de datos y multimedia.

Protocolo.- Es un conjunto de normas y estándares utilizados para la transmisión de datos de un punto a otro.

Router.- Equipo encargado de enviar los paquetes IP de una dirección (origen) a otra dirección (destino)

Señal transducida.- Señal que fue convertida en otra forma de energía por un transductor.

Simplex.- Modo de transmisión en donde se envían datos en una sola dirección.

Software.- Instrucciones escritas en lenguajes de programación y traducidas a dígitos binarios para que sean entendidas por el hardware.

Splitter.- Dispositivo que separa las señales de datos y voz, formado por dos filtros, uno pasa bajo y el otro pasa altos.

Subwoofer.- Alta voz que sirve para reforzar frecuencias bajas.

Teleinscriptor.- Usuario final de servicios de televisión con suscripción para hacer uso del servicio.

Transformada de Fourier.- Procedimiento matemático que permite trasladar una función matemática del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Triple Play.- Servicio que integra voz, video y datos sobre una sola línea telefónica.

Unicast.- Forma de transmisión IP en la que se envía la información a una sola computadora.

Video Streaming.- Flujo de bits que llevan información de video.

Videoconferencia.- Comunicación en la cual se transmite voz y video en tiempo real, entre dos localidades.

Wireless.- Red inalámbrica de datos.

ANEXOS

ANEXO 1

**“CONFIGURACIONES DEL
PROTOTIPO DE PRUEBAS”**

CONFIGURACIONES CON EL PROTOCOLO PIM-DM

```
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
```

```
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 1000000
 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 1000000
 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 1000000
 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 1000000
 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
```

```
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
```

```
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
```

```
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
```

CONFIGURACIONES CON EL PROTOCOLO PIM-SM

```
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
```

```
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
ip pim rp-address 10.1.17.1

interface FastEthernet0/0
bandwidth 1000000
ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
duplex auto
speed auto
no shut

interface Serial0/0/1
bandwidth 1000000
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

interface Serial0/1/0
bandwidth 1000000
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

interface Serial0/1/1
bandwidth 1000000
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
```

```
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
```

```
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
```

```
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
```


CONFIGURACIONES CON EL PROTOCOLO PIM SM-DM

```
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
```

```
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
```

```
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
```

```
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
```

```
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 2

MATRIZ DE DATOS USADA PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- MINEI, I., MPLS-ENABLED APPLICATIONS: EMERGING DEVELOPMENTS AND NEW TECHNOLOGIES.,** 3a ed., New Delhi-India., Wiley., 2011., 632p

- 2.- MINOLI, D., IP MULTICAST WITH APPLICATIONS TO IPTV AND MOBILE DVB-H.,** 1a ed., New Jersey-EEUU., Wiley., 2008., 376p

- 3.- WILLIAMSON, B., DEVELOPING IP MULTICAST NETWORKS.,** 1a ed., Indianapolis-EEUU., Cisco Press., 2010., 568p

- 4.- AHMAD, K., IEEE Communicatios Magazine., IPTV AND VIDEO NETWORKS IN THE 2015 TIMEFRAME: THE EVOLUTION TO MEDIA NETS.,** Washington-EEUU., 2009., Pp 25-31.

- 5.- ACOSTA, M., IPTV MULTICASTING.,** Facultad de Ingeniería, Escuela de Computación, Universidad Don Bosco., San Salvador-El Salvador., TESIS., 2008., Pp 47-65

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

6.- IP MULTICAST AND MULTIPOINT DESING FOR IPTV SERVICES

http://www.cisco.com/web/SG/BRKVVT_2102_ipvt_Eckert_Toerless.pdf

[2013/06/26]

7.- STREAMING VLC

<http://www.usosweb.com/sites/default/files/ManualStreamingVLC.pdf>

[2013/05/05]

8.- MULTICAST

<https://www.fdi.ucm.es/profesor/jcfabero/Asuncion/mcast.pdf>

[2013/05/07]

9.- CISCO IPTV INTEGRATION OVER MPLS

<https://supportforums.cisco.com/thread/2238267>

[2013/04/08]

10.- PIM

<http://network-technologies.metaswitch.com/multicast/what-is-pim.aspx>

[2013/08/20]

11.- IGMP

<http://www.networksorcery.com/enp/protocol/igmp.htm>

[2013/07/15]

12.- RTP

<http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>

[2013/09/05]

13.- PIM DM

<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3973.txt>

[2013/08/14]

14.- PIM SM

<http://tools.ietf.org/html/rfc4601>

[2013/08/21]

15.- MPLS

<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt>

[2013/07/20]

16.- OSPF OVER MPLS

<http://thwack.solarwinds.com/thread/37964>

[2013/08/01]

17.- IPTV PROBE

<http://fetest.com/newsite/portfolio/festream-iptv-expert-analyzer/>

[2013/10/01]

18. - CONFIGURING IP MULTICAST ROUTING ON CISCO

<http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/ip/configuration/guide/1cfmulti.html>

[2013/06/29]

19.- IP MULTICAST AND PIM RENDEZVOUS POINTS

<http://www.netcraftsmen.net/resources/archived-articles/375.html>

[2013/06/12]