



PORTADA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**REDISEÑO DE PUNTOS DE INTERCAMBIO DE TRÁFICO (IXPs) DE LA RED DE
APROVA**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Programación y Redes

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la información y Sistemas de
control

AUTOR: Kevin Adrian Guevara Barrera

TUTOR: Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte, Mg.

Ambato - Ecuador

febrero – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: REDISEÑO DE PUNTOS DE INTERCAMBIO DE TRÁFICO (IXPs) DE LA RED DE APROSVA desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Kevin Adrian Guevara Barrera , estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, febrero 2024.

Ing. Victor Santiago Manzano Villafuerte, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: REDISEÑO DE PUNTOS DE INTERCAMBIO DE TRÁFICO (IXPs) DE LA RED DE APROSVA es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2024.



Kevin Adrian Guevara Barrera

C.C: 1804771481

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, febrero 2024.



Kevin Adrian Guevara Barrera

C.C: 1804771481

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Kevin Adrian Guevara Barrera, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado REDISEÑO DE PUNTOS DE INTERCAMBIO DE TRÁFICO (IXPS) DE LA RED DE APROSVA , nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, febrero 2024.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Diego Gordón Gallegos, PhD.
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi familia por ser el pilar fundamental durante este camino, por su apoyo incondicional en alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por haberme apoyado durante este proceso de formación profesional, por haberme enseñado los valores más importantes que definen a un ser humano correcto, por enseñarme que con el sudor del trabajo se consiguen buenos frutos, a mis hermanos por ser la motivación para no desistir en alcanzar esta meta.

A la Universidad Técnica de Ambato por darme la oportunidad de formarme profesionalmente en la prestigiosa FISEI.

Al Ing. Carlos Cando por haberme abierto las puertas de su prestigiosa empresa Telecom donde he adquirido conocimientos para el mundo laboral gracias a él y a todo su personal, excelentes personas y amigos.

Al Ing. Santiago Manzano, Mg por su apertura y predisposición en el desarrollo del presente proyecto. Gracias por el tiempo dedicado, sobre todo gracias por brindarme su amistad a lo largo de la carrera.

De manera especial agradezco al Ing. Alex Vinicio Guevara por ser la persona quien me motivó a iniciar en el mundo de la Ingeniería, mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo brindado a lo largo de estos años, para el mi admiración y respeto.

A los verdaderos amigos que siempre estuvieron ahí en las buenas y malas de una u otra manera apoyándome.

Agradezco a mi mente, cuerpo y espíritu por nunca rendirse y sobre llevar las adversidades que encontramos en el trayecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xx
RESUMEN EJECUTIVO	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes investigativos	3
1.3 Fundamentación teórica	6

1.3.1 Entidades de Internet.....	6
1.3.2 Arquitectura de Internet	7
1.3.3 Puntos de Intercambio de Internet (IXP)	9
1.3.4 Funcionamiento de un IXP.....	10
1.3.5 Tipos de IXP	11
1.3.6 Clasificación técnica de un IXP	13
1.3.7 Acuerdos de Interconexión IP.....	14
1.3.8 Beneficios de los IXP.....	17
1.3.9 Latencia.....	18
1.3.10 Jitter	19
1.3.11 Perdida de paquetes.....	20
1.3.12 Numero de sistema Autónomo (ASN).....	20
1.3.13 Border Gateway Protocol (BGP).	21
1.3.14 Normas Mutuamente Acordadas para la Seguridad del Enrutamiento	23
1.3.15 Software de Simulación	24
1.4 Objetivos	25
1.4.1 Objetivo general.....	25
1.4.2 Objetivos específicos	25
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	26
2.1 Materiales.....	26
2.2 Métodos.....	26

2.2.1 Modalidad de la investigación	26
2.2.2 Recolección de información	27
2.2.3 Procesamiento y análisis de datos.....	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1 Selección de Software	28
3.2 Análisis del estado actual de la red e intercambio de tráfico de APROSVA.....	28
3.2.1 Ubicación de los nodos correspondientes a los IXPs.....	28
3.2.2 Topología lógica de los Nodos.....	29
3.2.3 Tipo de conexión IXP	32
3.2.4 Tipo de IXP	33
3.2.5 Protocolos implementados.	33
3.2.6 Activos tangibles.....	33
3.2.7 Activos Intangibles.....	35
3.2.8 Análisis del Estado actual de la red de Aprosva.	37
3.2.9 Simulación del estado actual de la red de Aprosva.....	39
3.2.10 Propuesta de Rediseño de Puntos de intercambio de tráfico.....	63
3.2.11 Simulación de red Propuesta.....	63
3.2.12 Análisis de Resultados	76
3.2.13 Análisis Económico	77
3.2.14 Análisis Técnico.....	79
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
4.1 Conclusiones	80

4.2 Recomendaciones.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Software de Simulación	24
Tabla 2. Materiales.....	26
Tabla 3. Estado y ubicación de los IXPs.....	28
Tabla 4. Tipo de conexión de los IXPs.	32
Tabla 5. Tipo de IXP	33
Tabla 6. Protocolos de los IXPs	33
Tabla 7. Activos Tangibles IXP Ambato	34
Tabla 8. Activos tangibles IXP Santo Domingo	34
Tabla 9. Activos tangibles IXP Pasaje	35
Tabla 10. Activos Tangibles IXP Manuel J. Calle.....	35
Tabla 11. Activos intangibles IXP Ambato	36
Tabla 12. Activos Intangibles IXP Santo Domingo.....	36
Tabla 13. Activos Intangibles IXP Manuel J Calle.....	36
En la Tabla 13 Tabla 13Tabla 14. Activos Intangibles IXP Pasaje	36
Tabla 15. Análisis del IXP Ambato	37
Tabla 16. Análisis del IXP Santo Domingo	37
Tabla 17. Análisis del IXP Pasaje.....	38
Tabla 18. Análisis del IXP Manuel J. Calle.....	38
Tabla 19. Análisis general de Aprosva	38
Tabla 20. Direcciones del ISP 1 del IXP Ambato.....	40

Tabla 21. Direcciones en el ISP 2 del IXP Ambato.....	47
Tabla 22. Direcciones en el ISP 3 del IXP Ambato.....	48
Tabla 23. Direcciones en el ISP 1 del IXP Santo Domingo.....	49
Tabla 24. Direcciones en el ISP 2 del IXP Santo Domingo.....	50
Tabla 25. Direcciones en el ISP 1 del IXP Santo Domingo.....	50
Tabla 26. Direcciones en el ISP 1 del IXP Pasaje.....	51
Tabla 27. Direcciones del IXP Neutro Aprosva.....	52
Tabla 28. Direcciones del ISP 2 en el IXP Pasaje.....	52
Tabla 29. Direcciones del ISP 3 en el IXP Pasaje.....	53
Tabla 30. Direcciones del ISP 1 y equipos del IXP M. J Calle.....	54
Tabla 31. Direcciones del ISP 2 y equipos del IXP M. J Calle.....	55
Tabla 32. Direcciones del ISP 3 y equipos del IXP M. J Calle.....	55
Tabla 33. Direcciones del ISP 4 y equipos del IXP M. J Calle.....	56
Tabla 34. Valores obtenidos mediante la simulación.....	58
Tabla 35. Valores obtenidos mediante la simulación.....	58
Tabla 36. Valores obtenidos mediante la simulación.....	59
Tabla 37. Valores obtenidos mediante la simulación.....	60
Tabla 38. Valores obtenidos mediante la simulación.....	60
Tabla 39. Valores obtenidos mediante la simulación.....	60
Tabla 40. Valores obtenidos mediante la simulación.....	60
Tabla 41. Valores obtenidos mediante las pruebas	61

Tabla 42. Valores obtenidos mediante las pruebas	62
Tabla 43. Valores obtenidos mediante las pruebas	62
Tabla 44. Lista de direcciones IPs a ser descartadas.....	63
Tabla 45. Direcciones del ISP1, IXP Ambato.....	66
Tabla 46. Direcciones del ISP2, IXP Ambato.....	66
Tabla 47. Direcciones del ISP3, IXP Ambato.....	66
Tabla 48. Direcciones del ISP1, IXP Santo Domingo	70
Tabla 49. Direcciones del ISP2, IXP Santo Domingo	71
Tabla 50. Direcciones del ISP3, IXP Santo Domingo	71
Tabla 51. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP1 del IXP Ambato.....	73
Tabla 52. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP2 del IXP Ambato.....	74
Tabla 53. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP3 del IXP Ambato.....	74
Tabla 54. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP1 del IXP Santo Domingo	75
Tabla 55. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP2 del IXP Santo Domingo	75
Tabla 56. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP3 del IXP Santo Domingo	75
Tabla 57. Resultados del IXP Ambato.....	76
Tabla 58. Resultados del IXP Santo Domingo.....	77
Tabla 59. Precios de conexiones mediante proveedores.....	78
Tabla 60. Capacidades contratadas por los ISPs de Ambato y Sto. Domingo.....	78

Tabla 61. Costos de infraestructura propia.	79
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entidades de Internet	7
Figura 2. Conexión entre Operadores T1.....	8
Figura 3. Estructura del Internet.....	9
Figura 4. ISP con conexión a IXP	10
Figura 5. Conexión de ISPs a un IXP neutral	11
Figura 6. IXP modelo de capa 3	11
Figura 7. IXP modelo capa 2	12
Figura 8. IXP con router Server.....	13
Figura 9. IXP centralizado	13
Figura 10. IXP distribuido.....	14
Figura 11. Peering Directo	15
Figura 12. Peering mediante IXP.....	16
Figura 13. Conexión Tipo Transit	17
Figura 14. Conexión EBGP e IBGP.....	22
Figura 15. Ubicación geográfica de los Nodos	29
Figura 16. Topología IXP Ambato.....	30
Figura 17. Topología IXP Santo Domingo	31
Figura 18. Topología IXP Pasaje	31
Figura 19 Topología IXP Manuel J. Calle	32
Figura 20. Topología IXP Ambato.....	39

Figura 21. Instancia BGP en router de Borde Telecom (ISP Local).....	41
Figura 22. Instancia BGP en router de Borde Cirion (ISP Nacional).....	41
Figura 23. Instancia BGP en router de Borde ISP Internacional.	42
Figura 24. Filtros BGP en el Router del ISP Local.....	42
Figura 25. Filtros BGP en router ISP Nacional.....	43
Figura 26. Filtros BGP en router ISP Internacional.....	43
Figura 27. Creación de PEER BGP en el router del ISP Local.....	44
Figura 28. Peer del ISP Nacional con el ISP Internacional.....	44
Figura 29. Peer del ISP Nacional con el ISP Local.....	45
Figura 30. Peer BGP en el router del ISP Local	45
Figura 31. Peer BGP en el router del ISP Nacional	45
Figura 32. Peer BGP en el router del ISP Internacional	46
Figura 33. Prefijos anunciados en el router de borde del ISP Local	46
Figura 34. Prefijos anunciados por el ISP Nacional	46
Figura 35. Prefijos anunciados por el ISP Internacional.....	47
Figura 36. Topología Actual IXP Santo Domingo.....	49
Figura 37. Topología Actual del IXP Pasaje.....	51
Figura 38. Peers creados en el Router de borde en ISP Nacional de Pasaje	53
Figura 39. Peers creados en el router del IXP Aprosva	53
Figura 40. Topología Actual IXP Manuel J. Calle.....	54
Figura 41. Peers creados y establecidos en el IXP Manuel J. Calle.....	56

Figura 42. Peers creados en el ISP1 del IXP M. J. Calle	57
Figura 43. Peers creados en el Router del IXP neutro de Aprosva.....	57
Figura 44. Pruebas de tráfico entre cliente y servidor.....	58
Figura 45. Consumo de Parámetros IXP Ambato.....	59
Figura 46 . Consumo de Parámetros IXP Santo Domingo.....	61
Figura 47. Pruebas de tráfico entre cliente y servidor.....	61
Figura 48. Consumo de Parámetros IXP Pasaje.....	62
Figura 49. Topología de Red Propuesta.....	65
Figura 50. Filtros de Routing	67
Figura 51. Creación del Peer con el IXP.....	68
Figura 52. Anuncio de prefijos.....	68
Figura 53. Comprobación de la sesión BGP en el Router del ISP.....	69
Figura 54. Comprobación de la sesión BGP en el Router del IXP	69
Figura 55. Comprobación de Redes Anunciadas.....	69
Figura 56. Peers Creados en el Router del IXP.....	70
Figura 57. Peers creados y establecidos en el Router del IXP.....	71
Figura 58. Peers creados exitosamente en el IXP Aprosva.....	72
Figura 59. Rutas aprendidas en el router del IXP	72
Figura 60. Preferencias de Redes	73
Figura 61. Consumo de Parámetros del IXP Ambato	74
Figura 62. Consumo de Parámetros del IXP Santo Domingo.....	76

Figura 63. Precios de interconexión al IXP de Aprosva 78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Configuración tomada de los ISP del IXP Ambato y Sto. Domingo	85
Anexo B. Formulario de levantamiento de Información	92

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación trata sobre el Rediseño de Puntos de Intercambio o IXP por sus siglas en Ingles, mediante la investigación se han determinado los problemas que presentan los ISP miembros de Aprosva, además de generar una propuesta de solución basada en la correcta configuración de equipos y protocolos que permitan la interconexión entre diferentes ISP y un punto de intercambio que permita acceder a los beneficios que este ofrece.

En la actualidad existen acuerdos tipo Transit y Peering los mismos que determinan como se interconectan las redes y se gestiona el tráfico que se cursa a través de ellas. El objetivo principal de la investigación es evidenciar las mejoras y beneficios que un ISP puede obtener al conectarse a un IXP, para lo cual se ha realizado un levantamiento de información de cada uno de los miembros de los IXP que forman parte de Aprosva determinando así la configuración actual que poseen, los equipos que poseen, los protocolos y otros recursos de software que poseen, posteriormente se simuló la topología que presenta cada uno de estos IXP obteniendo así los parámetros más importantes que influyen en el rendimiento de una red.

Este rediseño se basó en la configuración de equipos Mikrotik, configuración del protocolo BGP, filtros de enrutamiento adecuados, las ventajas de poseer IPs públicas y un numero de sistema autónomo. Finalmente se presenta una propuesta en la cual se han determinado los beneficios técnicos y económicos de conectarse a un IXP.

Palabras clave: IXP, BGP, ISP, protocolos, filtros de enrutamiento, beneficios técnicos.

ABSTRACT

This research project deals with the Redesign of Exchange Points or IXP for its acronym in English, through the research have been determined the problems presented by the ISP members of Aprosva, in addition to generating a proposed solution based on the correct configuration of equipment and protocols that allow the interconnection between different ISP and an exchange point that allows access to the benefits it offers.

Currently, there are Transit and Peering agreements that determine how the networks are interconnected and the traffic that flows through them is managed. The main objective of the research is to demonstrate the improvements and benefits that an ISP can obtain by connecting to an IXP, for which a survey of information of each of the members of the IXP that are part of Aprosva has been carried out, determining the current configuration they have, the equipment they have, the protocols and other software resources they have, then the topology of each of these IXP was simulated, thus obtaining the most important parameters that influence the performance of a network.

This redesign was based on the configuration of Mikrotik equipment, BGP protocol configuration, adequate routing filters, the advantages of having public IPs and an autonomous system number. Finally, a proposal is presented in which the technical and economic benefits of connecting to an IXP have been determined.

Keywords: IXP, BGP, ISP, protocols, routing filters, technical benefits.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

REDISEÑO DE PUNTOS DE INTERCAMBIO DE TRÁFICO (IXPS) DE LA RED DE APROSVA.

1.1.1 Planteamiento del problema

Según la Internet Society, los puntos de intercambio de tráfico son ubicaciones físicas donde distintas redes se conectan para intercambiar tráfico de internet mediante infraestructuras compartidas de conmutación. Estos puntos son esenciales para el ecosistema de internet y sirven como medio vital para reducir costos y mejorar la calidad de la conectividad en las comunidades locales [1].

Los IXP desempeñan un papel crucial en el ecosistema de Internet, y su número ha aumentado significativamente con el tiempo. Aunque las formas en que añaden valor pueden diferir, su objetivo sigue siendo el mismo. Actualmente, existen aproximadamente 100 IXP en América Latina y el Caribe, con varios proyectos en curso para establecer nuevos puntos de intercambio de tráfico a corto y medio plazo. Los 21 países de la región tienen al menos un IXP, y 15 países del Caribe tienen un IXP o tienen proyectos en marcha. Argentina y Brasil son especialmente conocidos por el éxito de sus proyectos de puntos de intercambio de tráfico, gestionados por organizaciones de éxito: CABASE en Argentina y NIC en Brasil. Juntos, estos proyectos han establecido 33 puntos de intercambio de tráfico en sus respectivos países [2].

En julio de 2001, la Asociación de Proveedores de Servicios de Internet, Valor Añadido, Transportistas y Tecnologías de la Información (AEPROVI) de Ecuador tomó la iniciativa de crear un Punto Nacional de Intercambio de Internet sin ánimo de lucro, NAP.Ec, para operadores públicos y privados. Actualmente existen dos nodos, uno en Quito y otro en Guayaquil. NAP.Ec sólo gestiona tráfico nacional y no tiene conexiones internacionales. Desde 2009 está habilitado el protocolo IPV6. A 22 de noviembre de 2018, Ecuador tenía 113 ASN asignados, de los cuales 93 se utilizaban

activamente. En diciembre de 2018, NAP.Ec registró 19 Sistemas Autónomos (SA) conectados directamente. Es importante señalar que estos Sistemas Autónomos anuncian prefijos de sus clientes en la tabla de enrutamiento de NAP.Ec. Por lo tanto, NAP.Ec contiene prefijos de 94 AS diferentes, incluidos 87 AS ecuatorianos y 7 AS de redes internacionales. Cada ISP negocia y tiene su propia salida internacional. Ecuador tiene tres salidas internacionales a través de cables submarinos.[3] .

En lo que respecta a la situación actual de Aprosva (Asociación de Proveedores de Servicio de Valor Agregado), creada en el 2015 sin fines de lucro que tiene como objetivo participar en el desarrollo de las telecomunicaciones, así como contribuir en la promoción, desarrollo y bienestar de sus socios y la colectividad en general, apoyando la masificación de acceso a las tecnologías de la información y la comunicación. Al momento, APROSVA agrupa a aproximadamente ciento cincuenta (150) proveedores de servicio de Internet (ISP, por sus siglas en inglés) que principalmente tienen desplegadas sus redes e infraestructura de telecomunicaciones, en las zonas rurales de las veinte y cuatro provincias del país y a través de la ardua labor de éstos, se contribuye con el cierre de la brecha digital con servicios de calidad, asequibles y confiables. Gran parte de estos ISP forman parte de los puntos de intercambio de tráfico, actualmente la red de tráfico de Aprosva está formada por ocho (8) IXP ubicados en diferentes provincias del país.

El objetivo de este estudio es determinar el estado actual de Aprosva, centrándose en destacar los problemas relacionados con su bajo rendimiento. Algunos de los problemas que se han identificado son los siguientes:

Actualmente, la empresa se enfrenta a una escasez de puntos de intercambio, lo que provoca problemas de calidad del servicio, como una mayor latencia y conexiones más lentas. Esto se debe a que el tráfico debe transportarse por rutas más largas. Además, la escasez de puntos de intercambio limita la capacidad de los ISP, restringiendo así su capacidad de proporcionar a los usuarios un mayor ancho de banda y servicios de menor precio.

El término "Tránsito" se refiere a las conexiones directas a Internet que utiliza un ISP. En este caso, la conexión se realiza a través de un ISP más grande, y dependiendo del acuerdo, esta conexión puede ser costosa. El ISP más pequeño paga al ISP más grande

por el tráfico que pasa a través de su red, que puede estar limitado por el ancho de banda disponible para el ISP más pequeño. El ISP más grande se conoce como proveedor de tránsito. Este tipo de conexión crea una dependencia del ISP respecto al proveedor de tránsito. Si el proveedor de tránsito aumenta sus tarifas, el ISP más pequeño se verá obligado a pagar más por el acceso a Internet, lo que se traducirá en precios más altos para los clientes.

Un problema frecuente que surge es la presencia de un número significativo de saltos de enrutamiento, lo que significa que los paquetes tienen que atravesar múltiples dispositivos de red para llegar a su destino. Cada salto supone un aumento del tiempo que tarda un paquete en llegar a su destino, ya que cada dispositivo introduce un cierto retraso en el procesamiento y transmisión del paquete. Además, puede producirse congestión debido a la carga de la red, la calidad de los enlaces y la capacidad de procesamiento de los dispositivos de red. En consecuencia, un elevado número de saltos de enrutamiento provoca una mayor latencia en la conexión, lo que afecta negativamente a la calidad del servicio, especialmente en aplicaciones como el streaming de vídeo, las videoconferencias o los juegos en línea, y repercute negativamente en el usuario final.

1.2 Antecedentes investigativos

Se investigaron múltiples fuentes bibliográficas, tanto a nivel nacional como internacional, que revelaron trabajos similares sobre el tema de investigación. Estos hallazgos servirán de guía para el desarrollo del presente proyecto. Se detallan las siguientes fuentes:

En el año 2018 en la investigación realizada por Marcos Castillo en su tema “Proyecto de Implementación de un Punto de Intercambio de Tráfico (IXP)”, en la Universidad Católica de Salta, propone estudiar, investigar y analizar los IXPs, además de evaluar el ecosistema en que se encuentran en Argentina para posteriormente desarrollar y diseñar la implementación de estas estructuras para mejorar el enrutamiento entre ISPs y CDNs, adicionalmente se evalúan las ventajas e inconvenientes que puede presentar dicha infraestructura en el intercambio regional. Como resultado de esta investigación se ha obtenido que un IXP representa una alternativa competitiva a los precios

impuestos por los proveedores de tránsito internacional, Además un IXP necesita incorporar más tráfico para poder explotar al máximo su potencial y para esto necesita de la participación de ISPs que puedan aportar este volumen de tráfico, Además menciona que para un ISP local llevar su tráfico por medio de un IXP significa que deja de depender de un ISP mayor lo que conllevar a eliminar ciertas barreras impuestas por el mismo como ancho de banda y precios elevados de Mbps [4].

En la investigación titulada “Diseño de Puntos de Intercambio de Internet en entornos virtuales con Tecnología Cisco, implementando servicios multimedia”, elaborada por Néstor Estrada, Alina Lorío y Ulises Ramírez, realizada en la Universidad Nacional autónoma de Nicaragua en el año 2018 la misma que tiene como objetivos el exponer el procedimiento que se requiere para la configuración y puesta en marcha de un IXP usando la tecnología Cisco, además de realizar la implementación de los servicios de red multimedia más relevantes utilizados en los puntos de intercambio de Internet, en esta se definen conceptos importantes como IXP y su funcionamiento, así como los diseños que se utilizan para establecer conexiones IXP , se detallan las ventajas y desventajas que presenta un IXP, se han definido los tipos de tráfico presentes en la conectividad de los ISPs las mismas que son Transito, Peering y Default, otra parte importante es la definición de los tipos de acuerdos que se realizan entre los proveedores de servicios, finalmente como resultados de esta investigación el autor menciona que es posible poner en marcha un IXP en un entorno virtual gracias a la disponibilidad de imágenes binarias de enrutadores y switches de alta gama, instalando y configurando servicios de red multimedia en máquinas virtuales para simular la comunicación entre distintas universidades e instituciones educativas[5] .

En el año 2020 en la investigación realizada por Cortés Paul y Zambrano Diana denominada “ANALISIS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UN IXP PARA LA RED DE CIENCIA Y TECNOLOGIA ECUATORIANA” en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador que tiene como objetivo principal investigar sobre la importancia y el impacto que tendría la instalación de un IXP en la red de ciencia y tecnología ecuatoriana, parte de esta investigación tiene como objetivo determinar la existencia de redes físicas de universidades y centros de investigación en el Ecuador para que puedan converger al posible IXP, sin provisión privada, en este estudio de factibilidad se ha realizado un análisis de los riesgos posibles asociados a la provisión

privada del tráfico de datos desde y hacia las redes avanzadas de ciencia y tecnología internacionales . Como resultados de esta investigación el autor concluye que sería óptimo que las redes académicas cuenten con un backbone propio para que de esta manera mejore la disponibilidad del servicio como base tecnológica para la colaboración entre universidades e institutos ecuatorianos con sus equivalentes extranjeros, en la investigación se evidencia que el costo de implementación es mínimo ya que se reduce a equipos básicos[6] .

En la investigación titulada “Tomografía de Internet : Medición de tráfico y relación con la tipología” realizada por Esteban Carisimo en la Universidad de Buenos Aires en el año 2020, cuyo enfoque está en el estudio de la topología de Internet principalmente a nivel de Sistemas Autónomos con interés en la relación existente en la estructura de la red de Internet y el tráfico transmitido, para el desarrollo de esta investigación el autor ha planteado la hipótesis “la irrupción de los proveedores de contenido a gran escala ha reconfigurado la topología de Internet en particular alterando los principales puntos de entrega de tráfico” para probar esta hipótesis ha recolectado evidencias desde tres perspectivas distintas, el primero trata de un estudio de los proveedores de contenido quienes en la actualidad son los responsables de la generación de la mayor parte de tráfico transportado sobre Internet, el segundo escenario es el estudio de los IXPs ya que estas son estructuras donde se intercambia gran parte del tráfico de Internet incluyendo el tráfico generado por los proveedores de contenido, por último hace un análisis de los efectos del aumento de tráfico multimedia a través de los puntos de la red con capacidad insuficiente para cumplir con tal demanda. Dentro del tema de interés el autor aporta evidenciando la presencia de colecciones de tablas BGP recolectadas por colectores ubicados en los IXPs, como resultado de este análisis concluye que los sistemas de IXPs en Argentina, Brasil y Chile reúnen casi la totalidad de sistemas Autónomos de cada uno de esos países, alcanzando niveles de consolidación similares a IXPs europeos[7] .

En la investigación realizada por Dany Montero denominada “Estudio de Factibilidad de una red IXP para Mejorar la calidad del servicio de la empresa SYSNOVELLTEL S.A”, realizada en el 2021 en la Universidad Católica de Cuenca cuya finalidad es determinar la factibilidad tanto a nivel técnico, económico y legal para la implementación de una red con tecnología de IXP, que permita la conexión eficiente

y segura para el acceso a los servicios, para lograr esto el autor ha realizado una investigación de conceptos que integran las topologías de red, los elementos de los IXPs, protocolos de red. En esta investigación el autor usa la metodología PMBOK, además en ella estudia los equipos tecnológicos, los costos requeridos, el marco legal además de la parte ambiental para cumplir con la implementación del proyecto. Como resultado de esta investigación se detallan los aspectos y equipos técnicos necesarios para la implementación de un IXP, además en esta investigación se comprobó que los IXP mejoran la calidad de servicio de internet beneficiando a proveedores y clientes[8].

1.3 Fundamentación teórica

Dentro de este apartado se inicia definiendo la estructura de Internet, para posteriormente dar paso al tema principal de la investigación los puntos de intercambio de tráfico, las características, los tipos de conexiones, los protocolos que intervienen en su configuración, sus beneficios, etc.

1.3.1 Entidades de Internet.

Internet es considerada como la mayor red de comunicaciones del planeta, formada por la interconexión de miles y millones de redes alrededor del mundo entero. Por la cantidad de servicios que esta ofrece, su estructura está formada por una serie de miembros, se divide del siguiente modo[4]:

- Redes de Proveedores o Tiers
- Puntos de Intercambio de Tráfico (IXP)
- Proveedores de contenido y redes de entrega de Contenidos[4]

En la Figura 1 se muestran las entidades que conforman el ecosistema de Internet.

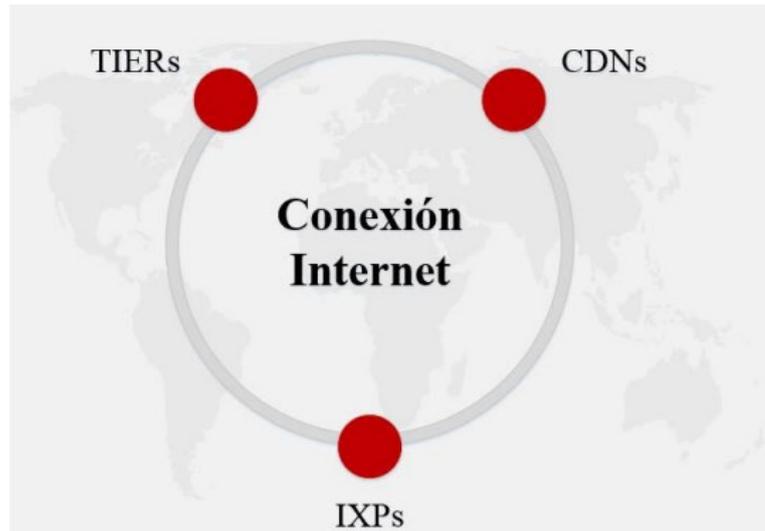


Figura 1. Entidades de Internet [4]

1.3.2 Arquitectura de Internet

Internet está diseñada para permitir la comunicación entre todos los usuarios de esta red, independientemente de su ubicación o proveedor de servicios. Para que esto sea posible, es necesario que las redes de los distintos proveedores estén interconectadas.

Esta interconexión de redes se clasifica jerárquicamente en función de su cobertura, despliegue, tráfico gestionado y otros factores. Estos niveles se denominan Niveles, y se clasifican de la siguiente manera:[4].

a. Operadores T1.

Conocidos como Global Carriers, estos operadores son responsables de las conexiones de red de alta capacidad a escala mundial. Se encargan de la conectividad internacional a Internet. A través de una conexión T1, es posible acceder a cualquier punto de Internet porque todos los operadores T1 deben estar interconectados. No utilizan rutas por defecto, sino que tienen rutas a todas las redes conectadas a internet. Puede decirse que los operadores T1 forman la columna vertebral o núcleo de internet. El número de empresas definidas como operadores T1 no es significativo, lo que permite y facilita las negociaciones entre ellas. No pagan por la interconexión entre ellos[4] .

Esta conexión de red se conoce como DFZ (Default Free Zone), y abarca una recopilación de todos los AS (Sistemas Autónomos), permitiendo el acceso a cualquier

parte de la red sin necesidad de una ruta predeterminada. La DFZ posee una tabla BGP completa, lo que permite acceder a cualquier sitio de la red[4]. En la Figura 2 se muestra la interconexión entre operadores T1.

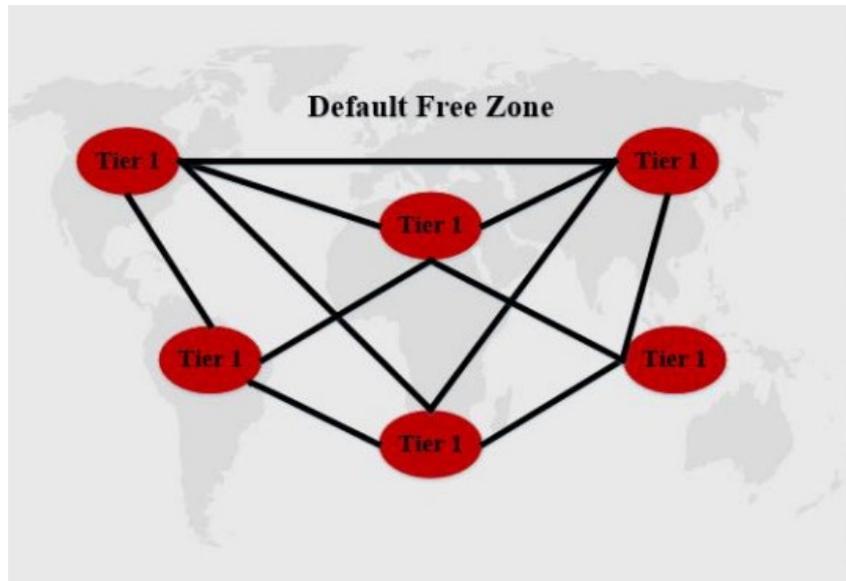


Figura 2. Conexión entre Operadores T1[4].

b. Operadores T 2.

Comúnmente denominados "Operadores de Tránsito", los operadores T2, se encargan de conectar dos o más redes de distintos operadores a través de su propia red. En la mayoría de los casos, un operador T3 no tiene acceso directo a un operador T1, y para proporcionar acceso a Internet es necesario que se conecte a la red T1. Aquí es donde entran en juego los operadores T2, que ofrecen un servicio de transporte de tráfico desde el operador T3 hasta el punto en que pueden conectarse con el operador T1[4].

c. Operadores T3

También conocidos como ISP, establecen una conexión directa con el usuario final, dándole acceso a Internet y a sus distintos servicios. Los actores dominantes del mercado suelen ser los proveedores T1, que no sólo ofrecen acceso, sino que también funcionan como proveedores internacionales. Junto a ellos, existen numerosos ISP en cada país, gestionados por pequeñas y medianas empresas. Estos ISP, sin embargo, suelen tener un bajo índice de penetración de clientes[4]. En la Figura 3 se muestra la interconexión entre los diferentes tipos de Operadores.

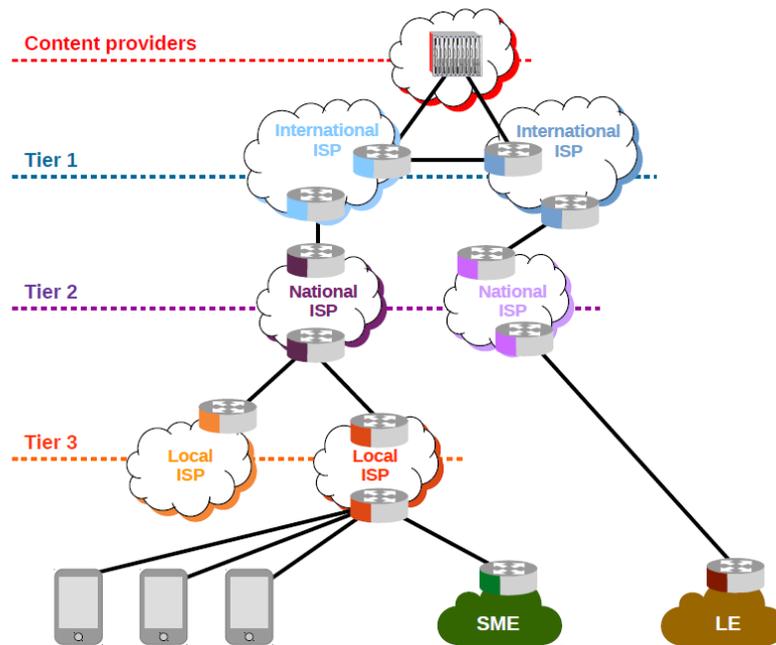


Figura 3. Estructura del Internet[9]

1.3.3 Puntos de Intercambio de Internet (IXP)

Una red de redes sirve principalmente para realizar un trabajo eficiente, lo que requiere una estructura de Puntos de Intercambio conocidos como IXP. Esto permite la interconexión del tráfico de varios proveedores de red. Cuando hay varias redes locales que necesitan intercambiar tráfico, es más eficaz establecer un punto de intercambio central donde puedan conectarse todas las redes, lo que facilita una transición de datos más fluida [10].

Los IXP se encargan de mejorar la calidad y reducir el costo del acceso a Internet en las comunidades locales, reforzando así la conectividad. Además, desempeñan un papel crucial en el enrutamiento del tráfico local y regional. Los ISP y otros operadores de red se benefician de los IXP, ya que mejoran la conectividad de la red para los usuarios. Su objetivo es mejorar el acceso a diversos contenidos en línea, lo que repercute positivamente en la calidad del servicio y la experiencia de los usuarios[2].

Los IXP son componentes locales vitales para la interconexión y el intercambio de tráfico. Estas instalaciones técnicas permiten a todos los proveedores de servicios de Internet (ISP) de una localidad o región conectarse directamente entre sí. Estos puntos de intercambio facilitan los acuerdos entre pares locales para el tráfico nacional,

minimizan los saltos en la red para el intercambio de tráfico, amplían las opciones de encaminamiento, optimizan la conectividad internacional a Internet, mejoran la solidez de la red y potencialmente la calidad del servicio, reducen los costos de transmisión y aumentan potencialmente la penetración y las tasas de uso de Internet a largo plazo [11]. En la Figura 4 se muestra la topología de un ISP con acceso a un IXP.

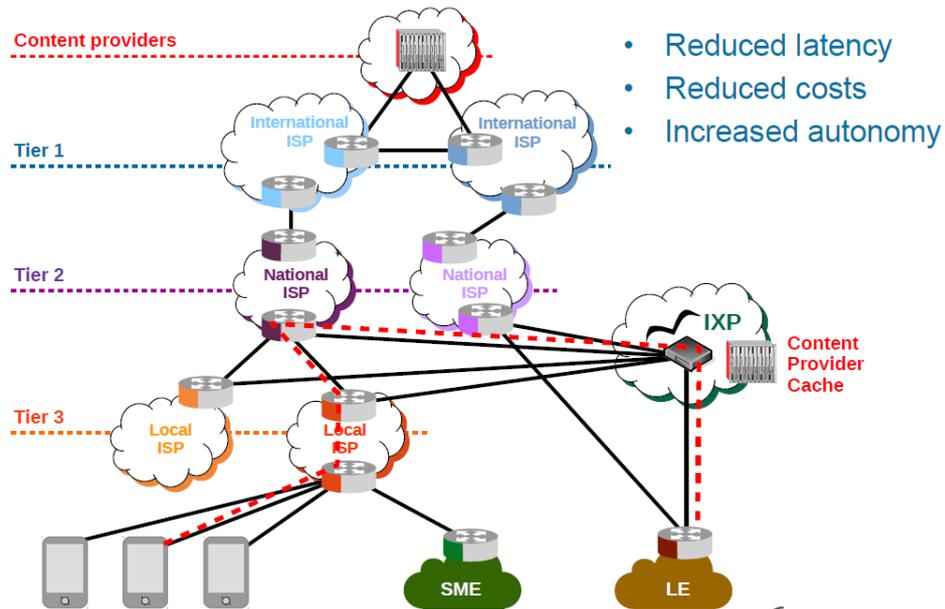


Figura 4. ISP con conexión a IXP[9].

1.3.4 Funcionamiento de un IXP

Internet es una amplia disposición jerárquica de proveedores mundiales, regionales, nacionales y locales. Estos proveedores ofrecen servicios de tránsito a otros operadores por el tráfico que cursa por sus redes. Cuando dos redes de posición similar en el mercado intercambian cantidades iguales de tráfico, llegan a un acuerdo sin pago denominado interconexión voluntaria. Esto ocurre directamente entre dos redes o a través de un punto de intercambio independiente [5].

Cuando hay más de dos redes locales que necesitan intercambiar tráfico, es más eficaz instalar un punto de intercambio al que pueda conectarse cada red. Varios ISP pueden compartir un IXP local para enrutar su tráfico local. Este IXP puede verse como el centro de una red en estrella, de modo que el tráfico local de cualquier red pase por un único punto hasta el punto de intercambio. Esto ayuda a reducir los costes de telecomunicaciones y gestión de múltiples enlaces directos entre cada una de las redes,

y aumenta la velocidad del tráfico local al minimizar el número de segmentos de red necesarios para llegar a otra red local [5]. En la Figura 5 se muestra la conexión de tres ISPs a un punto de intercambio neutral.

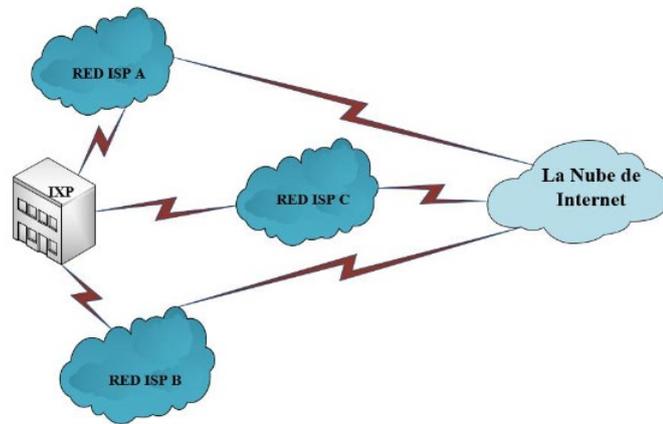


Figura 5. Conexión de ISPs a un IXP neutral[5]

1.3.5 Tipos de IXP

a. Modelo de Capa 3

Este modelo implica un router centralizado que gestiona todo el intercambio entre las redes conectadas al IXP. Los proveedores interesados en conectarse deben tener un router de borde directamente conectado al router central del IXP, que gestiona todas las sesiones BGP y conoce todas las rutas posibles de las redes conectadas. En este modelo, los proveedores pueden intercambiar tráfico entre sí de forma privada si lo consideran necesario[4]. En la Figura 6 se muestra la topología que sigue un IXP de capa 3.

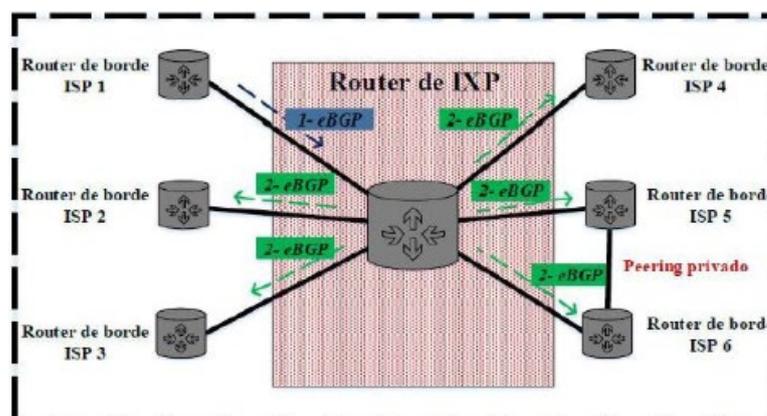


Figura 6. IXP modelo de capa 3 [4]

El router de borde de un proveedor establece sesiones BGP con el router central compartiendo sus rutas de acuerdo con políticas preestablecidas, el router central establece nuevas sesiones BGP compartiendo las rutas aprendidas con los routers de borde del resto de proveedores conectados al punto de intercambio[4].

b. Modelo de Capa 2

Es la forma más utilizada para que los usuarios establezcan sesiones BGP con otros participantes, estén o no interconectados a través de un IXP. El conmutador central no tiene conocimiento de las rutas de cada red conectada a él, sino que sólo conoce las direcciones de los routers que intercambian tráfico.[4].

Este modelo se asemeja a un full mesh virtual, en la que todos los routers de borde del proveedor están conectados a través de un switch de capa 2. Cada router de borde establece sesiones eBGP con los routers conectados al conmutador, con lo que cada router de borde almacena toda la información de enrutamiento de sus routers vecinos[4]. En la Figura 7 se muestra la topología que sigue un IXP de modelo de capa 2.

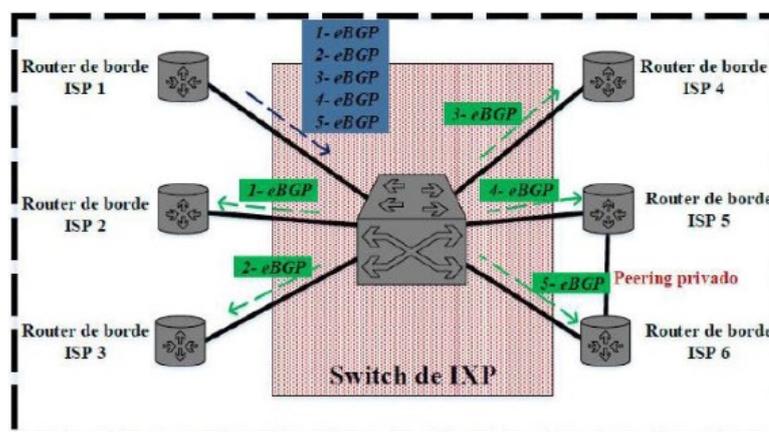


Figura 7. IXP modelo capa 2 [4]

c. Modelo de capa 2+ Route Server

Route Server se refiere a un servidor Unix que ejecuta software de enrutamiento, manejando la lógica del enrutamiento. Intercambia información con los routers de los proveedores de servicios en un IXP, estableciendo sesiones eBGP con el Servidor de Rutas para compartir sus respectivas rutas. A continuación, el servidor comparte estas

rutas con otros proveedores a través de nuevas sesiones. Es importante señalar que este servidor sólo maneja información de enrutamiento y no gestiona ningún paquete de datos[4]. En la Figura 8 se muestra la topología que sigue un IXP con router Server.

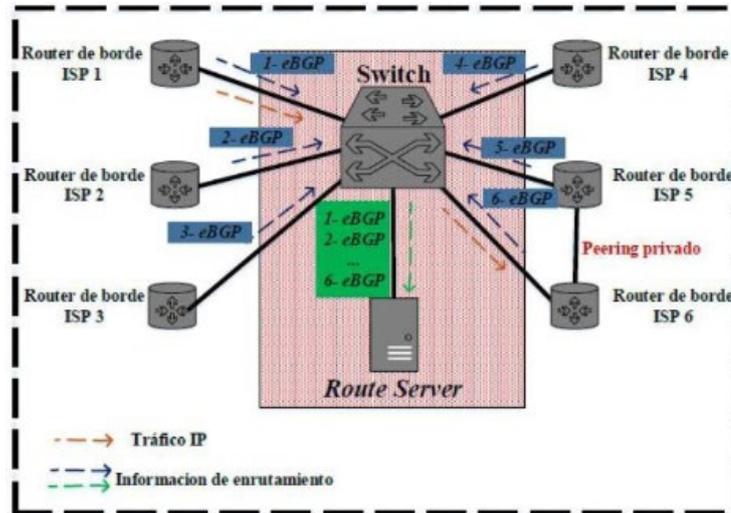


Figura 8. IXP con router Server [4]

1.3.6 Clasificación técnica de un IXP

a. IXP de intercambio centralizado

Este IXP ofrece servicios de colocación e interconexión en el mismo punto donde se ubica el punto central de intercambio [4]. En la Figura 9 se muestra la topología de un IXP centralizado.

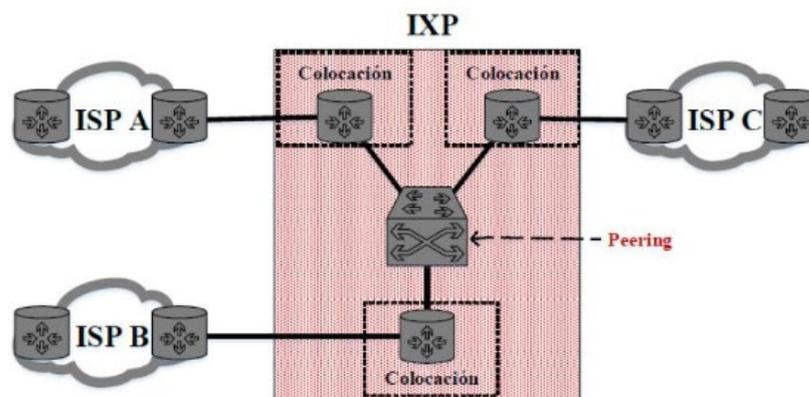


Figura 9. IXP centralizado[4]

b. IXP de Intercambio distribuido

La colocación tiene lugar en las instalaciones de las empresas que albergan un centro de datos, lo que garantiza un alto nivel de servicio a los proveedores. Estas empresas contratan interconexiones independientes del IXP [4]. En la Figura 10 se muestra un IXP de intercambio distribuido.

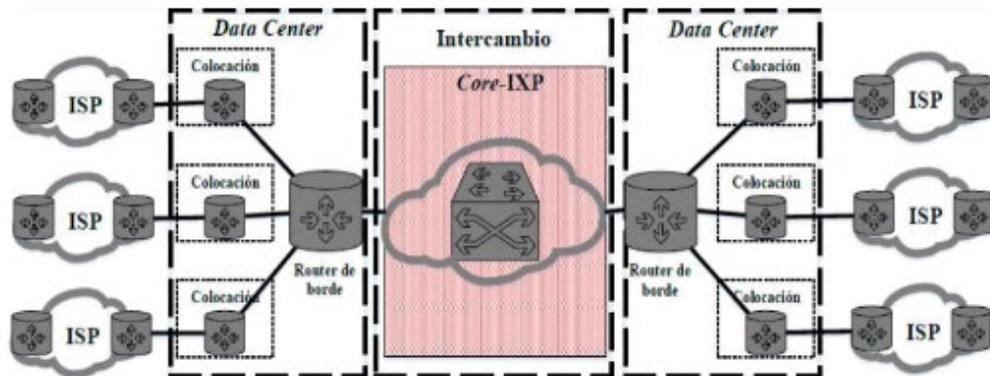


Figura 10. IXP distribuido [4]

1.3.7 Acuerdos de Interconexión IP

Internet depende de una correcta interconexión entre los miembros de este ecosistema, los mismos que son: Proveedores de servicios de Internet (ISPs), Proveedores de red troncal que venden conectividad a los ISPs, Proveedores y agregadores de contenidos que se conectan con su propia infraestructura a proveedores de red troncal e ISP.

Los acuerdos de interconexión entre estos participantes cambian con el tiempo y dependen de diversos agentes la ubicación de las partes, tráfico generado y la infraestructura de red que poseen. En consecuencia, existen dos tipos de acuerdos de interconexión [12]:

a. Peering

En el ámbito del Peering, varios tipos de proveedores de servicios de Internet, proveedores de contenidos, proveedores de servicios de red y empresas con sus propias redes se conectan entre sí para intercambiar datos directamente, sin rodeos a través de terceros, y a menudo a un coste neutral. Normalmente, esto ocurre en un punto de

intercambio de internet o punto neutro. Aquí es donde convergen las redes afiliadas[13].

La interconexión pública, facilitada a través de un punto de intercambio de Internet, es una práctica ampliamente adoptada y eficaz. Un punto de intercambio de Internet es un conmutador situado en una instalación de colocación, donde todas las redes participantes se conectan para intercambiar tráfico de datos. A través de un punto de intercambio de Internet, una red puede establecer conexiones con otras múltiples redes utilizando una única conexión. Los acuerdos entre pares se negocian individualmente con cada par, lo que elimina la necesidad de cableado adicional[6].

La interconexión privada, dentro de una instalación de colocación, fusiona los dos enfoques. En lugar de conectarse a través de un conmutador, dos redes colocan routers en el mismo edificio y establecen un enlace directo por cable entre ellos. Este tipo de interconexión resulta beneficioso cuando las redes realizan un intercambio de tráfico de gran volumen que no puede acomodarse mediante una conexión compartida a un punto de intercambio [6].

- ***Peering directo***

Implica una conexión punto a punto entre dos proveedores interesados en intercambiar su tráfico. En este modelo de interconexión, no es necesario un punto adicional fuera del cual se produce el intercambio entre redes. Se requiere un medio físico entre los proveedores, que conecte sus routers de borde, y ambos deben ejecutar BGP para permitir la interconexión [4]. En la Figura 11 se muestra la conexión mediante Peering directo.

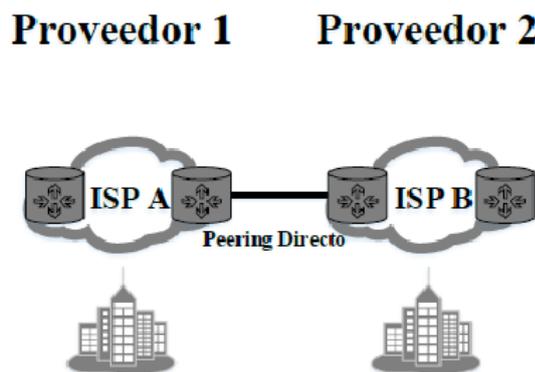


Figura 11. Peering Directo [4]

- **Por medio de un IXP**

Los proveedores de Internet se interconectan a través de un punto de intercambio de tráfico[4]. En la Figura 12 se muestra una conexión Peering por medio de un IXP.

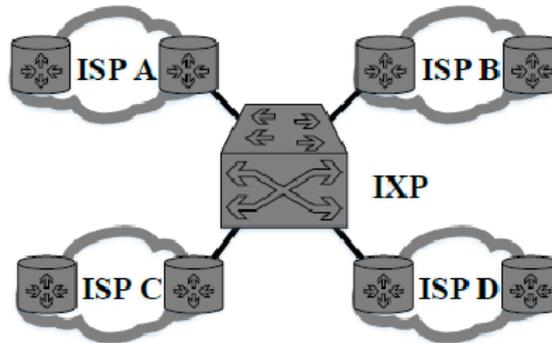


Figura 12. Peering mediante IXP[4].

- b. Políticas de Peering**

Para establecer una interconexión, los interesados que quieran hacer Peering deben revisar las condiciones y requisitos de la red, además de los requisitos operacionales y aceptar dichas condiciones[6].

- **Open.** Google, Netflix, Amazon, Akamai y Cloudflare son algunos ejemplos de operadores que tienen una política de Peering abierto, lo que significa que intercambian tráfico con cualquier red sin ningún requisito previo[6].
- **Selective.** Los operadores que aplican una política de Peering selectivo pueden identificarse por su exigencia de determinados criterios antes de intercambiar tráfico. Microsoft, Facebook, Limelight y Salesforce son algunas de las empresas que siguen este enfoque[6].
- **Restrictive.** De forma similar a la política selectiva, los operadores restrictivos también exigen determinados requisitos para establecer una interconexión. Sin embargo, en la mayoría de los casos, tienden a inclinarse por no llevar a cabo ninguna interconexión. Algunos ejemplos de estos operadores son los de nivel 1, como Telia Carrier, TATA Communications, Sparkle y NTT.[6].

- **PeeringDB.** Es el mayor repositorio en línea de operadores de libre acceso. Esta base de datos permite la interconectividad global de las redes, sirviendo como fuente inicial para tomar decisiones de interconexión.[6].

c. *Tránsito*

IP Transit es un servicio comercial que permite a los proveedores de servicios de Internet (ISP) conectar las redes de sus clientes a Internet global. Implica enrutar el tráfico a través de múltiples redes, que pueden incluir relaciones de intercambio de tráfico y acuerdos de tránsito.

En un acuerdo de tránsito, un operador de red como un ISP compensa a un operador de nivel superior como un operador de red troncal por el acceso a la Internet global. A diferencia del Peering, en un acuerdo de tránsito la parte que envía tráfico debe cubrir el precio de la interconexión. La negociación de los precios de tránsito se realiza entre las dos partes y dependen de las condiciones del mercado y del volumen de tráfico[14]. En la Figura 13 se muestra una conexión tipo Transit.

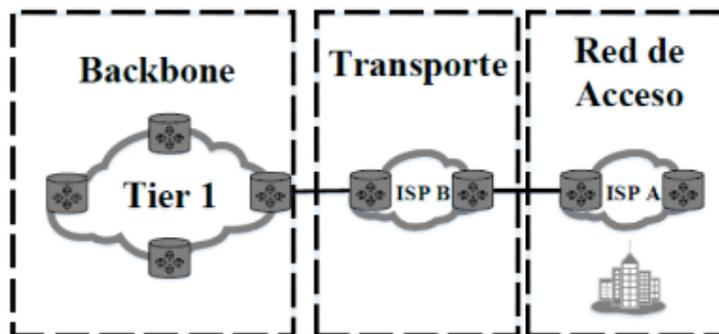


Figura 13. Conexión Tipo Transit [6]

1.3.8 Beneficios de los IXP

Entre los beneficios de los IXP que han sido documentados en varios estudios se incluyen los siguientes:

a. *Menores costos de interconexión*

Tener una única conexión a un IXP facilita a que los operadores participen en Peering con múltiples operadores. A su vez, cuantas más partes estén conectadas a un IXP,

más valioso se vuelve, lo que a su vez atrae a nuevos miembros. Este ejemplo de efectos de red positivos es una razón importante del desarrollo de los IXPs[14].

b. Mejora de la calidad del servicio

Los IXP facilitan el intercambio directo de tráfico entre redes vecinas, como dos ISP, reduciendo así el número de saltos de paquetes. El resultado es una disminución de la latencia y de los costes de tránsito. Al conectar directamente las redes de distribución de contenidos (CDN) y otros proveedores de contenidos a los IXP, la accesibilidad a los contenidos populares mejora significativamente. Además, los IXP aumentan el número de rutas disponibles, mejorando así el rendimiento y la solidez de la red [14].

c. Incentivos a la inversión en infraestructuras

Los ISP locales se sitúan en el extremo inferior de la jerarquía de Internet, sirviendo a menudo como revendedores de la conectividad proporcionada por ISP más grandes. Los IXP ofrecen incentivos de tal manera que los ISP locales inviertan en su infraestructura física, permitiéndoles transportar el tráfico a un punto neutral donde puede negociarse o agregarse con otras redes. Al controlar su propia infraestructura, los ISP locales pueden competir en los niveles superiores de la cadena de valor de Internet[14].

1.3.9 Latencia

La latencia de red se refiere al retraso en la comunicación de red. Mide el tiempo que tardan los datos en transferirse a través de la red. Las redes con mayor retardo o latencia tienen una latencia alta, mientras que las que tienen tiempos de respuesta rápidos tienen una latencia baja. Las empresas prefieren una latencia baja y una comunicación de red más rápida para lograr una mayor productividad y unas operaciones empresariales más eficaces. Las latencias de red elevadas provocan la degradación del rendimiento de las aplicaciones y la aparición de errores importantes.[15]. A continuación, se mencionan algunos factores que crean latencia en la red:

a. Medio de Transmisión

El medio de transmisión o enlace es el que más influye en la latencia, ya que los datos pasan a través de él. Por ejemplo, una red de fibra óptica tiene menos latencia que una inalámbrica. Del mismo modo, cada vez que la red cambia de un medio a otro, añade unos milisegundos adicionales al tiempo total de transmisión[15].

b. Distancia que recorre el tráfico de red.

Las grandes distancias entre los puntos de conexión a la red provocan un aumento de la latencia de la red. Por ejemplo, si los servidores de aplicaciones se encuentran lejos de los usuarios finales, pueden experimentar una mayor latencia[15].

c. Número de Saltos de red.

Cuantos más routers intermedios haya, más saltos tendrán que dar los paquetes de datos, lo que aumenta la latencia de la red. Las tareas del dispositivo de red, como procesar las direcciones web y buscar en las tablas de encaminamiento, también aumentan el tiempo de latencia [15].

1.3.10 Jitter

El Jitter o fluctuación se asocia a un retraso en el envío y recepción de paquetes, que son las unidades más pequeñas de comunicación que permiten hacer videollamadas, cargar una página web, subir una foto a Instagram o jugar en línea. Este retraso se produce debido a una interrupción en el proceso de transmisión de paquetes de datos. Y si esta fluctuación es alta, significa que tu dispositivo accede a Internet en desventaja respecto a otros dispositivos. En un juego online, puede afectar a tu experiencia de juego [16].

En las redes TCP/IP el Jitter representa las desviaciones en el tiempo de latencia durante la transmisión de paquetes de datos entre las instancias participantes o los dispositivos finales de tal manera que los paquetes de datos tardan más de lo normal en llegar al destinatario[17].

1.3.11 Pérdida de paquetes

La pérdida de paquetes en las redes se produce cuando los paquetes de datos se pierden durante la transmisión o cuando determinados paquetes de datos individuales llegan tarde a su destino. Antes de enviar los datos, éstos se empaquetan en distintas capas y viajan a través de diversas entidades, como cables de fibra óptica, hilos de cobre y redes inalámbricas, para llegar a su destino. En estos medios, los paquetes pueden perderse o retrasarse. Cuando se envía un paquete, se etiqueta con una marca de tiempo que indica la cantidad de tiempo que el remitente debe esperar antes de recibir una confirmación de recepción. Si un paquete se pierde o se retrasa, acaba "caducando". Cuando esto ocurre, se envía un nuevo paquete en su lugar, lo que se conoce como tiempo de espera de retransmisión (RTO). Como resultado, los paquetes de datos llegan tarde y el rendimiento se ve afectado [18].

1.3.12 Número de sistema Autónomo (ASN)

Un Sistema Autónomo (AS) es un grupo de redes de direcciones IP que son gestionadas por uno o más operadores de red que poseen una clara y única política de ruteo[19].

Un sistema autónomo es una red o grupo de redes muy grande con una única política de enrutamiento, a cada AS se le asigna un único ASN que es un número de identificación para el AS. Todo ordenador o dispositivo que se conecta a Internet está conectado a un AS.

Una política de enrutamiento de AS es una lista del espacio de direcciones IP que controla el AS, además de una lista de los otros AS con los que se conecta, esta información es necesaria para enrutar los paquetes a las redes correctas, esta información es anunciada mediante el Border Gateway Protocol (BGP).

A cada AS se le asigna un número oficial o número de sistema autónomo (ASN), estos ASN son números únicos de 16 o 32 bits, estos ASN son necesarios para las comunicaciones externas con los enrutadores de interredes[20].

1.3.13 Border Gateway Protocol (BGP).

Es un protocolo de puerta de enlace exterior (EGP) que se utiliza para intercambiar información de enrutamiento entre enrutadores de diferentes sistemas autónomos, esta información de enrutamiento completo incluye la ruta completa a cada destino, BGP usa la información de enrutamiento para mantener una base de datos de información de accesibilidad de red. El BGP permite el enrutamiento basado en políticas. Usan políticas de enrutamiento para elegir entre varias rutas a un destino y para controlar la redistribución de la información de enrutamiento. El BGP usa TCP como protocolo de transporte y el puerto 179 para establecer conexiones. Ejecutar un protocolo de transporte confiable elimina la necesidad de que el BGP implemente la fragmentación de actualizaciones, la retransmisión, la confirmación y la secuenciación.

BGP es el protocolo que hace que Internet funcione permitiendo el enrutamiento de datos. Cuando un usuario de Singapur carga un sitio web con servidores de origen en Argentina, el BGP es el protocolo que permite que esa comunicación se produzca de forma rápida y eficaz.

BGP se encarga de dirigir los paquetes por la ruta más rápida hacia su destino. Sin BGP, los paquetes IP rebotarían por Internet aleatoriamente de AS en AS, como un conductor que intenta llegar a su destino adivinando las carreteras que tendría que usar[20].

a. Clasificación de BGP

- **BGP externo (EBGP).** El BGP externo es el protocolo de routing utilizado entre los routers de sistemas autónomos diferentes.
- **BGP interno (IBGP).** El BGP interno es el protocolo de routing utilizado entre los routers del mismo AS. En la Figura 14 se muestran los tipos de BGP.

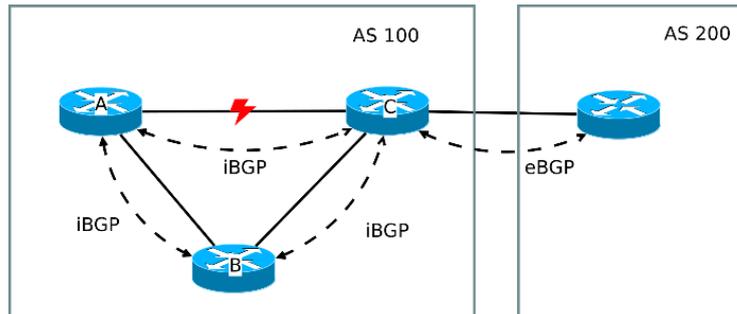


Figura 14. Conexión EBGP e IBGP.

b. Atributos de BGP

BGP intenta encontrar la ruta más eficiente para el tráfico de la red. Sin embargo, el recuento de saltos no es el único factor que utilizan los enrutadores BGP para encontrar esas rutas. BGP asigna atributos a cada ruta y estos atributos ayudan a los enrutadores a seleccionar una ruta cuando hay varias opciones. Algunos ejemplos de atributos BGP incluyen:

- **Peso:** atributo propiedad de Cisco, que indica al enrutador qué rutas locales son preferibles.
- **Preferencia local:** indica al enrutador qué ruta de salida debe seleccionar.
- **Origen:** indica al enrutador que elija las rutas que él mismo ha añadido a BGP.
- **Longitud de la ruta AS(AS-Path):** este atributo indica a un enrutador que prefiera las rutas más cortas.

• Selección de la mejor ruta BGP

Cuando una red está conectada a otras múltiples redes y proveedores de servicios, puede recibir información de ruta hacia el mismo prefijo IP desde muchas de esas redes, cada una con atributos ligeramente diferentes. A la red receptora le corresponde entonces utilizar un algoritmo de selección de la mejor ruta BGP para elegir el mejor prefijo y ruta, para utilizarlo para reenviar el tráfico IP.

Cuando BGP filtra las opciones recibidas, tiene en cuenta múltiples atributos de prefijo. Sin embargo, en lugar de combinar todos estos atributos en un único criterio de selección, la selección de la mejor ruta de BGP utiliza los atributos por niveles. En

cualquier nivel, si los atributos disponibles son suficientes para elegir la mejor ruta, el algoritmo concluye con esa elección.

Se siguen los siguientes parámetros para la selección de rutas del BGP:

1. Prefiera el valor de preferencia local más alto.
2. Prefiere la longitud de la ruta del AS (AS-Path) más corta.
3. Prefiera el valor de origen más bajo.
4. Prefiera el valor MED más bajo [21].

1.3.14 Normas Mutuamente Acordadas para la Seguridad del Enrutamiento

Las Normas mutuamente acordadas para la seguridad del enrutamiento (MANRS) son una iniciativa global, respaldada por Internet Society, para trabajar con operadores, empresas y formuladores de políticas para implementar las correcciones cruciales necesarias para reducir las amenazas del enrutamiento más comunes.

MANRS comprende cuatro pasos simples pero concretos que mejorarán drásticamente la seguridad y confiabilidad de Internet. Las dos primeras mejoras operativas eliminan los problemas de enrutamiento y los ataques comunes, mientras que los dos segundos pasos del procedimiento brindan un puente hacia la adopción universal y disminuyen la probabilidad de incidentes futuro[22]

MANRS construye una comunidad visible de operadores de redes e IXP con una perspectiva común de seguridad.

a. Acciones de las MANRS.

- Filtrado: evita la propagación de información del enrutamiento incorrecto, su objetivo es asegurar la corrección de sus propios anuncios y anuncios de sus clientes a redes adyacentes.

- **Anti-spoofing:** previene el tráfico con direcciones IP de origen falsificadas, su objetivo es habilitar la validación de la dirección de origen para al menos las redes de clientes, sus propios usuarios finales e infraestructura.
- **Coordinación:** facilita la comunicación entre los operadores de red, su principal objetivo es mantener la información de contacto actualizada a nivel mundial en bases de datos de enrutamiento comunes.
- **Validación Global:** facilita la validación de la información del enrutamiento, trata de publicar tus datos para que otros puedan validar. [23]

1.3.15 Software de Simulación

Un simulador de redes de computadoras es un software que permite crear una red virtual en una computadora y simular su funcionamiento. Estos simuladores se utilizan para aprender sobre routing y switching [25].

Tabla 1. Software de Simulación

Parámetro	 Emulated Virtual Environment Next Generation	 GNS3®
Instalación	Se instala como una máquina virtual en un servidor o en la nube. No requiere la instalación de ningún componente adicional en el dispositivo local para funcionar	Requiere la instalación de varios componentes tanto en el servidor como en el dispositivo local, como el software GNS3 GUI, el servidor GNS3, el emulador Dynamips, el software QEMU
Soporte de dispositivos	Soporta más dispositivos y más versiones de software, soporta servidores Windows o Linux, firewalls, estaciones de trabajo.	soportan una gran variedad de dispositivos de red de diferentes fabricantes, como Cisco, Juniper, Huawei, Arista, Mikrotik, etc., soporta servidores al añadir máquinas virtuales.
Rendimiento	Mejor Optimización del uso de recursos, que permite ejecutar	Se limita el número de dispositivos que se puede ejecutar debido al consumo de

	más dispositivos con menor consumo de CPU y memoria	recursos, limitando su eficiencia y rapidez.
Interfaz de usuario	Interfaz web basada en HTML5 que se puede acceder desde cualquier navegador sin necesidad de instalar nada	interfaz gráfica basada en Qt que se debe instalar en el dispositivo local, interfaz más completa y avanzada pero también más pesada y compleja.
Tipo de Licencia	Versión gratuita y versión de paga	gratuita
Plataformas que lo soportan	VMware	Windows, Linux, Mac, ESXi
Imágenes de Software	Utiliza archivos .bin IOS o imágenes Cisco VIRL	Utiliza archivos .bin IOS o imágenes Cisco VIRL
Simulación o emulación	Emulación de la mayoría de los dispositivos	Emulación de todos los dispositivos[24]

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar el rediseño de puntos de intercambio de tráfico IXP de la red de APROSVA.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el estado actual de la red de intercambio de tráfico de APROSVA
- Realizar un nuevo diseño de la red de intercambio de tráfico de APROSVA
- Evaluar el desempeño de la red propuesta.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se usaron herramientas para la recolección de información como la aplicación de entrevistas y la observación de campo, obteniendo el estado actual de la red de transporte Aprosva.

Durante la realización de este proyecto de investigación se utilizaron algunas fuentes bibliográficas como: tesis, artículos académicos, informes técnicos, manuales. Además de una conexión a internet.

En la Tabla 2, se describen los elementos que se usaron en el desarrollo de la investigación.

Tabla 2. Materiales

Materiales	Características	Descripción
Laptop	Procesador i5-10300H, 16 Gb memoria RAM,	Computador Portátil usado para el desarrollo del proyecto de investigación.
Software de simulación	VMware Workstation Pro, EVE-NG, Winbox, Iperf3.	Software utilizado para la simulación de redes, y configuración de dispositivos.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

A continuación, se describen los diferentes tipos de investigación que se emplearon durante la ejecución del proyecto de investigación.

Durante el desarrollo del actual proyecto se usó la investigación aplicada aprovechando los conocimientos existentes para abordar los problemas encontrados en la red actual de Aprosva.

Se aplicó la investigación bibliográfica ya que la presente investigación se sustentó en la recolección de información de revistas técnicas, artículos, publicaciones en internet y proyectos realizados anteriormente referentes a IXP.

Durante la ejecución del actual proyecto se aplicó la investigación de campo ya que se recopilará información directamente de la empresa para obtener el estado actual de la red, los equipos y las configuraciones que los mismos presenten.

2.2.2 Recolección de información

Para llevar a cabo esta investigación es importante mencionar que el presente proyecto forma parte de la comisión de rediseño de puntos de intercambio de Aprosva, de tal manera que para el levantamiento de información se realizaron visitas técnicas a los IXP miembros de Aprosva para la aplicación de entrevistas a los encargados de cada uno de los nodos, logrando obtener el estado actual de cada uno de los IXPs.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

Para realizar el procesamiento y análisis de datos se procedió con la siguiente metodología:

- Recopilación del estado actual de cada uno de los IXPs que forman parte de Aprosva.
- Análisis de la información recopilada.
- Planteamiento de la solución para el rediseño de IXP.
- Simulación de Escenarios de Pruebas
- Análisis de Resultados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Selección de Software

Debido a las ventajas que presenta EVE-NG principalmente el bajo consumo de recursos se ha decidido trabajar con este software de simulación.

3.2 Análisis del estado actual de la red e intercambio de tráfico de APROSVA

Mediante la aplicación de entrevistas (ver Anexo B) se ha levantado la información necesaria para determinar que actualmente la red de tráfico de Aprosva está compuesta por cuatro puntos de Intercambio, la mayoría de ellos están conformados ISPs que brindan servicio de Internet.

3.2.1 Ubicación de los nodos correspondientes a los IXPs

Mediante la aplicación de las entrevistas a los encargados de cada uno de los puntos de intercambio se obtuvo la ubicación de los nodos dando como resultado la Tabla 3, mediante la investigación de campo se ha determinado que existen nodos en los cuales no existen usuarios conectados razón por la cual no se ha realizado el levantamiento de información.

A continuación, se presentan los datos más relevantes de cada uno de los nodos:

Tabla 3. Estado y ubicación de los IXPs

IXP	ESTADO	UBICACIÓN	COORDENADAS
AMBATO	Activo	Pelileo Sector Huangalo	1°19'4.1'' S, 78°32'56.6'' O
SANTO DOMINGO	Activo	Av. Quito y Cuenca	0°15'18.6'' S, 79°10'23.9'' O
PASAJE	Activo	Municipalidad y Rodrigo Ugarte	3°19'29.91"S, 79°48'37.91"O
MANUEL J. CALLE	Activo	Manuel J. Calle	2°21'23.55"S, 79°23'58.34"O
MACHALA	Inactivo	Machala	
PUERTO INCA	Inactivo	Puerto Inca	
CARCELEN	Inactivo	Quito	
DURAN	Inactivo	Duran	

Adicionalmente con la información obtenida se representa la ubicación geográfica de cada uno de los nodos.

En la Figura 15 se muestra la ubicación geográfica de cada uno de los nodos

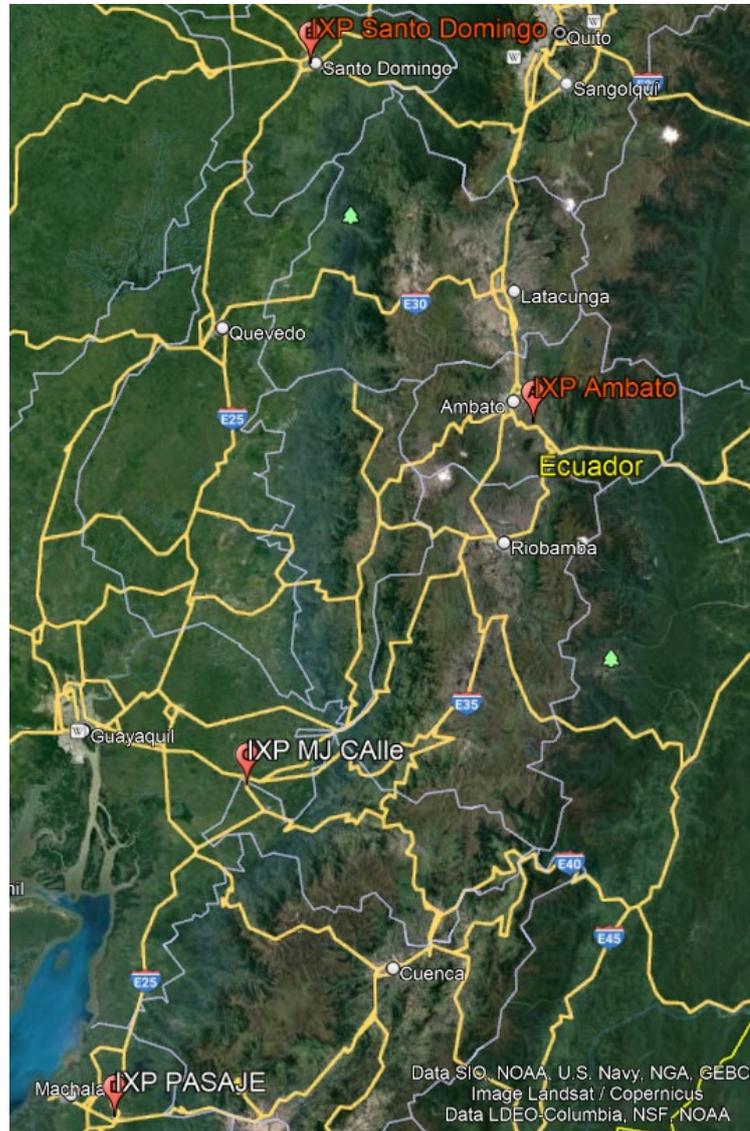


Figura 15. Ubicación geográfica de los Nodos

3.2.2 Topología lógica de los Nodos.

De igual manera mediante la aplicación de entrevistas y con la ayuda de los encargados de los IXPs se obtuvo la topología lógica de cada uno de los nodos que conforman los IXPS

- **Topología de los ISP miembros del IXP Ambato**

En lo que corresponde a este IXP mediante el levantamiento de información se logra evidenciar que existen tres usuarios, los mismos que actualmente tienen una conexión tipo Transit, se ha representado esta conexión mediante el router de borde del ISP, además del router de borde de proveedor local y el proveedor internacional o T1. En la Figura 16 se muestra la topología lógica del IXP Ambato.

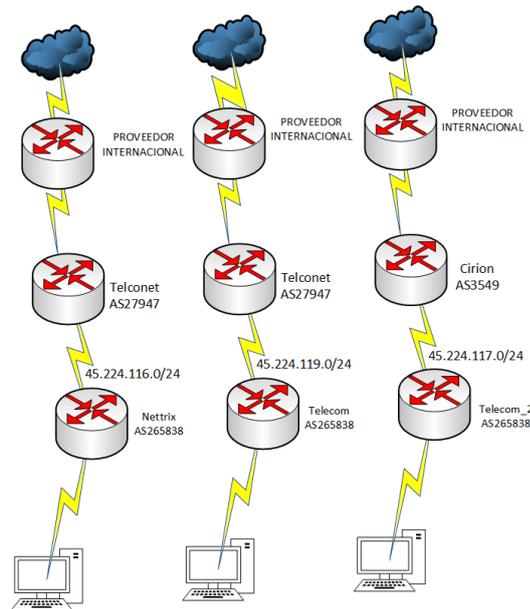


Figura 16. Topología IXP Ambato

- **IXP Santo Domingo**

En este IXP se puede apreciar que cuenta con cuatro usuarios los mismos que están conectados mediante un switch hacia el proveedor de tránsito nacional, y posteriormente al proveedor internacional, los miembros de este IXP al no cumplir con ciertos requerimientos necesarios para poder hacer Peering tienen conexiones tipo Transit. En la Figura 17 se muestra la Topología del IXP de Santo Domingo.

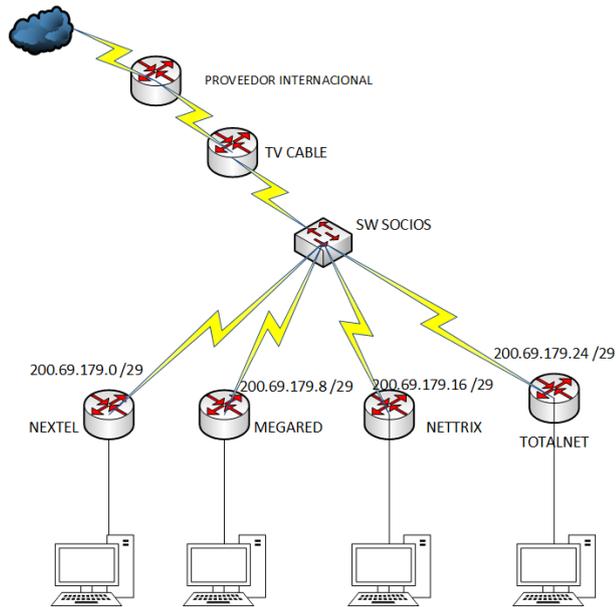


Figura 17. Topología IXP Santo Domingo

- *IXP Pasaje*

En este IXP se encuentra de igual manera un switch que conecta a los 3 usuarios de este nodo, para luego conectarse mediante una conexión tipo Transit al proveedor local y posteriormente al proveedor internacional. En la Figura 18 se muestra la topología del IXP Pasaje.

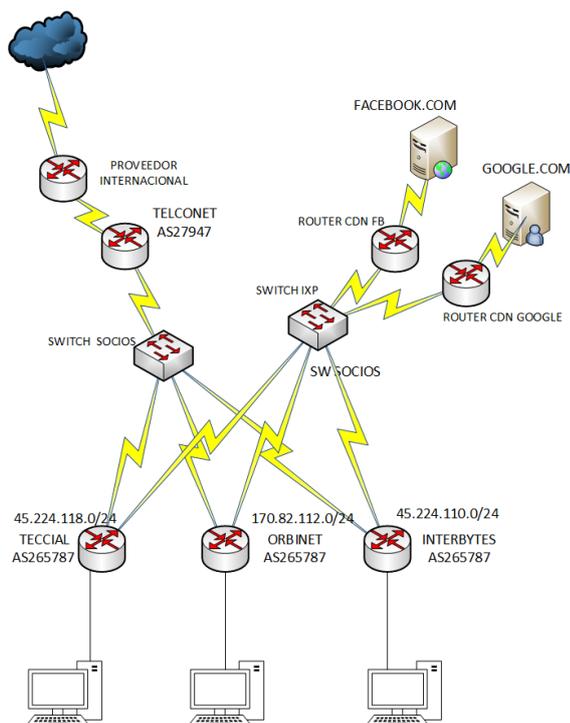


Figura 18. Topología IXP Pasaje

- **IXP Manuel J. Calle**

Es el que presenta una mejor infraestructura, se encuentran conectados dos CDN's uno de Facebook y otro de Google con los cuales los usuarios de este nodo hacen Peering beneficiando directamente a los ISPs, así como a los usuarios o clientes finales de los mismos. En la Figura 19. Se muestra la topología del IXP Manuel J. Calle

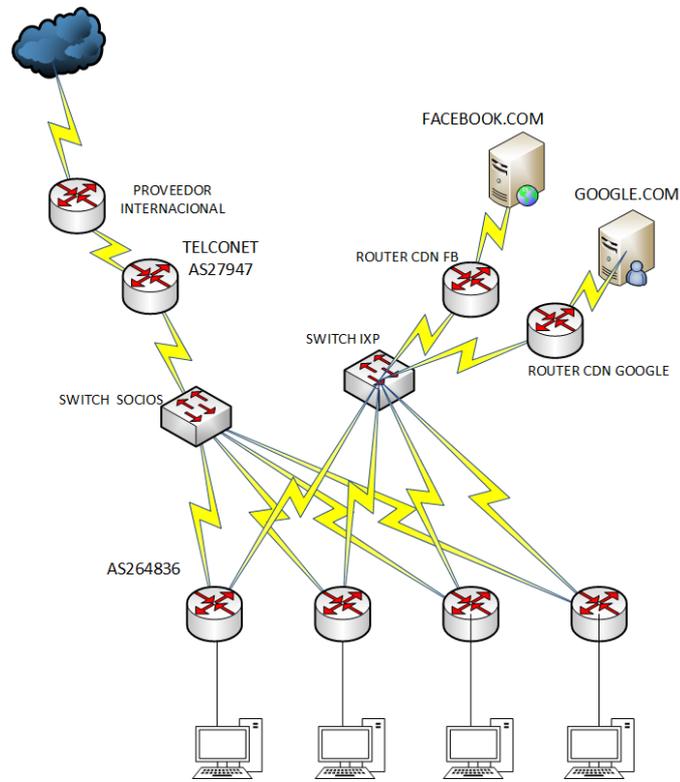


Figura 19 Topología IXP Manuel J. Calle

3.2.3 Tipo de conexión IXP

En la Tabla 4 se muestra el tipo de conexión que presenta cada uno de los IXPs, esta información ha sido recopilada mediante la aplicación de entrevistas a cada uno de los IXPs que, mediante sus encargados, han manifestado el tipo de conexión que poseen.

Tabla 4. Tipo de conexión de los IXPs.

IXP	CONEXION
AMBATO	TRANSIT
SANTO DOMINGO	TRANSIT
PASAJE	TRANSIT
MANUEL J. CALLE	TRANSIT y PEERING

3.2.4 Tipo de IXP

En la Tabla 5 se presenta el tipo de IXP que se tiene implementado en cada uno de los nodos es importante mencionar que la mayoría de ellos trabajan bajo el nombre de IXP, pero aún no han realizado las configuraciones necesarias para operar y realizar las funciones de un IXP como tal.

Tabla 5. Tipo de IXP

Nombre del IXP	Modelo de Infraestructura
AMBATO	CAPA 2
SANTO DOMINGO	CAPA 2
PASAJE	CAPA 2
MANUEL J. CALLE	CAPA 2 + ROUTER SERVER

3.2.5 Protocolos implementados.

En la Tabla 6 se muestran los protocolos de enrutamiento que actualmente se encuentran implementados en los equipos de los nodos, entre los que se destacan el uso de BGP que es necesario para el establecimiento de los Peers.

Tabla 6. Protocolos de los IXPs

IXP	PROTOCOLO	CARACTERISTICA
AMBATO	BGP	IPV4 E IPV6
SANTO DOMINGO	NINGUNO/ uso de vlans	
MANUEL J. CALLE	BGP	IPV4 E IPV6
PASAJE	BGP	IPV4 E IPV6

3.2.6 Activos tangibles

En la Tabla 7 se muestran los activos tangibles con los que cuenta el IXP Ambato, lo más importante a destacar es el equipo Mikrotik como dispositivo encargado del enrutamiento y el intercambio de tráfico.

Tabla 7. Activos Tangibles IXP Ambato

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSV A o IXP Privado)
1	CLOUD ROUTER SW MIKROTIK CRS 317	1	Puertos Ethernet: 1 10/100/1000Mbps Puertos SFP+: 16 SFP+ 10G RAM: 1 GB Sistema operativo: SwitchOS / RouterOS (Dual boot)	TELECOM
2	RACK ABIERTO	2		IXP
3	ODF	1	48 PTOS	TELECOM
4	UPS	1	120 Vac	TELECOM
5	BATERIAS	2	120/100 AH	TELECOM

En la Tabla 8 se muestran los activos tangibles pertenecientes al IXP de Santo Domingo, un dato importante observa es que al igual que en el IXP Ambato se tiene un equipo de la marca Mikrotik.

Tabla 8. Activos tangibles IXP Santo Domingo

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSV A o IXP Privado)
1	CRS 317	1	Puertos Ethernet: 1 10/100/1000Mbps Puertos SFP+: 16 SFP+ 10G RAM: 1 GB Sistema operativo: SwitchOS / RouterOS (Dual boot)	SOCIOS
2	RACK ABIERTO	1		SOCIOS
3	ODF	1	48 PTOS	SOCIOS
4	UPS	1	120 Vac	SOCIOS
5	BATERIAS	2	120/100 AH	SOCIOS

En la Tabla 9 se muestran los activos tangibles pertenecientes al IXP de Santo Domingo, un dato importante que se observa es que al igual que en el IXP Ambato se tiene un equipo de la marca Mikrotik.

Tabla 9. Activos tangibles IXP Pasaje

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSV A o IXP Privado)
1	CRS 317	1	Puertos Ethernet: 1 10/100/1000Mbps Puertos SFP+: 16 SFP+ 10G RAM: 1 GB Sistema operativo: SwitchOS / RouterOS (Dual boot)	IXP
2	RACK ABIERTO	1		IXP
3	ODF	1	48 PTOS	IXP
4	UPS	1	120 Vac	IXP
5	BATERIAS	2	120/100 AH	IXP

En la Tabla 10 se muestran los activos tangibles pertenecientes al IXP de Manuel J. Calle un dato importante que se observa es que al igual que en el IXP Ambato se tiene un equipo de la marca Mikrotik.

Tabla 10. Activos Tangibles IXP Manuel J. Calle

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSV A o IXP Privado)
1	Router Server	1	Software Libre-Linux	Aprosva
2	CRS 317	1	Puertos Ethernet: 1 10/100/1000Mbps Puertos SFP+: 16 SFP+ 10G RAM: 1 GB Sistema operativo: SwitchOS / RouterOS (Dual boot)	Aprosva
3	RACK ABIERTO	1		IXP
4	ODF	1	48 PTOS	IXP
5	UPS	1	120 Vac	IXP
6	BATERIAS	2	120/100 AH	IXP

3.2.7 Activos Intangibles

En la Tabla 11 se muestran los activos intangibles pertenecientes al IXP Ambato en donde se aprecia que cuenta con un ASN Propio, direccionamiento IPv4 e IPv6.

Tabla 11. Activos intangibles IXP Ambato

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSPA o IXP Privado)
1	ASN	1	265838	TELECOM
2	IPV4	1	45.224.116.0/22	TELECOM
3	IPV6	1	2803::E220::/32	TELECOM

En la Tabla 12 se muestran los activos intangibles pertenecientes al IXP Santo Domingo, se observa que cuenta con un bloque de direcciones IPv4 que pertenecen al Proveedor de Transit.

Tabla 12. Activos Intangibles IXP Santo Domingo

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSPA o IXP Privado)
1	IPV4	1	200.69.179.125/29	XTRIM
2	IPV4	1	200.69.179.16/29	XTRIM
3	IPV4	1	200.69.179.8/29	XTRIM
4	IPV4	1	200.69.179.25/29	XTRIM

En la Tabla 13 se muestran los activos intangibles pertenecientes al IXP Manuel J. Calle, en el que cuentan con dos bloques de direcciones IPv4 pertenecientes a Aprospa.

Tabla 13. Activos Intangibles IXP Manuel J Calle.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSPA o IXP Privado)
1	IP	1	170.82.113.0/24	Aprospa
2	IP	1	170.82.114.0/24	Aprospa

En la Tabla 14 Tabla 14 Tabla 14. Activos Intangibles IXP Pasaje

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSPA o IXP Privado)
1	Segmento IP	1	45.224.118.0/24	Aprospa
2	Segmento IP	1	170.82.112.0/24	Aprospa

3.2.8 Análisis del Estado actual de la red de Aprosva.

Luego de haber realizado el levantamiento de información de los nodos correspondientes se ha sintetizado la información en donde se analizan las ventajas e inconvenientes que presentan los mismos. A partir de la Tabla 15 hasta Tabla 19 se han sintetizado estos datos haciendo un análisis de lo que genera cada uno de los ítems analizados

- IXP Ambato:

Tabla 15. Análisis del IXP Ambato

Estado	Análisis
Conexiones tipo Transit	generan un mayor costo de intercambio de tráfico ya que todo este es enviado al Proveedor de IP Transit
No existe un equipo donde se conecten los usuarios	Es necesario la adquisición de un equipo de conmutación para la interconexión de los usuarios
No cuenta con seguridades físicas	No se garantizar la seguridad de los equipos.
Direccionamiento IPv4 e IPv6 propio	Se reduce la dependencia de terceros, se aumenta el control sobre las direcciones de la red
AS propio	Aumenta la presencia en internet, gestión de tráfico eficiente, factibilidad para establecer Peering con otros AS

- IXP Santo Domingo:

Tabla 16. Análisis del IXP Santo Domingo

Estado	Análisis
Conexiones tipo Transit	generan un mayor costo de intercambio de tráfico ya que todo este es enviado al Proveedor de IP Transit
No cuenta con seguridades físicas	No se garantizar la seguridad de los equipos.
No cuenta con direccionamiento apropiado	Número limitado de direcciones, gestión compleja de la red, imposible establecer sesiones BGP
No cuenta con AS propio	Es necesario adquirir al menos un AS para compartir entre los usuarios para que sea posible hacer Peering con otros AS.

- IXP Pasaje:

Tabla 17. Análisis del IXP Pasaje

Estado	Análisis
Conexiones tipo Transit	generan un mayor costo de intercambio de tráfico ya que todo este es enviado al Proveedor de IP Transit
No cuenta con seguridades físicas	No se garantizar la seguridad de los equipos.
Direccionamiento IPv4	Se reduce la dependencia de terceros, se aumenta el control sobre las direcciones de la red
No cuentan con AS propio	Aunque cuentan con AS no es de propiedad de cada ISP razón por la cual no tienen mayor presencia en internet.
Conexión al IXP de Aprosva	Los usuarios de este IXP se encuentran haciendo Peering con las CDNs existentes en el IXP de Aprosva.

- IXP Manuel J. Calle:

Tabla 18. Análisis del IXP Manuel J. Calle

Estado	Análisis
No cuentan con AS propio	Aunque cuentan con AS no es de propiedad de cada ISP razón por la cual no tienen mayor presencia en internet.
Direccionamiento IPv4	Se reduce la dependencia de terceros, se aumenta el control sobre las direcciones de la red
Conexión al IXP de Aprosva	Los usuarios de este IXP se encuentran haciendo Peering con las CDNs existentes en el IXP de Aprosva.

- Problemas Generales de Aprosva (Usuarios).

Tabla 19. Análisis general de Aprosva

Estado	Análisis
Poco conocimiento sobre BGP	Dificultad para realizar configuraciones.
Direccionamiento IPv4	Se reduce la dependencia de terceros, se aumenta el control sobre las direcciones de la red

No cuentan con seguro	No se garantiza la continuidad del servicio y el bienestar de los equipos.
Desconocimiento sobre las MARNS.	Su falta de cumplimiento resulta en sanciones.

3.2.9 Simulación del estado actual de la red de Aprosva

- IXP Ambato

Como se mencionó anteriormente los usuarios de este IXP tienen conexiones tipo Transit que se muestra en la Figura 20. Actualmente tienen configurado el protocolo BGP, los ISPs hacen uso de un solo AS y publican un grupo de direcciones, dichas configuraciones se muestran a continuación.

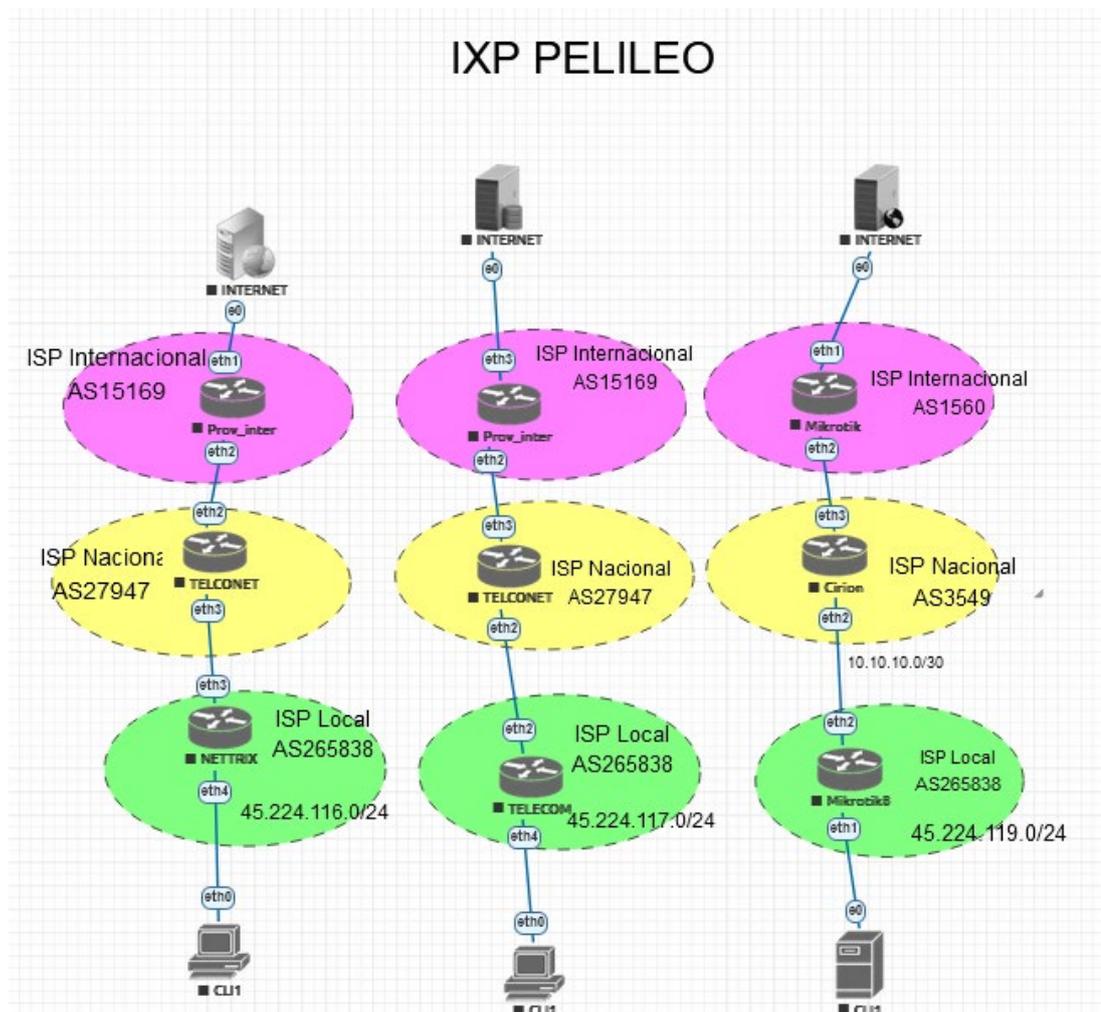


Figura 20. Topología IXP Ambato

Para iniciar con la simulación en la

Tabla 20 se detallan algunas configuraciones de los equipos del ISP Telecom.

Tabla 20. Direcciones del ISP 1 del IXP Ambato

Router de Borde Telecom AS: 265838	
Interfaz	IP
eth2	10.10.1.2/30
eth3	45.224.119.1/24
Loopback	10.108.33.49
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	45.224.119.2/24
Router de Borde ISP Nacional AS: 3549	
Interfaz	IP
eth2	10.10.1.1/30
eth3	45.24.70.2/30
Loopback	10.108.33.48
Router de Borde ISP Internacional AS: 1560	
Interfaz	IP
eth2	45.24.70.1/30
eth3	210.115.31.1/30
Loopback	69.78.15.31
Equipo Proveedor de Contenidos	
Interfaz	IP
e0	210.115.31.2/30

Una vez configurado las IPs de las interfaces de los routers se procede con la configuración de BGP, proceso que se detalla a continuación.

- Crear la Instancia BGP.

En este punto es importante definir el Nombre de la Instancia, el AS o número de sistema autónomo, y el id del router que para la simulación se ha definido con la dirección de la interfaz de Loopback. Este proceso se realiza en todos los routers para poder conectarlos mediante el protocolo BGP.

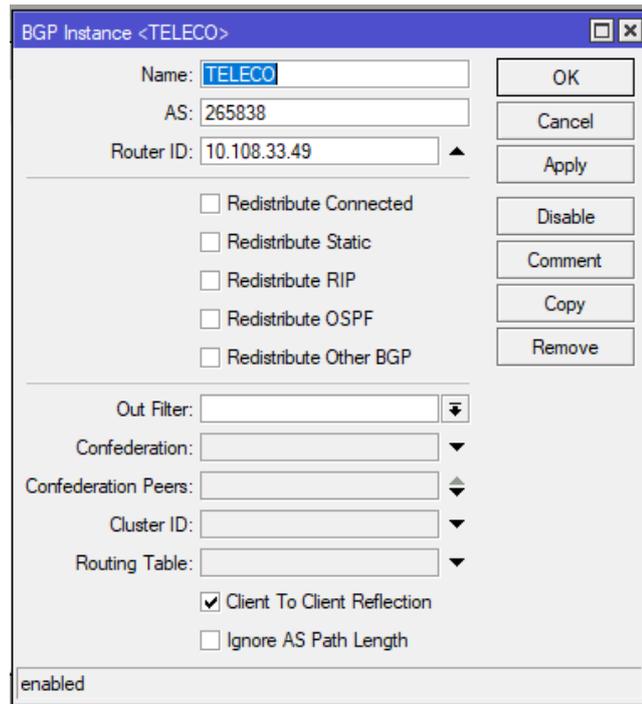


Figura 21. Instancia BGP en router de Borde Telecom (ISP Local).

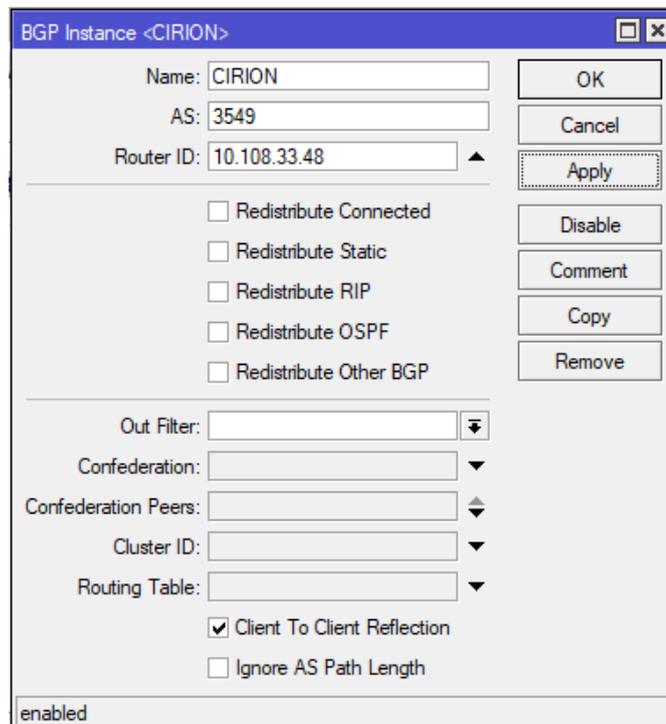


Figura 22. Instancia BGP en router de Borde Cirion (ISP Nacional).

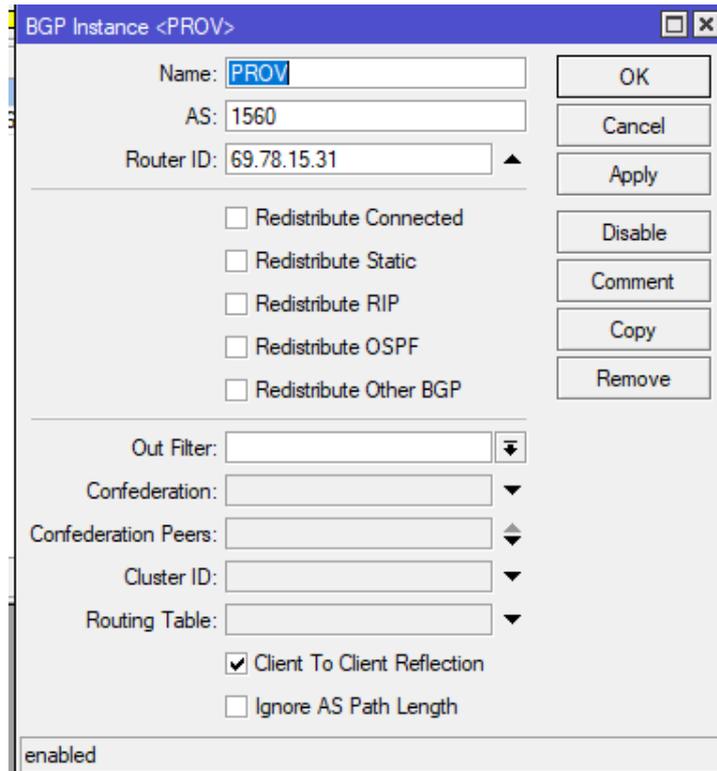


Figura 23. Instancia BGP en router de Borde ISP Internacional.

- **Creación de filtros OUT e IN.**

Los filtros Out se refieren a todo lo que el router va a publicar es decir lo que da a conocer hacia los routers vecinos o Peers.

Los filtros In hacen referencia a lo que el router permitirá de los vecinos o Peers es decir las rutas que aprenderá de los vecinos.

Mediante la investigación de campo se logró determinar que actualmente en el ISP Telecom se mantiene una configuración básica de filtrado en donde se anuncia la red pública es decir la red: 45.224.119.0/24 y se acepta todo el tráfico entrante, además se descarta todo el tráfico saliente que no tenga relación a la ip pública. En la Figura 24 se muestran los filtros BGP.

Route Filters						
#	Chain	Prefix	Prefix Le...	Protocol	BGP AS Path	Action
0	Transit-out	45.224.119.0/24				accept
1	Transit-in					accept
2	Transit-out					discard

Figura 24. Filtros BGP en el Router del ISP Local.

Para el caso del ISP Nacional ya que no se puede acceder a esta configuración y por motivos de simulación se ha creado un filtro básico de entrada que permite el ingreso de todo el tráfico y rutas, en la Figura 25 se muestra la configuración de estos filtros.

#	Chain	Prefix	Prefix Length	Protocol	B...	Action
0	ISP-IN					accept
1 X	out	192.168.228.0/24				accept

2 items

Figura 25. Filtros BGP en router ISP Nacional.

Para el caso del ISP Internacional ya que no se puede acceder a esta configuración y por motivos de simulación se ha creado un filtro básico de entrada que permite el ingreso de todo el tráfico, así como un filtro de salida que publica la dirección de red que se enlaza al proveedor de contenidos. En la Figura 26 se muestran los filtros de este ISP.

#	Chain	Prefix	Prefix Length	P...	B..	Action
0	ISP-OUT	210.115.31.0...				accept
1	ISP-IN					accept
2	ISP-OUT					discard

Figura 26. Filtros BGP en router ISP Internacional

- Creación de los Peers BGP

Se puede definir como Peer BGP a dos routers vecinos que comparten las mismas políticas de enrutamiento.

En este apartado es importante definir el nombre del Peer, se selecciona la instancia creada. Se debe especificar la dirección IP, así como el AS del router vecino, además de especificar los filtros tanto de salida como entrada que hemos creado anteriormente. En la Figura 27 se muestra la creación del Peer BGP en el ISP Local.

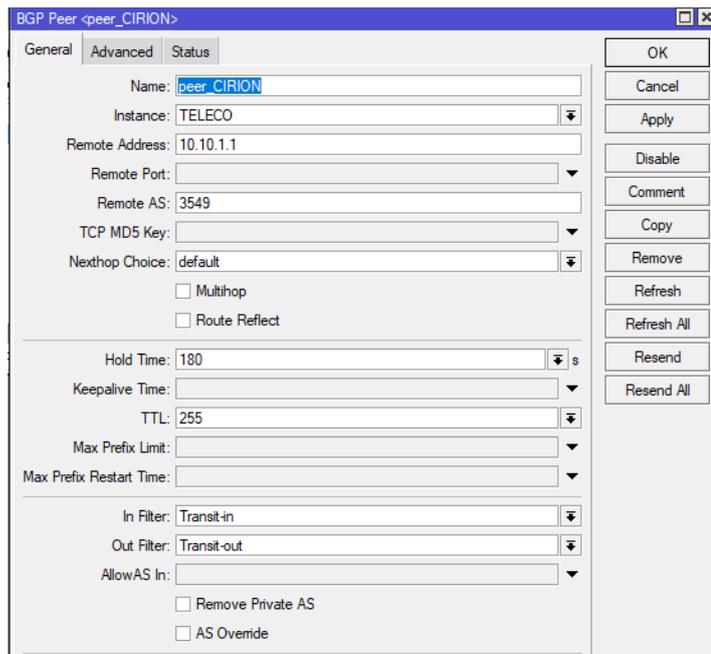


Figura 27. Creación de PEER BGP en el router del ISP Local

Para el caso del Router de Borde del ISP nacional se tiene la creación de dos Peers ya que este se conecta con el proveedor Internacional, así como con el ISP local, como se mencionó anteriormente se debe especificar la información de los routers vecinos. En la Figura 28 y la Figura 29 se muestra la creación de estos Peers.

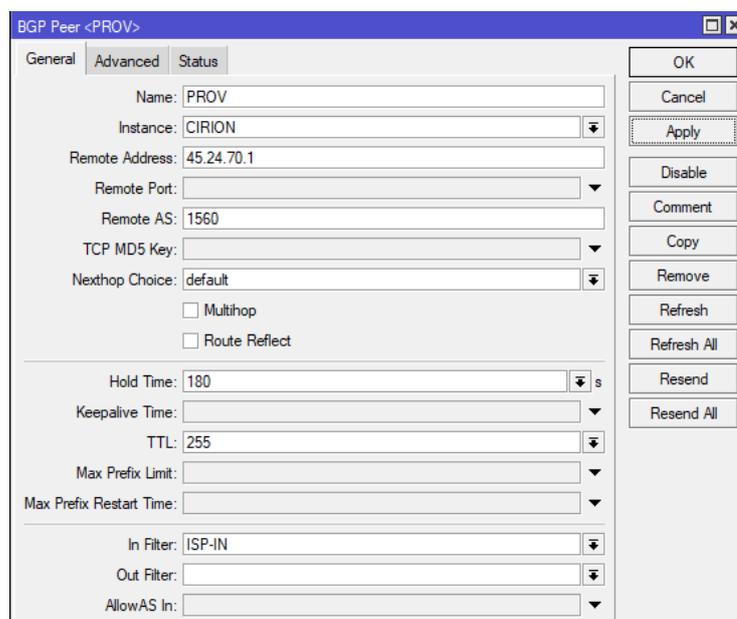


Figura 28. Peer del ISP Nacional con el ISP Internacional.

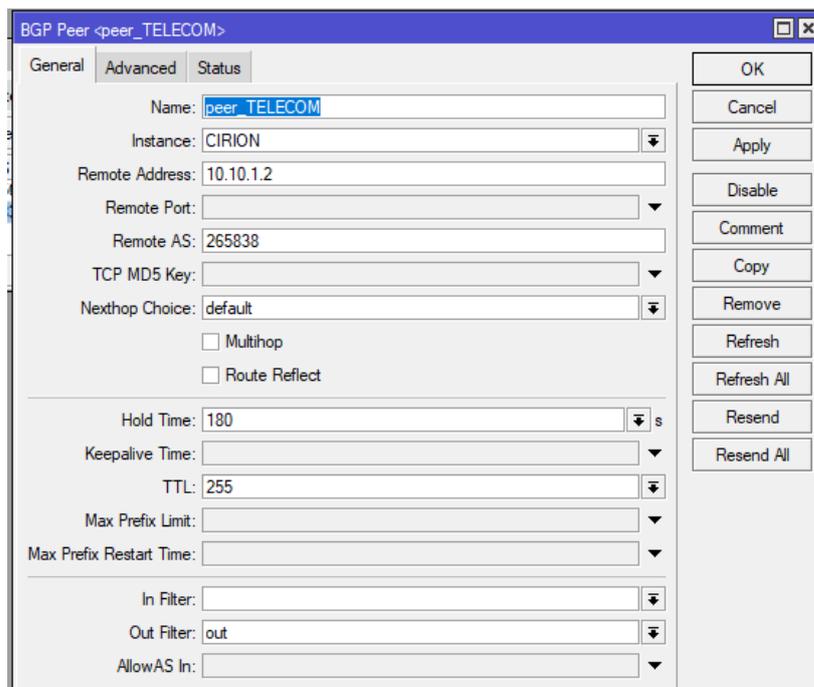


Figura 29. Peer del ISP Nacional con el ISP Local.

- Comprobación de los Peers

Una vez creado los Peers se puede comprobar la conexión entre los routers verificando su estado que se debe mostrar como established, además se puede observar información de resumen sobre el Peer creado con anterioridad. En la Figura 30, Figura 31 y Figura 32 se muestra la correcta creación de los Peers BGP.

Name	Instance	Remote Address	Remote AS	M...	Remote ID	Uptime	State
peer_CIRI...	TELECO	10.10.1.1	3549	no	10.108.33.48	00:01:06	established

Figura 30. Peer BGP en el router del ISP Local

Name	Instance	Remote Address	Remote AS	Remote ID	Uptime	State
PROV	CIRION	45.24.70.1	1560	69.78.15.31	00:02:54	established
peer_TEL...	CIRION	10.10.1.2	265838	10.108.33.49	00:02:41	established

Figura 31. Peer BGP en el router del ISP Nacional

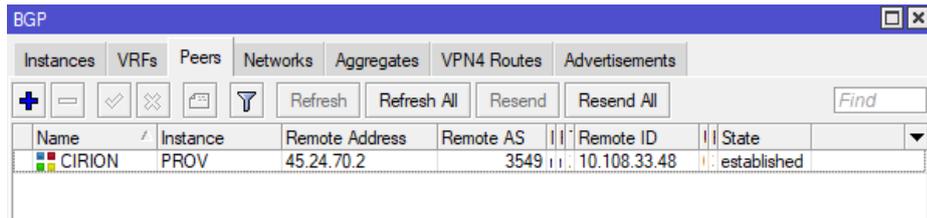


Figura 32. Peer BGP en el router del ISP Internacional

- Definir los prefijos a compartir

En este apartado es importante definir los prefijos o redes que se darán a conocer a los routers vecinos, es importante recalcar que se deben anunciar los prefijos necesarios para cumplir con las normas de enrutamiento y evitar así tener una tabla de enrutamiento compleja y no saturar la capacidad de los equipos.

En la Figura 33 se muestra el prefijo anunciado por el ISP local en este caso es la IP pública perteneciente al mismo.

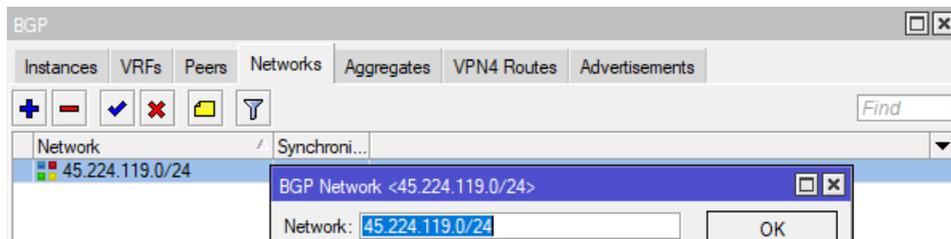


Figura 33. Prefijos anunciados en el router de borde del ISP Local

En la Figura 34 se muestran los prefijos anunciados en el router de borde del ISP Nacional en este caso se tiene la red que enlaza el ISP local con el Nacional.

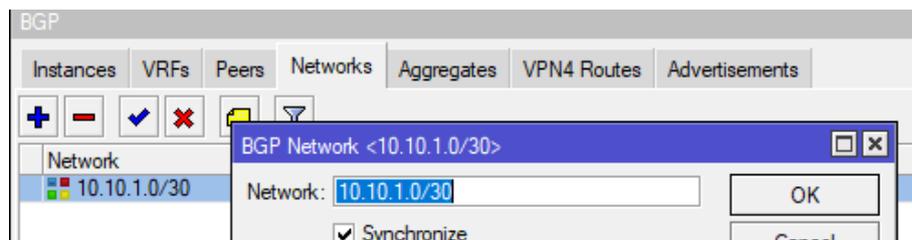


Figura 34. Prefijos anunciados por el ISP Nacional

En la Figura 35 se muestran los prefijos anunciados por el ISP internacional en este caso se puede observar que se comparte la red de enlace con el proveedor de

contenidos, este router deberá anunciar todas las redes que brinden acceso al contenido disponible internet pueden ser todas las direcciones o en su lugar una ruta por defecto.

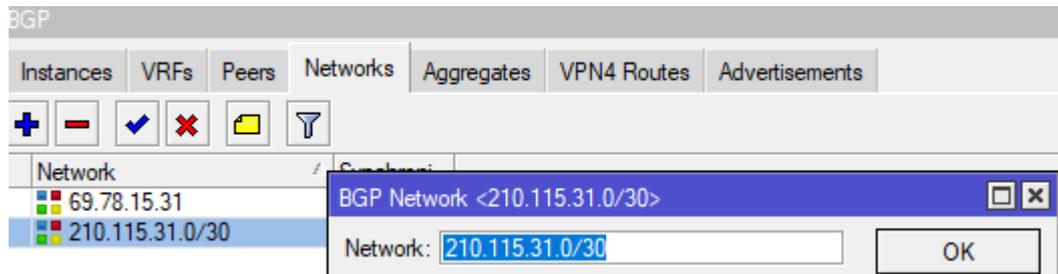


Figura 35. Prefijos anunciados por el ISP Internacional

Para la configuración de los demás nodos o IXPs y sus equipos el procedimiento es similar, únicamente se debe tomar en cuenta las direcciones IPs, los AS, así como los prefijos que se anuncian en cada uno de los routers.

En la Tabla 21 se muestran las direcciones y numero de AS configurados en los equipos del ISP 2 que forma parte del IXP Ambato.

Tabla 21. Direcciones en el ISP 2 del IXP Ambato.

Router de Borde Telecom 2 AS: 265838	
Interfaz	IP
eth2	10.10.1.2/30
eth4	45.224.116.1/24
Loopback	86.38.1.1/30
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	45.224.116.2/24
Router de Borde ISP Nacional AS: 27947	
Interfaz	IP
eth2	10.10.1.1/30
eth3	20.20.1.2/30
Loopback	86.38.1.2/30
Router de Borde ISP Internacional AS: 1560	
Interfaz	IP
eth2	20.20.1.1/30
eth3	45.31.10.1/24
Loopback	176.38.20.1/30
Equipo Proveedor de Contenidos	
Interfaz	IP
e0	45.31.10.2/24

En la Tabla 22 se muestran las direcciones y numero de AS configurados en los equipos del ISP 3 que forma parte del IXP Ambato.

Tabla 22. Direcciones en el ISP 3 del IXP Ambato.

Router de Borde Netrix AS: 265838	
Interfaz	IP
eth2	45.224.117.1/24
eth3	4.4.4.2/30
Loopback	48.33.1.1/30
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	45.224.117.2/24
Router de Borde ISP Nacional AS: 27947	
Interfaz	IP
eth2	33.33.1.2 /30
eth3	4.4.4.1/30
Loopback	48.33.1.2/30
Router de Borde ISP Internacional AS: 1560	
Interfaz	IP
eth2	33.33.1.1/30
eth3	169.78.3.1/24
Loopback	68.78.15.31/30
Equipo Proveedor de Contenidos	
Interfaz	IP
e0	169.78.3.2/24

- IXP Santo Domingo

En la Figura 36 se muestra la topología actual del IXP Santo Domingo, la misma que se ha simulado para obtener los parámetros de red para su análisis.

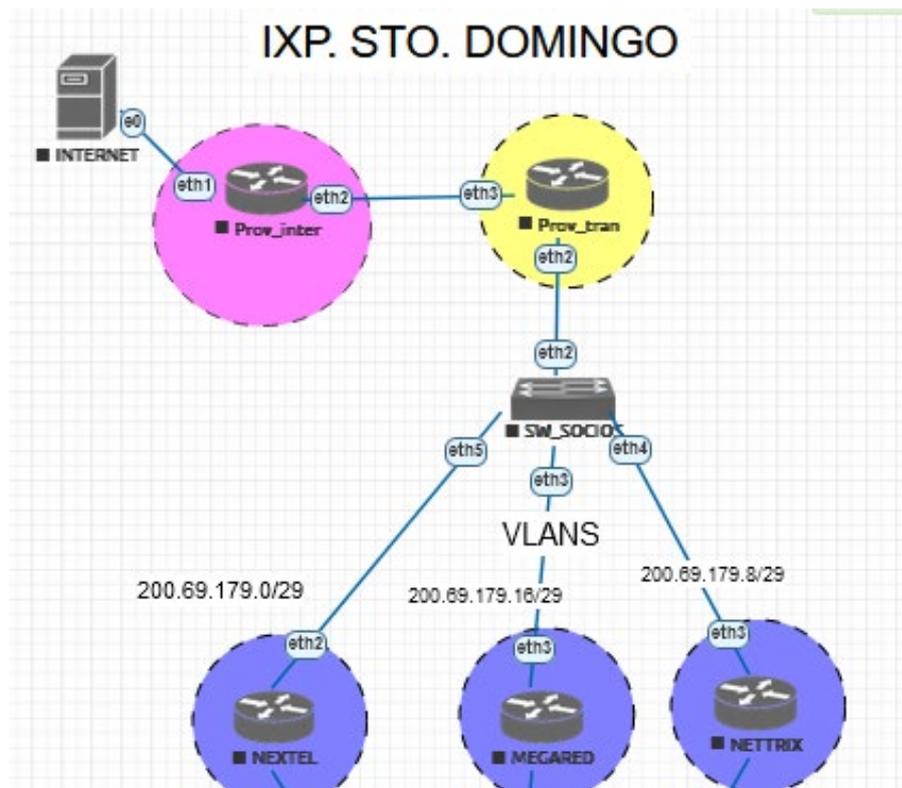


Figura 36. Topología Actual IXP Santo Domingo

En la Tabla 23 se muestran las direcciones configuradas en los equipos del ISP 1 que forma parte del IXP Santo Domingo.

Tabla 23. Direcciones en el ISP 1 del IXP Santo Domingo.

Router de Borde Nextel	
Interfaz	IP
eth2	15.15.15.2/30
eth4	200.69.179.125/29
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	200.69.179.126/29
Router de Borde ISP Nacional AS: 14522	
Interfaz	IP
eth2	15.15.15.1/30
eth3	6.6.6.2/30
Loopback	68.68.15.32
Router de Borde ISP Internacional AS: 1560	
Interfaz	IP
eth2	6.6.6.1/30
eth3	45.31.11.1/24
Loopback	68.68.15.31
Equipo Proveedor de Contenidos	
Interfaz	IP
e0	45.31.11.2/24

En la Tabla 24 se muestran las direcciones configuradas en los equipos del ISP 2 que forma parte del IXP Santo Domingo.

Tabla 24. Direcciones en el ISP 2 del IXP Santo Domingo.

Router de Borde Megared	
Interfaz	IP
eth2	200.69.179.16/29
eth3	15.15.15.3/30
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	200.69.179.17.29

En la Tabla 25 se muestran las direcciones configuradas en los equipos del ISP 3 que forma parte del IXP Santo Domingo.

Tabla 25. Direcciones en el ISP 1 del IXP Santo Domingo.

Router de Borde Nettrix	
Interfaz	IP
eth2	200.69.179.24/29
eth3	15.15.15.4/30
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	200.69.179.15.29

- IXP PASAJE

En la Figura 37 se muestra la topología actual del IXP Pasaje, la misma que se ha simulado para obtener los parámetros de red para su análisis.

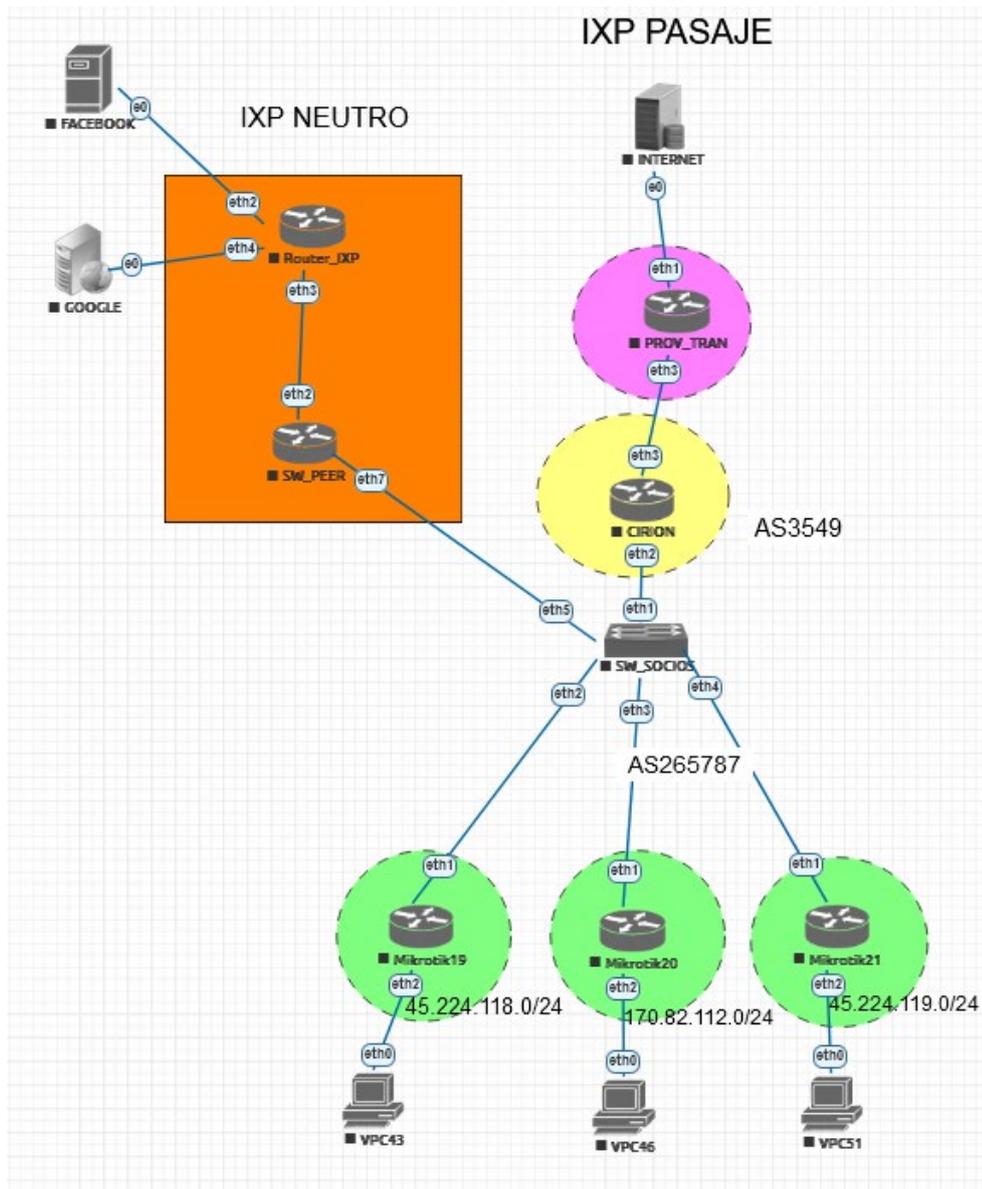


Figura 37. Topología Actual del IXP Pasaje.

Es importante mencionar que este IXP además de contar con la conexión tipo Transit se encuentra ya conectado al IXP neutro de Aprosva por lo que se ha realizado algunas configuraciones adicionales. En la Tabla 26 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 1 del IXP Pasaje.

Tabla 26. Direcciones en el ISP 1 del IXP Pasaje

Router de Borde Pasaje 1 AS: 265787	
Interfaz	IP
eth2	11.11.11.2/29
eth3	128.15.100.1/24
eth3	128.15.100.1/23

eth4	6.6.6.2/27
Loopback	68.68.25.2/30
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	128.15.100.2/24
Router de Borde ISP Nacional AS: 3549	
Interfaz	IP
eth2	11.11.11.1/29
eth3	12.12.12.2/30
Loopback	68.68.25.1/30
Router de Borde ISP Internacional AS: 1560	
Interfaz	IP
eth2	10.12.0.1/24
eth3	12.12.12.1/30
Loopback	70.70.70.1/30
Equipo Proveedor de Contenidos	
Interfaz	IP
e0	10.12.0.2/24

Como se mencionó que este IXP ya se encuentra conectado al IXP de Aprosva, en la Tabla 27 se muestran las direcciones de los equipos de este nodo.

Tabla 27. Direcciones del IXP Neutro Aprosva.

Router IXP Aprosva AS: 264836	
Interfaz	IP
eth2	6.6.6.1/27
eth3	4.4.4.1/30
Eth4	170.15.31.1/29
Loopback	170.80.10.1/30
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	128.16.100.2/24

Es importante mencionar que para el resto de ISPs de este IXP al hacer Peering con el mismo proveedor las direcciones de este no cambian, lo que varía son las IPs que anuncia cada uno de los ISPs. En la Tabla 28 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 2 en Pasaje.

Tabla 28. Direcciones del ISP 2 en el IXP Pasaje

Router de Borde Pasaje 2 AS: 265787	
Interfaz	IP
eth2	11.11.11.3/29
Eth3	6.6.6.3/29
Eth4	128.16.100.1/24
Eth4	128.16.100.1/23
Loopback	68.68.26.1/30

Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	128.16.100.2/24

En la Tabla 29 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 3 en Pasaje.

Tabla 29. Direcciones del ISP 3 en el IXP Pasaje

Router de Borde Pasaje 3 AS: 265787	
Interfaz	IP
eth2	11.11.11.4/29
eth3	126.15.100.1/24
Loopback	68.68.25.2/30
Equipo Cliente 1	
Interfaz	IP
e0	126.15.100.2/24

En la Figura 38 se muestran los Peers conectados al router de borde el ISP nacional del IXP Pasaje, se observan los tres clientes y el ISP internacional con la sesión establecida correctamente.

Name	Instance	Remote Address	Remote AS	Remote ID	State
CL1	CIRION	11.11.11.2	265787	68.68.25.2	established
CL2	CIRION	11.11.11.3	265787	68.68.26.1	established
CL3	CIRION	11.11.11.4	265787	65.65.65.1	established
PROV	CIRION	12.12.12.1	15349	70.70.70.1	established

Figura 38. Peers creados en el Router de borde en ISP Nacional de Pasaje

Name	Instance	Remote Address	Remote AS	Remote ID	State
PASAJE1	APROSV	6.6.6.2	265787		established
PASAJE2	APROSV	6.6.6.3	265787		established
PSJ3	APROSV	6.6.6.4	265787		established

Figura 39. Peers creados en el router del IXP Aprosva

- **IXP Manuel J. Calle**

En la Figura 40 se muestra la topología actual del IXP Manuel J. Calle, la misma que se ha simulado para obtener los parámetros de red para su análisis.

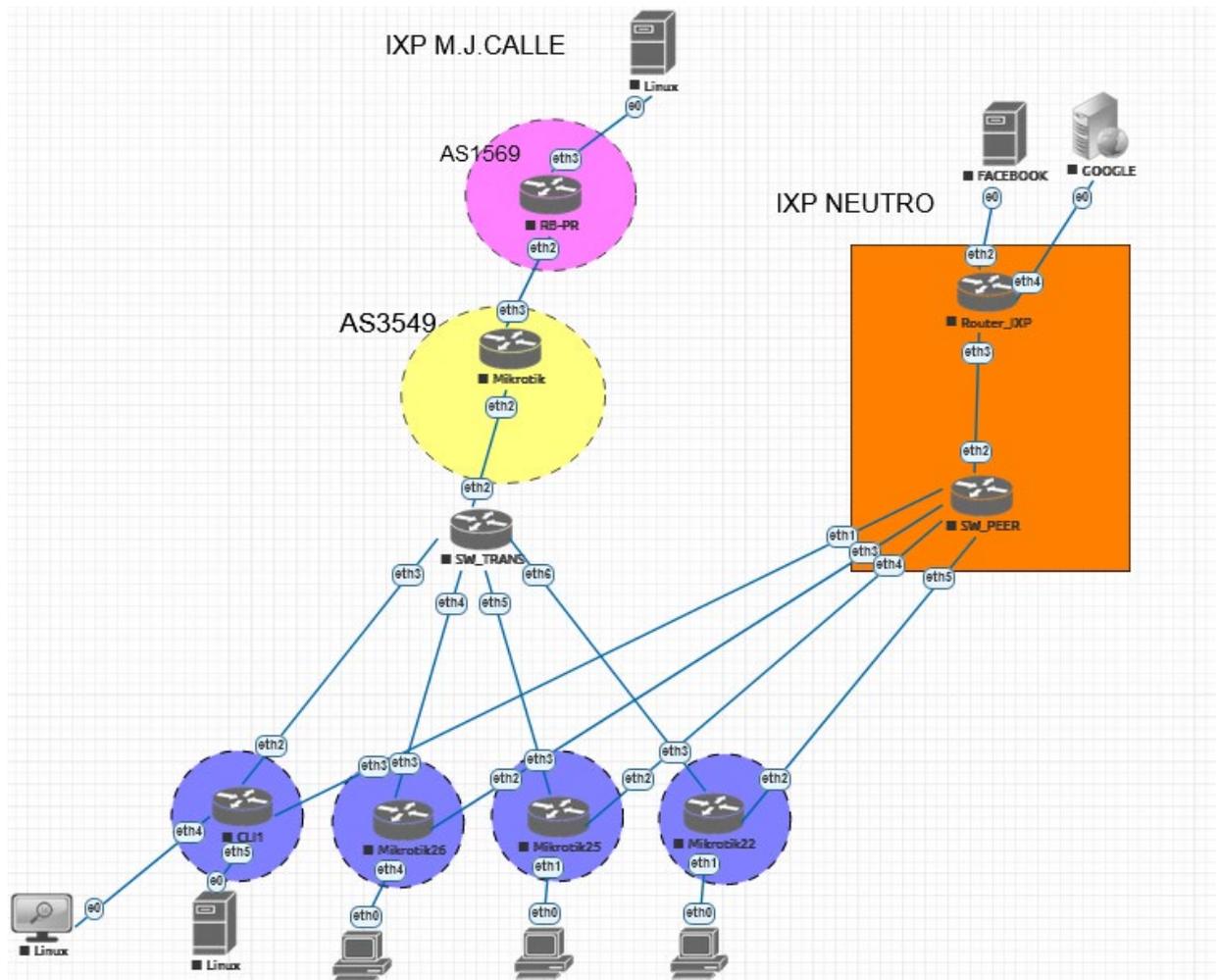


Figura 40. Topología Actual IXP Manuel J. Calle

Al igual que el IXP Pasaje el de Manuel J. Calle se encuentra también conectado al IXP de Aprosva por lo que en este se han realizado configuraciones adicionales. En la Tabla 30 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 1 que forman parte del IXP Manuel J. Calle

Tabla 30. Direcciones del ISP 1 y equipos del IXP M. J Calle

Router de Borde Manuel J. Calle 1	
AS: 265787	
Interfaz	IP
eth2	1.1.1.2/29
eth3	6.6.6.8/27
Loopback	169.70.83.2/32
Eth4	10.100.100.1/24
Eth5	10.100.102.1/23
Clientes	
Interfaz	IP
e0	10.100.102.2/23
e0	10.100.100.2./24

Router de Borde ISP Nacional AS: 3549	
Interfaz	IP
eth2	1.1.1.1/29
eth3	3.3.3.2/30
Loopback	169.70.83.1/30
Router de Borde ISP Internacional AS: 1560	
Interfaz	IP
eth2	3.3.3.1/24
eth3	30.30.30.1/30
Loopback	8.8.8.8/30
Equipo Proveedor de Contenidos	
Interfaz	IP
e0	30.30.30.2/24

En la Tabla 31 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 2 del IXP Manuel J. Calle.

Tabla 31. Direcciones del ISP 2 y equipos del IXP M. J Calle

Router de Manuel J. Calle 2 AS: 265788	
Interfaz	IP
eth2	6.6.6.9/27
eth3	1.1.1.3/29
Loopback	169.70.83.3
Eth5	11.100.102.1/23
Eth4	11.100.100.1/24
Clientes	
Interfaz	IP
e0	11.100.100.1/24
e0	11.100.102.1/23

En la Tabla 32 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 3 del IXP perteneciente al IXP Manuel J. Calle.

Tabla 32. Direcciones del ISP 3 y equipos del IXP M. J Calle

Router de Manuel J. Calle 3 AS: 265789	
Interfaz	IP
eth2	6.6.6.10/27
eth3	1.1.1.4/29
Loopback	169.70.83.4
eth4	12.100.102.1/23
eth5	12.100.100.1/24
Clientes	
Interfaz	IP

e0	12.100.100.1/24
e0	12.100.102.1/23

En la Tabla 33 se muestran las direcciones de los equipos del ISP4 del IXP Manuel J. Calle.

Tabla 33. Direcciones del ISP 4 y equipos del IXP M. J Calle

Router de Manuel J. Calle 4	
AS: 265790	
Interfaz	IP
eth2	6.6.6.11/27
eth3	1.1.1.5/29
Loopback	169.70.83.5
eth4	13.100.102.1/23
eth5	13.100.100.1/24
Clientes	
Interfaz	IP
e0	13.100.100.1/24
e0	13.100.102.1/23

Luego de haber realizado las configuraciones necesarias para crear las sesiones BGP, haber configurado tanto filtros de salida como de entrada se establecen las sesiones entre los ISPs, el Proveedor Nacional y el proveedor Internacional. En la Figura 41 se muestran las sesiones creadas y establecidas.

BGP										
Instances		VRFs	Peers	Networks	Aggregates	VPN4 Routes	Advertisements			
+		-	✓	✗	📄	🔍	Refresh	Refresh All	Resend	Resend All
Name	Instance	Remote Address	Remote AS	Remote ID	P...	State				
MJC1	ISP-TRAN	1.1.1.2	265787	169.70.83.2	1	established				
MJC2	ISP-TRAN	1.1.1.3	265787	169.70.83.3	1	established				
MJC3	ISP-TRAN	1.1.1.4	265787	169.70.83.3	1	established				
MJC4	ISP-TRAN	1.1.1.5	265787	169.70.83.5	1	established				
PROVEEDOR	ISP-TRAN	3.3.3.1	1569	8.8.8.8	3	established				

Figura 41. Peers creados y establecidos en el IXP Manuel J. Calle

Como se mencionó anteriormente este IXP además de contar con la conexión tipo Transit cuenta con la conexión hasta el punto neutro de Aprosva. En la Figura 42 se muestra la sesión establecida entre el ISP y los dos proveedores tanto el proveedor de Transit, así como el IXP.

Name	Instance	Remote Address	Remote AS	AS Path	State
TRAN_CIRION	MJC1	1.1.1.1	3549	r r	established
PEER_APROSVA	MJC1	6.6.6.1	264836	r r	established

Figura 42. Peers creados en el ISP1 del IXP M. J. Calle

En la Figura 43 se muestran los Peers creados en el Router del IXP de Aprosva en este caso se muestran los cuatro ISPs que pertenecen al IXP de Manuel J. Calle

Name	Instance	Remote Address	Remote AS	AS Path	State
MJC1	APROSV A	6.6.6.8	265787	r r	established
MJC2	APROSV A	6.6.6.9	265788	r r	established
MJC3	APROSV A	6.6.6.10	265789	r r	established
MJC4	APROSV A	6.6.6.11	265790	r r	established

Figura 43. Peers creados en el Router del IXP neutro de Aprosva.

- **Análisis de tráfico de la red actual.**

Para el envío de tráfico se han configurado dos máquinas virtuales con Ubuntu en las cuales se ha instalado la herramienta iperf3 la misma que sirve para realizar pruebas de ancho de banda, así como medir la capacidad de conexión de una red.

Para usar esta herramienta es necesario configurar un equipo como servidor y otro como cliente para realizar el envío de paquetes de un equipo a otro.

El equipo cliente está ubicado en el lado del ISP local que hará las funciones de un cliente de la red, por otra parte, el servidor está ubicado en el lado del ISP internacional el mismo que hará las funciones de proveedor de contenidos.

- Pruebas de Trafico IXP Ambato

Para esta prueba se realiza el envío de tráfico UDP mediante la herramienta iperf3, el equipo cliente cuenta con la dirección IP: 45.224.119.2/24, el servidor tiene la dirección 210.115.31.2/30.

Una vez configurado el servidor se ejecutan 5 pruebas con un tiempo de 30 segundos a un intervalo de 1s con diferentes Anchos de Banda.

En la prueba se usa un ancho de banda de 200 Mbps, sus resultados son guardados en un archivo .xlsx. En la Figura 44 se muestra el comando usado para enviar tráfico al servidor.

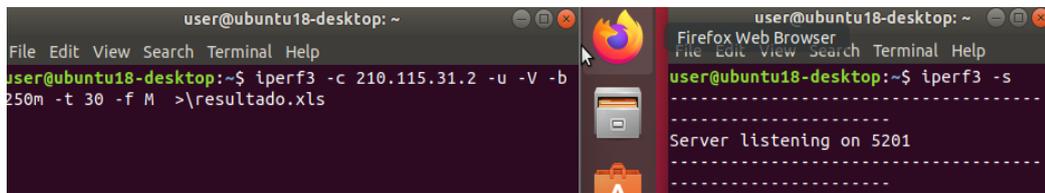


Figura 44. Pruebas de tráfico entre cliente y servidor.

Para las diferentes pruebas se varía el ancho de banda especificado con la opción -b, estos resultados se muestran en la Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36 variando el ancho de banda para las diferentes pruebas.

Tabla 34. Valores obtenidos mediante la simulación.

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	356	23.6	0.234	12600/45410	27
30	533	35.4	0.388	26509/47012	53
40	747	49.6	0.727	84430/92936	61
60	1040	71.6	1.2	117643/124557	94

Tabla 35. Valores obtenidos mediante la simulación.

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	356	23.7	0.234	12601/45410	28
30	533	35.6	0.388	26511/47012	56
40	747	49.8	0.727	84432/92936	61
60	1040	71.2	1.2	117643/124557	94

Tabla 36. Valores obtenidos mediante la simulación.

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	23.7	0.257	12314/45453	27
30	534	35.6	0.281	21546/41931	51
40	711	47.4	0.774	39291/49887	79
60	1040	71.2	1.2	14572/19545	86

En la Figura 45 se muestra la relación del consumo de los parámetros de red de los ISP miembros del IXP que se obtuvieron en la simulación de la topología de red de cada uno de estos.

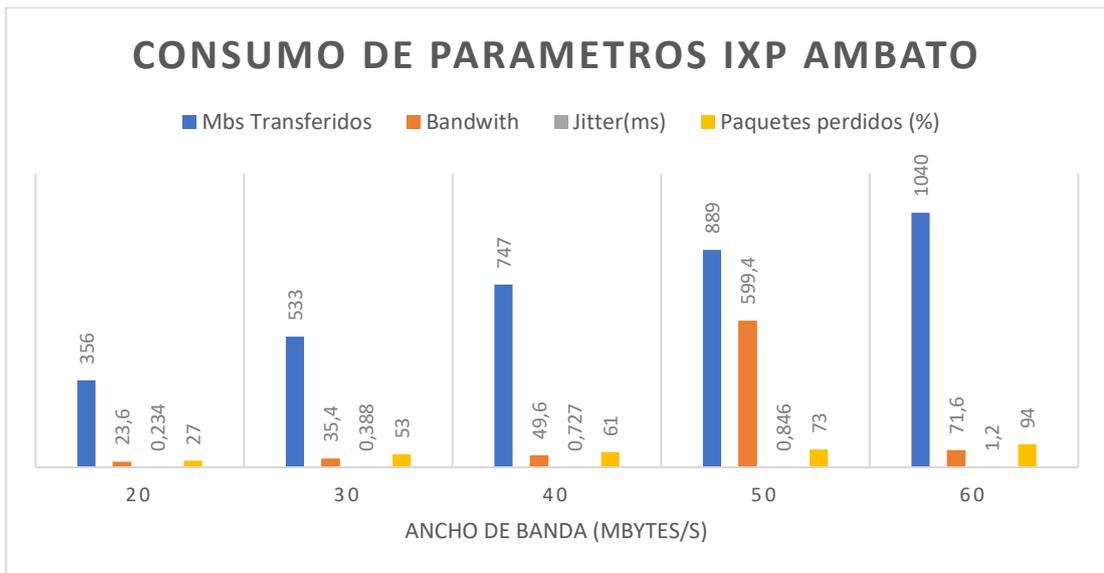
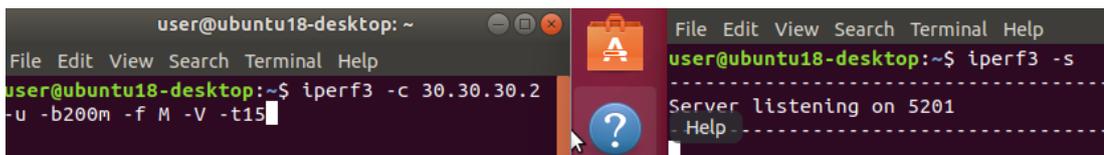


Figura 45. Consumo de Parámetros IXP Ambato

- Pruebas de Trafico IXP Santo Domingo.

Pruebas realizadas en el IXP Domingo.



En la Tabla 37, Tabla 38, Tabla 39 y Tabla 40 se muestran los valores procesados luego de realizar las pruebas de envío de tráfico con diferentes anchos de banda.

Tabla 37. Valores obtenidos mediante la simulación.

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	23.7	0.257	12314/45453	30
30	534	35.6	0.281	21546/41931	58
40	711	47.4	0.774	39291/49887	85
60	1040	71.2	1.2	14572/19545	94

Tabla 38. Valores obtenidos mediante la simulación.

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	23.7	0.389	8609/29270	29
30	534	35.6	0.546	8594/16684	52
40	711	47.4	0.953	8816/14696	60
60	1040	71.2	1.2	14394/19338	93

Tabla 39. Valores obtenidos mediante la simulación.

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	0,257	12314/45453	12314/45453	27
30	534	0,271	21546/41931	21546/41931	51
40	711	0,774	39290/49887	20431/29151	70
60	1040	1,286	20431/29151	29290/49887	94

Tabla 40. Valores obtenidos mediante la simulación.

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	29.7	0.408	5981/14703	40
30	534	33.7	0.446	9488/15070	62
40	711	47.6	0.482	7558/11272	67
60	1040	61.7	0.901	11942/15833	75

En la Figura 46 se muestra la relación del consumo de los parámetros de red de los ISP miembros del IXP Santo Domingo que se obtuvieron en la simulación de la topología de red de cada uno de estos.

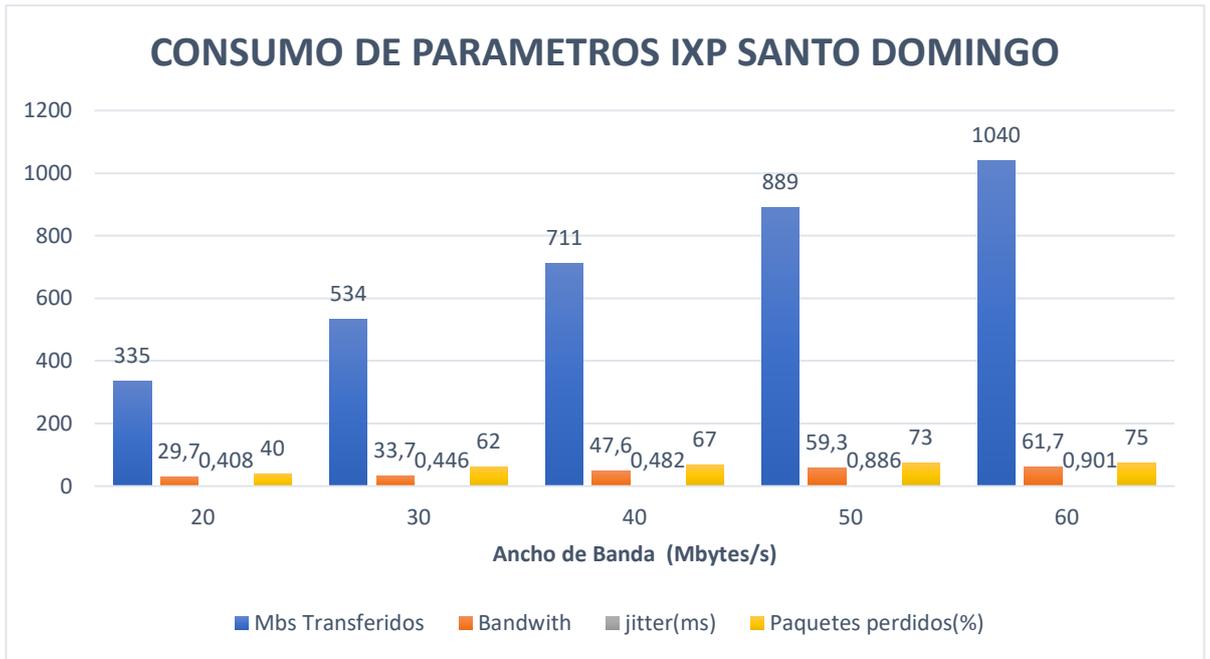


Figura 46 . Consumo de Parámetros IXP Santo Domingo

- Pruebas de Tráfico IXP Pasaje.

En la Figura 47 se muestra el comando usado para realizar las pruebas de envío de tráfico entre el cliente y el servidor, para este caso la IP del servidor es 10.12.0.2

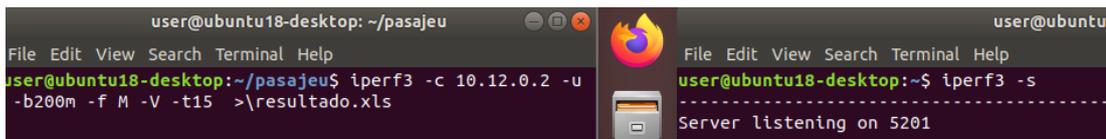


Figura 47. Pruebas de tráfico entre cliente y servidor

En la Tabla 41,

Tabla 42 y Tabla 43 se muestran los valores de los parámetros de la red obtenidos mediante las pruebas en las cuales se ha variado el ancho de banda.

Tabla 41. Valores obtenidos mediante las pruebas

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	23.7	0.409	5987/14703	41
30	534	35.6	0.450	9697/15075	64
40	711	47.6	0.482	7558/11272	67
60	1040	71.7	0.886	11942/15833	75

Tabla 42. Valores obtenidos mediante las pruebas

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	24.7	0.410	5987/14703	41
30	534	35.6	0.448	9699/15075	63
40	711	47.6	0.493	10686/14970	71
60	1040	59.5	0.886	11942/15833	75

Tabla 43. Valores obtenidos mediante las pruebas

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	335	26.7	0.409	5873/14703	38
30	534	35.6	0.450	9697/15075	64
40	711	47.6	0.493	10686/14970	71
60	1040	71.7	0.886	12935/15833	81

En la Figura 48 se muestra la relación del consumo de los parámetros de red de los ISP miembros del IXP Pasaje que se obtuvieron en la simulación de la topología de red de cada uno de estos.

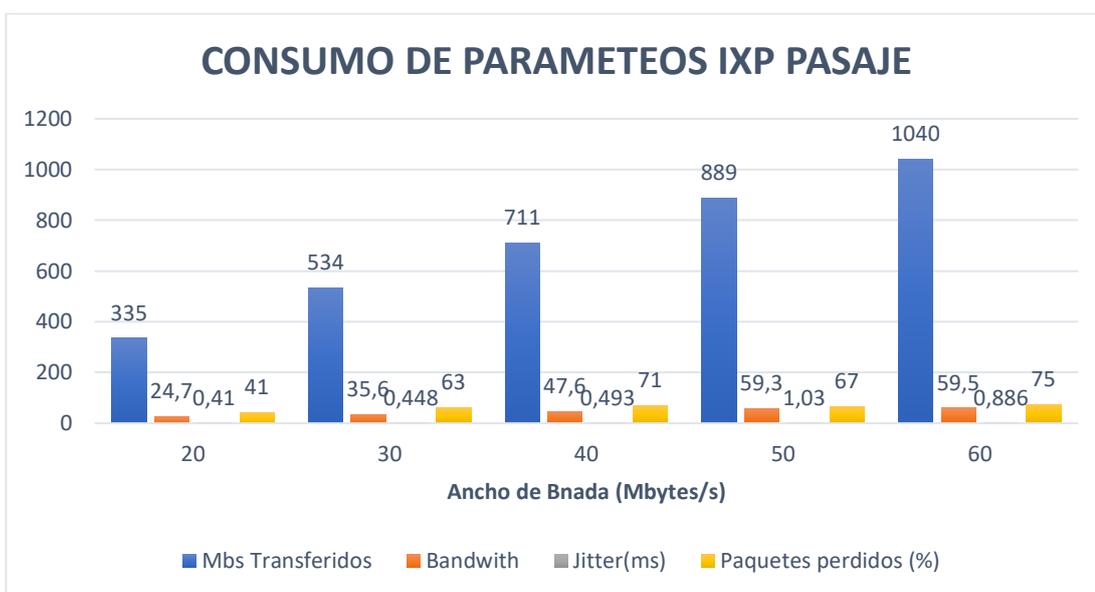


Figura 48. Consumo de Parámetros IXP Pasaje

3.2.10 Propuesta de Rediseño de Puntos de intercambio de tráfico

Una vez analizado los problemas que presenta la red actual de Aprosva, se ha realizado una investigación sobre la correcta configuración de los protocolos que intervienen en el funcionamiento de una interconexión de Puntos de intercambio de tal manera que se cumpla con el objetivo principal que es demostrar el mejoramiento de los parámetros de red como latencia, Jitter, Troughput, etc.

De tal manera se presenta la siguiente configuración:

- Filtrado Correcto de rutas

En la Tabla 44 se muestran las direcciones IP que los routers de borde de cada uno de los ISP debe descartar en sus filtros IN, que los routers aprendan estas direcciones innecesarias aumentaría el consumo de recursos de los equipos provocando fallos en la red.

Tabla 44. Lista de direcciones IPs a ser descartadas

Dirección	Longitud de prefijo	Acción
10.0.0.0/8	8-32	Descartar IPs privadas
172.16.0.0/12	12-32	Descartar IPs privadas
192.168.0.0/16	12-32	Descartar IPs privadas
169.254.0.0/16	16-32	Descartar IPs de enlace local
127.0.0.0/8	8-32	Descartar IPs de Loopback
224.0.0.0/4	4-32	Descartar IPs de Multicast
240.0.0.0/4	4-32	Descartar IPs de investigación

3.2.11 Simulación de red Propuesta

Una vez obtenidos los parámetros de red en la topología que presenta actualmente cada uno de los IXPs, y habiendo determinado los inconvenientes que estos presentan se proponen las siguientes soluciones:

- Conexión de los IXPs: Ambato y Sto. Domingo, al IXP neutro de Aprosva.

- Configuración adecuada de los filtros de enrutamiento.

Para la conexión de los IXPs mencionados al IXP neutro se propone añadir un Switch en cada uno de los IXPs para la interconexión de los clientes actuales, así como para posibles futuros clientes, se recomienda trabajar con equipos de marca Mikrotik ya que los equipos actuales que posee el IXP neutro son de esta marca, actualmente poseen un Switch CRS317 es recomendable trabajar con otro del mismo modelo o similares características.

En la Figura 49 se muestra la topología para la red planteada, en esta se aprecia la interconexión de los IXPs al punto de intercambio neutro de Aprosva.

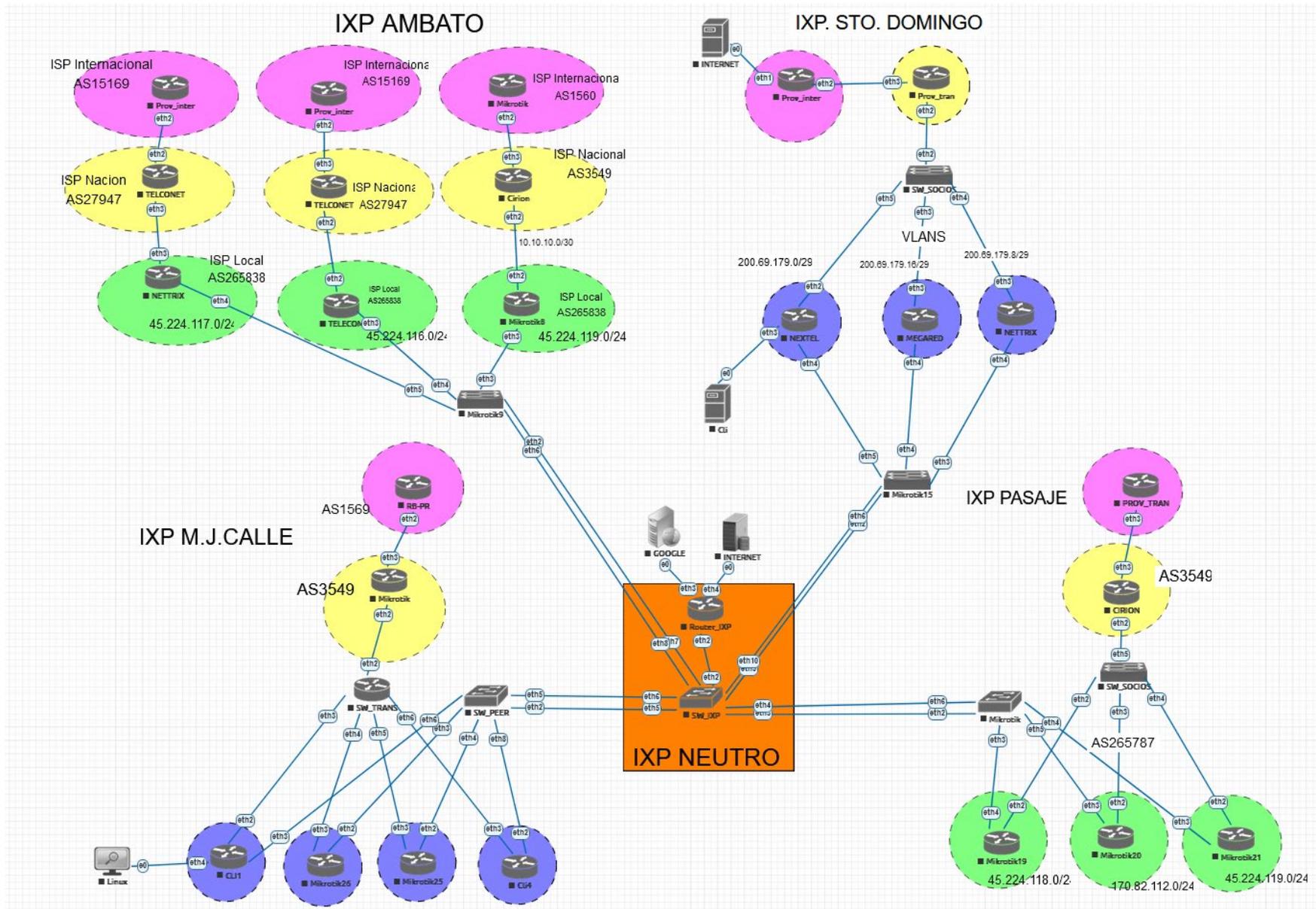


Figura 49. Topología de Red Propuesta

- Configuración del IXP Ambato.

Inicialmente se muestra el direccionamiento utilizado para la simulación de la conexión de los IXPs al IXP neutro de Aprosva, se han realizado algunos cambios como: anuncio correcto de prefijos, uso de AS únicos para cada ISP.

En la Tabla 45 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 1 del IXP Ambato.

Tabla 45. Direcciones del ISP1, IXP Ambato

Router de Ambato 1	
AS: 265838	
Interfaz	IP
Eth3	6.6.6.6/27
Loopback	10.108.33.49
Eth4	45.224.119.1/24
Eth4	45.224.118.1/23
Clientes	
Interfaz	IP
e0	45.224.119.2/24
e0	45.224.118.2/23

En la Tabla 46 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 2 del IXP Ambato.

Tabla 46. Direcciones del ISP2, IXP Ambato

Router de Ambato 2	
AS: 265838	
Interfaz	IP
Eth3	6.6.6.5/27
Loopback	86.38.1.1
Eth4	45.224.116.1/24
Eth4	45.224.115.1/23
Clientes	
Interfaz	IP
e0	45.224.116.2/24
e0	45.224.115.2/23

En la Tabla 47 se muestran las direcciones de los equipos del ISP 3 del IXP Ambato.

Tabla 47. Direcciones del ISP3, IXP Ambato

Router de Ambato 3	
AS: 265839	
Interfaz	IP
Eth4	6.6.6.15/27
Loopback	169.83.5.1
Eth3	128.20.102.1/23
Eth3	128.20.100.1/24
Clientes	
Interfaz	IP

e0	128.20.100.1/24
e0	128.20.102.1/23

Como se mencionó anteriormente para configurar BGP inicialmente se deben configurar los filtros tanto de entrada como de salida ya que estos son los encargados de permitir tanto el tráfico saliente como entrante desde el ISP, y el IXP respectivamente, en la Figura 50 se muestra la configuración de filtros en el Router de Borde del ISP.

#	Chain	Prefix	Prefix L...	P..	Action
0	IXP-OUT	45.224.119.0/24			accept
1	TRANSIT-OUT	45.224.118.0/23			accept
2	IXP-IN				accept
3	Transit-in				accept
4	Transit-out				discard
5	IXP-OUT				discard
6	IXP-IN	10.0.0.0/8	8-32		discard
7	IXP-IN	172.16.0.0/12	12-32		discard
8	IXP-IN	192.168.0.0/16	16-32		discard
9	IXP-IN	169.254.0.0/16	16-32		discard
10	IXP-IN	127.0.0.0/8	8-32		discard
11	IXP-IN	224.0.0.0/4	4-32		discard
12	IXP-IN	240.0.0.0/4			discard

Figura 50. Filtros de Routing

Luego de haber establecido los filtros necesarios, se procede con la creación del Peer, es decir realizar la interconexión con el IXP, en este apartado es importante definir el AS del IXP, la dirección IP del mismo, además de los filtros tanto de entrada como de salida que creamos anteriormente. En la Figura 51 se muestra la configuración para crear la conexión con el Peer.

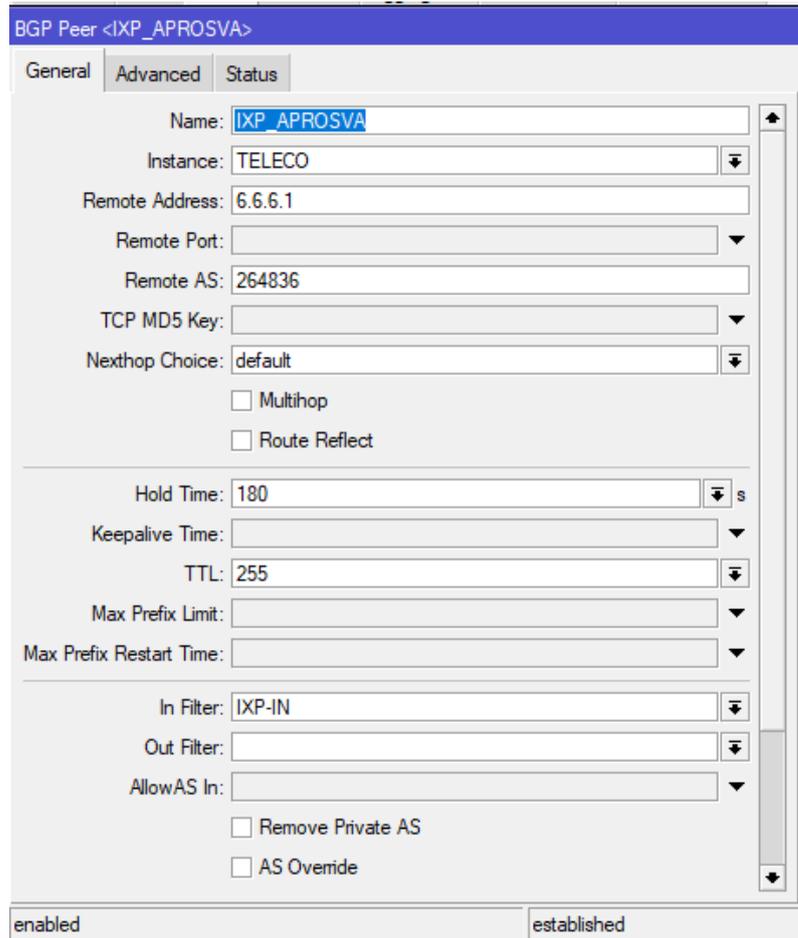


Figura 51. Creación del Peer con el IXP.

Para que el IXP tenga conocimiento de la IP pública con la que el ISP trabaja y mediante la cual este accederá a los servicios que el IXP ofrece, esta IP o prefijo se debe configurar en el apartado Networks dentro de la configuración BGP. En la Figura 52 se muestra el anuncio de los prefijos que anuncia el IXP.

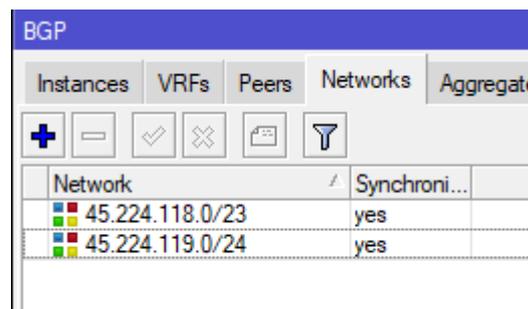


Figura 52. Anuncio de prefijos

Una vez que se ha realizado el procedimiento mencionado, se debe verificar el estado de la sesión BGP con los Peers, como se observa en la Figura 53 y la Figura 54 en el apartado State se muestra como established.

The screenshot shows the BGP configuration interface with the 'Peers' tab selected. A table lists two BGP peers, both with a state of 'established'.

Name	Instance	Remote Ad...	Remote ...	Pr...	State
IXP_APROSVA	TELECO	6.6.6.1	264836	3	established
peer_CIRION	TELECO	10.10.1.1	3549	3	established

Figura 53. Comprobación de la sesión BGP en el Router del ISP

The screenshot shows the BGP configuration interface with the 'Peers' tab selected. A table lists one BGP peer with a state of 'established'.

Name	Instance	Remote Address	Remote ...	U...	P	State
PELILEO	APROSVA	170.15.31.2	265838	0...	1	established

Figura 54. Comprobación de la sesión BGP en el Router del IXP

Es importante revisar que únicamente se estén dando a conocer los prefijos correctos a cada uno de los Peers, caso contrario esto podría ser motivo de sanciones para el ISP. En la Figura 55 se muestra la IP anunciada que corresponde a la IP pública del ISP.

The screenshot shows the BGP configuration interface with the 'Networks' tab selected. A table lists one announced network for the IXP_APROSVA peer.

Peer	Prefix	Nexthop	AS Path	Origin
IXP_APROSVA	45.224.119.0/24	6.6.6.6		igp

Figura 55. Comprobación de Redes Anunciadas

Name	Instance	Remote Address	Rem...	State
PELI3	APROSVA	6.6.6.7	265839	established
PELI2	APROSVA	6.6.6.5	265838	established
PELILEO	APROSVA	6.6.6.6	265838	established

Figura 56. Peers Creados en el Router del IXP

Es importante mencionar que para el resto de ISPs pertenecientes a cada uno de los IXP la configuración es similar, variando únicamente direcciones IP y el ASN.

- Configuración del IXP Santo Domingo

Para los ISPs que forman parte de este IXP se ha configurado un ASN único para cada ISP, el anuncio correcto de prefijos, filtrado de rutas y configuración de parámetros del protocolo BGP.

En la Tabla 48 se muestran las direcciones del ISP 1 del IXP Santo Domingo

Tabla 48. Direcciones del ISP1, IXP Santo Domingo

Router de Santo Domingo 1	
AS: 265031	
Interfaz	IP
Eth4	6.6.6.15/27
Loopback	169.83.5.1
Eth3	128.20.102.1/23
Eth3	128.20.100.1/24
Cientes	
Interfaz	IP
e0	128.20.100.1/24
e0	128.20.102.1/23

En la Tabla 49 se muestran las direcciones del ISP 2 del IXP Santo Domingo

Tabla 49. Direcciones del ISP2, IXP Santo Domingo

Router de Santo Domingo 2 AS: 265032	
Interfaz	IP
Eth4	6.6.6.16/27
Loopback	169.83.5.2
eth4	128.21.102.1/23
eth5	128.21.100.1/24
Cientes	
Interfaz	IP
e0	128.21.100.1/24
e0	128.21.102.1/23

En la Tabla 50 se muestran las direcciones del ISP 3 del IXP Santo Domingo

Tabla 50. Direcciones del ISP3, IXP Santo Domingo

Router de Santo Domingo 33 AS: 265033	
Interfaz	IP
Eth4	6.6.6.17/27
Loopback	169.83.5.3
eth4	128.22.102.1/23
eth5	128.22.100.1/24
Cientes	
Interfaz	IP
e0	128.22.100.1/24
e0	128.22.102.1/23

En la Figura 57 se muestran los Peers creados y conectados exitosamente con el IXP de Aprosva, se observa la asignación de un numero de AS único para cada ISP.

BGP							
Instances		VRFs	Peers	Networks	Aggregates	VPN4 Routes	Advertisements
+		-	✓	✗	📁	🔍	
		Refresh	Refresh All	Resend	Resend All		
Name	Instance	Remote Address	Remot...				State
STD1	APROSV	6.6.6.15	265031				established
STD2	APROSV	6.6.6.16	265032				established
STD3	APROSV	6.6.6.17	265033				established

Figura 57. Peers creados y establecidos en el Router del IXP.

Para demostrar el correcto funcionamiento de la red propuesta se obtienen los Peers creados en el router del IXP. Esto se muestra en la Figura 58 en donde se observa la conexión con cada uno de los ISP que pertenecen a los IXP de las diferentes localidades.

Name	Instance	Remote Address	Rem...	State
MJC1	APROSVA	6.6.6.8	265787	established
MJC2	APROSVA	6.6.6.9	265788	established
MJC3	APROSVA	6.6.6.10	265789	established
MJC4	APROSVA	6.6.6.11	265790	established
PASAJE1	APROSVA	6.6.6.2	305181	established
PASAJE2	APROSVA	6.6.6.3	305182	established
PASAJE3	APROSVA	6.6.6.4	305183	established
PELI2	APROSVA	6.6.6.5	265838	established
PELI3	APROSVA	6.6.6.7	265839	established
PELILEO	APROSVA	6.6.6.6	265838	established
STD1	APROSVA	6.6.6.15	265031	established
STD2	APROSVA	6.6.6.16	265032	established
STD3	APROSVA	6.6.6.17	265033	established

Figura 58. Peers creados exitosamente en el IXP Aprosva.

Cumpliendo con el anuncio correcto de prefijos bajo las normas de enrutamiento en la Figura 59 se muestran las rutas aprendidas por el router de borde del IXP, se aprecia que únicamente existen direcciones con /24 es decir los prefijos más específicos que corresponden a las IPs públicas de los ISP, con esto se logra reducir el consumo de recursos en el router del IXP y tener un mejor rendimiento de la red.

Dst. Address	Gateway	Distance
128.15.100.0/24	6.6.6.2 reachable ether2	20
128.16.100.0/24	6.6.6.3 reachable ether2	20
170.82.112.0/24	6.6.6.4 reachable ether2	20
45.224.116.0/24	6.6.6.5 reachable ether2	20
45.224.119.0/24	6.6.6.6 reachable ether2	20
45.224.117.0/24	6.6.6.7 reachable ether2	20
10.100.100.0/24	6.6.6.8 reachable ether2	20
11.100.100.0/24	6.6.6.9 reachable ether2	20
128.20.100.0/24	6.6.6.15 reachable ether2	20
128.21.100.0/24	6.6.6.16 reachable ether2	20
128.22.100.0/24	6.6.6.17 reachable ether2	20

Figura 59. Rutas aprendidas en el router del IXP

Uno de los aspectos importantes de BGP es la preferencia de rutas, esto lo hace mediante la selección de la mejor trayectoria, eligiendo la ruta más corta hacia un destino, la preferencia se basa en ciertos atributos como longitud de prefijo que se

observó anteriormente, en la Figura 60 se muestra la preferencia basada en AS Path evidenciando que se prefiere la ruta con Path más corto.

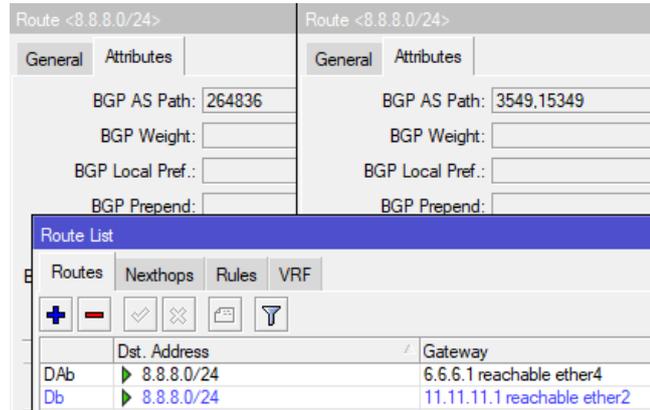


Figura 60. Preferencias de Redes

- **Análisis de Tráfico en la Red Propuesta.**

En la Tabla 51, Tabla 52 y Tabla 53 se han procesado los datos que se han obtenido mediante la simulación de los miembros del IXP Ambato, en estas se muestran los parámetros más importantes que influyen en el rendimiento de una red como el ancho de banda consumido, Jitter, paquetes perdidos entre otros.

Para esto se han realizado pruebas con diferentes anchos de banda como se hizo previamente en el estado actual.

- Análisis en el IXP Ambato:

Tabla 51. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP1 del IXP Ambato

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	356	23.5	0.216	10678/45418	24
30	533	35.3	0.348	17837/39324	45
40	711	47.4	0.355	19072/31999	59
50	889	59.3	0.51	35133/42681	68
60	1040	71.2	0.602	95734/99729	96

Tabla 52. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP2 del IXP Ambato

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	356	23.7	0.215	11932/45443	26
30	533	35.6	0.315	17837/39324	45
40	711	47.4	0.375	19072/42030	60
50	889	59.3	0.544	9269/13574	68
60	1040	71.2	0.966	16376/20860	79

Tabla 53. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP3 del IXP Ambato

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	356	23.5	0.218	10545/45462	23
30	533	35.4	0.346	31435/68230	45
40	711	47.4	0.351	52800/91125	58
50	889	59.3	0.467	34538/52367	66
60	1040	71.2	1.019	134232/136662	98

En la Figura 61 se muestra la relación del consumo de los parámetros de red de los ISP miembros del IXP Ambato que se obtuvieron en la simulación de la topología de red de cada uno de estos.

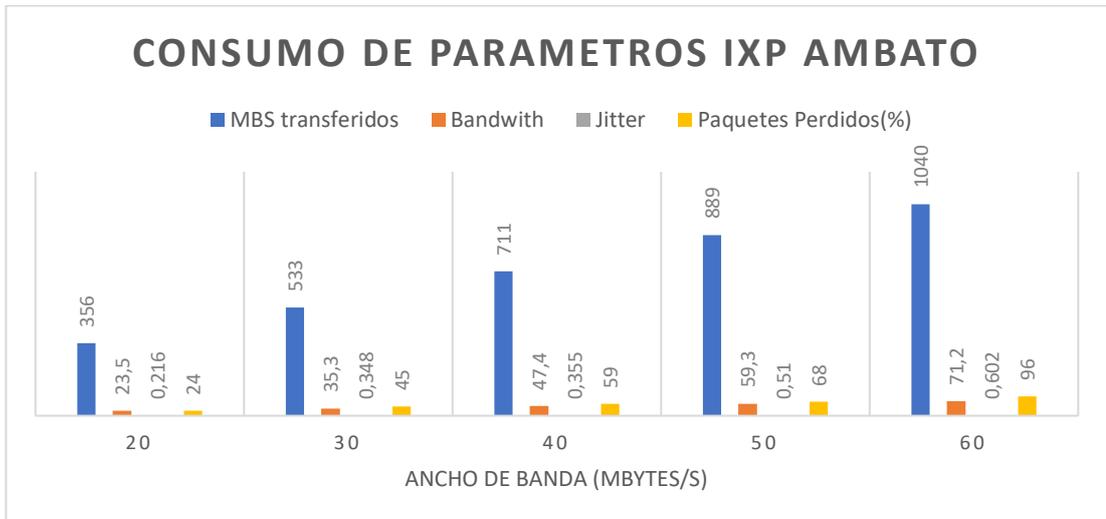


Figura 61. Consumo de Parámetros del IXP Ambato

- Análisis en el IXP Santo Domingo

En la Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56 y Tabla 56 se han procesado los datos que se han obtenido mediante la simulación de los miembros del IXP Santo Domingo, en estas se muestran los parámetros más importantes que influyen en el rendimiento de una red como el ancho de banda consumido, Jitter, paquetes perdidos entre otros.

Tabla 54. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP1 del IXP Santo Domingo

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	356	23.5	0.263	10545/45462	23
30	533	35.4	0.346	31435/68230	45
40	711	47.4	0.351	52800/91125	58
50	889	59.3	0.467	34538/52367	66
60	1040	71.2	1.019	134232/136662	98

Tabla 55. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP2 del IXP Santo Domingo

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	356	23.5	0.261	10678/45418	24
30	534	35.3	0.483	17837/39324	45
40	711	47.4	0.564	19072/31999	58
50	889	59.3	0.575	35133/42681	82
60	1040	71.3	0.602	95734/99729	96

Tabla 56. Valores obtenidos mediante simulación en el ISP3 del IXP Santo Domingo

AB (Mbytes/sec)	Transfer (Mbytes)	Bandwidth (Mbytes/sec)	Jitter (ms)	Lost/Total Datagrams	Lost Datagrams (%)
20	360	24	0.264	10700/45011	25
30	530	36	0.483	17400/39401	46
40	710	48	0.556	19100/32000	59
50	890	60	0.581	35200/42687	83
60	1040	72	0.611	9580/98885	97

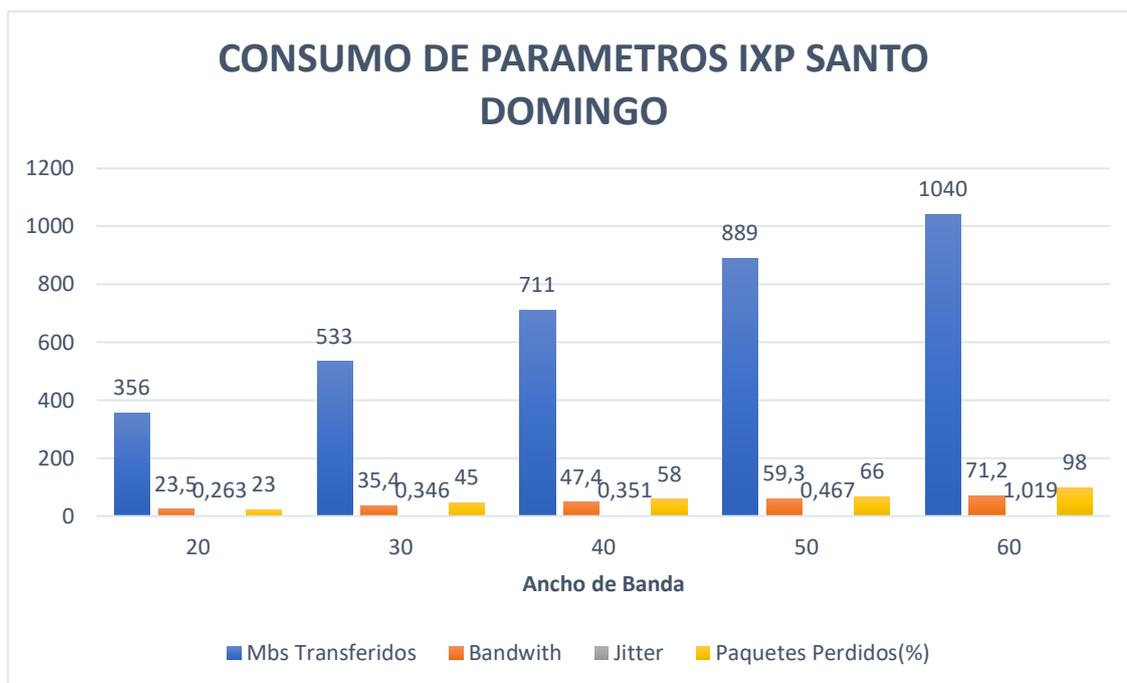


Figura 62. Consumo de Parámetros del IXP Santo Domingo

3.2.12 Análisis de Resultados

Habiendo obtenido los parámetros en la red actual, así como en la red propuesta se realiza un análisis para demostrar la mejoría que se obtiene en cuanto al rendimiento de la red de los dos IXP al conectarse al IXP neutro de Aprosva.

En la Tabla 57 se muestran los resultados obtenidos mediante la simulación para demostrar la mejoría de los parámetros de red al conectarse a un IXP, se evidencia una mejoría en Jitter ya que este disminuye, se aumenta el número de paquetes enviados y se reduce el porcentaje de pérdida de paquetes.

Tabla 57. Resultados del IXP Ambato

Ancho de Banda (Mbytes/s)	Parámetro	Sin Conexión a IXP	Con Conexión a IXP	Mejoría
20	Jitter (ms)	0.234	0.216	0.018
	Paquetes enviados	45410	45418	8
	Porcentaje paquetes perdidos (%)	27	24	3
50	Jitter (ms)	0.846	0.51	0.336
	Paquetes enviados	36889	42681	5792
	Porcentaje paquetes perdidos (%)	73	68	5

Se observa una reducción notable en el parámetro de Jitter que reduce en 0.0185 ms en un ancho de banda de 20 Mbytes, por otra parte, se evidencia una reducción de 0.336 ms a un ancho de banda de 50 Mbytes, demostrando una mejoría en este parámetro influyendo positivamente en el desempeño de la red, otro aspecto importante es el aumento en el número de paquetes enviados demostrando una mayor capacidad de la red, reduciendo el porcentaje de paquetes perdidos

Tabla 58. Resultados del IXP Santo Domingo

Ancho de Banda (Mbytes/s)	Parámetro	Sin Conexión a IXP	Con Conexión a IXP	Mejoría
20	Jitter (ms)	0.389	0.263	0.126
	Paquetes enviados	29270	45462	16192
	Porcentaje paquetes perdidos (%)	29	23	6
50	Jitter(ms)	1.03	0.467	0.563
	Paquetes enviados	12895	52367	39472
	Porcentaje paquetes perdidos (%)	67	66	1

Como resultado de este análisis se observa una reducción notable en el parámetro de Jitter observando que reduce en 0.126 ms en un ancho de banda de 20 Mbytes, por otra parte, se evidencia una reducción de 0.563 ms a un ancho de banda de 50 Mbytes, demostrando una mejoría en este parámetro lo que influye positivamente en el desempeño de la red, otro aspecto importante es el aumento en el número de paquetes enviados lo que demuestra una mayor capacidad de la red, de esta manera se reduce además el porcentaje de paquetes perdidos

3.2.13 Análisis Económico

La existencia de un IXP en el ecosistema de Internet ayuda notablemente en la reducción de los precios que conlleva una conexión a internet tanto para proveedores de servicios, así como para los usuarios finales, al eliminarse los costos de tráfico de datos de transporte a largas distancias a través de proveedores externos, esta reducción se ve reflejada en una mejora en competitividad y rentabilidad de los proveedores que se conectan a un IXP.

Mediante la investigación de campo, a través de entrevistas se obtuvieron los precios que los ISPs pagan por motivo de conexión a través de proveedores internacionales, así como el precio que conlleva la conexión mediante el IXP. En la Tabla 59 se muestran los costos que pagan los ISPs por una conexión tipo Transit a través de proveedores y el costo que tendría la conexión al IXP de Aprosva.

Tabla 59. Precios de conexiones mediante proveedores

Proveedor	Costo mensual (Mb/s)
CNT	4,00
Telconet	1,00
Xtrim	1,00
Tv Cable	1,00
Cirion	1,00
Aprosva	0,17

En la Tabla 60 se muestran las capacidades contratadas por los ISP miembros de los IXP Ambato y Sto. Domingo Respectivamente, además del precio que pagan a los proveedores de IP Transit.

Tabla 60. Capacidades contratadas por los ISPs de Ambato y Sto. Domingo

PROVEEDOR	NOMBRE DEL ISP	CAPACIDAD (Mbps)	Precio a Pagar (\$)
TELCONET	Nettrixfly	980	980,00
	Telecom	2200	2.200,00
CNT			
XTRIM	Nextel	830	830,00
	Megared	830	830,00
	Nettrixfly	830	830,00
	Totalnet	830	830,00
CIRION	Telecom	850	850,00

En la Figura 63 se muestran los precios que se encuentran en la página web oficial de Aprosva los que corresponden a la conexión para realizar Peering con los CDNs que se encuentran disponibles.

Puerto de 10 Gbps	\$ 1.764,00
Puerto de 100 Gbps	\$ 11.760,00

Precios incluidos todos los impuestos.

Figura 63. Precios de interconexión al IXP de Aprosva

En las Ecuaciones 1 y 2 se evidencia el porcentaje de ahorro al usar los servicios del IXP neutro de Aprosva

$$\frac{\$1.00 - \$0.17}{\$1.00} \times 100\% = \frac{\$0.83}{\$1.00} \times 100\% = 83\% \quad (1)$$

$$\frac{\$4.00 - \$0.17}{\$4.00} \times 100\% = \frac{\$3.83}{\$4.00} \times 100\% = 95.75\% \quad (2)$$

3.2.14 Análisis Técnico

En este apartado se ha realizado un análisis de la manera en que los interesados pueden conectarse al IXP de Aprosva, al momento se han presentado dos opciones que son mediante la contratación de un Carrier o mediante infraestructura propia. Teniendo en cuenta que se llama Carrier a una empresa que brinda servicios de transporte e Infraestructura para realizar la conexión al IXP.

Actualmente Aprosva mantiene convenio con el Proveedor Cirion en el cual el costo por transporte y conexión al IXP oscila entre los \$0.45 mensuales, siendo esta la opción más viable y rentable para los IXPs o ISPs pequeños.

Por otra parte, en el caso de que se quiera levantar una infraestructura propia para la interconexión con el IXP se detallan los precios que rondan actualmente en materiales y mano de obra. Un punto importante que se debe tener en consideración es la distancia que se debería cubrir en caso de querer tender fibra óptica. En la Tabla 61 se muestran los precios en los que rondan los materiales y la mano de obra.

Tabla 61. Costos de infraestructura propia.

Descripción	Costo (\$)
Fibra Óptica Adss 6h (carrete de 10 km)	5,000
Herrajes	5,00
Arriendo de postes (precio anual por poste)	7,00
Mano de obra (en caso de hacerlo con contratista)	0,20 x metro

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Mediante la aplicación de encuestas se obtuvo el estado actual de la red de Aprosva, logrando determinar que la misma está compuesta en su mayoría por proveedores de servicios de Internet que presentan inconvenientes tanto en su infraestructura como en el funcionamiento mismo del punto de intercambio ya que al no existir una normativa que rijan la constitución de los IXP no se cumple un estándar a nivel nacional que garantice su funcionamiento.
- Mediante la investigación de campo se determinó que los IXP de Ambato y Sto. Domingo al tener conexiones tipo Transit cursan todo el tráfico a través de Proveedores Internacionales razón por la cual se tiene un mayor número de saltos de red aumentando así la latencia y otros parámetros que pueden afectar de manera negativa a los usuarios de los ISP miembros de estos IXP.
- Mediante la investigación Bibliográfica y la aplicación de entrevistas se establecieron los precios correspondientes a las conexiones mediante proveedores internacionales, así como mediante un IXP evidenciando un ahorro del 83% y el 95.75% al momento de cursar tráfico hacia el IXP, concluyendo así que la existencia de un IXP en el ecosistema de internet trae beneficios económicos para los ISP que se conecten a un punto de Intercambio.
- El levantamiento de una infraestructura adicional para la conexión al IXP de Aprosva conlleva altos gastos debido a las largas distancias entre los nodos razón por la cual se concluye que es mucho más rentable y viable realizar la conexión mediante un Carrier ya que estos tienen su convenio para brindar transporte mediante su propia red y al ser miembros de Aprosva tanto ISPS como Carriers el precio oscila entre los 0.45 ctvs.

4.2 Recomendaciones

- Mediante la investigación de campo se determinó que el IXP de Santo Domingo no cuenta con el direccionamiento necesario para realizar Peering, por ello se recomienda adquirir IPs publicas propias para cada uno de los miembros de este nodo para de esta manera poder usar el protocolo BGP que permite el Peering tanto con el IXP neutro, así como con proveedores internacionales.
- La mayoría de los ISP que conforman la Red de Intercambio de Tráfico de Aprosva comparten su ASN o su vez usan el ASN de Aprosva, es por ello que se recomienda adquirir su ASN propio logrando así una mejor posición competitiva en el mercado ofreciendo servicios diferenciados, un mejor control sobre el enrutamiento, independencia y autonomía en la gestión de su infraestructura de red al no depender de proveedores externos u otras entidades.
- Debido a que los nodos o IXPs están ubicados a largas distancias del IXP neutro sería viable implementar herramientas que ayuden a la gestión y control de los equipos de red de tal manera se recomienda la implementación de Redes Definidas por Software que actúan sobre la capa de control, para ello se podría usar el Software Zerotier que actualmente se encuentra disponible para equipos Mikrotik.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNET SOCIETY, «Puntos de intercambio de tráfico de Internet», oct. 2015. Accedido: 10 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/ISOC-PolicyBrief-IXPs-20151030-es.pdf>
- [2] Raúl Echeberría, «Infraestructura de Internet en América Latina», 2020. Accedido: 10 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fd7acab3-009e-4156-9362-9fd75bea5c4b/content>
- [3] ITU, «Estudio de Interconectividad y Reducción de Costos de Acceso a Internet en los Países de la Comunidad Andina», 2020, Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-EF.ANDINA-2020-PDF-S.pdf
- [4] Castillo Marcos Nicolás, «Proyecto de Implementación de un Punto de Intercambio de Tráfico (IXP)», 2018.
- [5] Néstor José Estrada Padilla, Alina Mercedes Lorío Rojas, y Ulises Andrés Ramírez Santana, «Diseño de Puntos de Intercambio de Internet en entornos virtuales con tecnología Cisco, implementando servicios multimedia.», UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, 2018.
- [6] Z. Andrade y D. Elizabeth, «ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UN IXP PARA LA RED DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ECUATORIANA», Leon, nov. 2020.
- [7] ESTEBAN CARISIMO, «TOMOGRFÍA DE INTERNET: MEDICIÓN DE TRÁFICO Y SU RELACIÓN CON LA TOPOLOGÍA», Buenos Aires, abr. 2020.

- [8] DANNY JOSE MONTERO VASQUEZ, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA RED IXP PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO DE LA EMPRESA SYSNOVELLTEL S.A.», CAÑAR, 2021.
- [9] gamecore, «The Access Tier ISP, considering upstream connectivity Makerere University», 2018, Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://mum.mikrotik.com/presentations/KE18/presentation_5179_1519985122.pdf
- [10] A. Prince y L. Jolías, «Modelos e impactos de los puntos de intercambio de tráfico (IXPs) en América Latina y Caribe».
- [11] UIT, «Consideraciones generales sobre el FMPT», 2013, Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2128103
- [12] Comisión de Regulación de Comunicaciones, «Condiciones de intercambio eficiente de tráfico de Internet», dic. 2015.
- [13] redfibra, «¿Qué es el peering?» Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://redfibra.mx/que-es-el-peering/>
- [14] Hernán Galperin, «La Conectividad en América Latina y el Caribe El Rol de los Puntos de Intercambio de Tráfico», Argentina, 2013.
- [15] AWS, «¿Qué es la latencia de red?» Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/what-is/latency/>
- [16] José María López, «Qué es el jitter y cómo afecta a tu conexión». Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.movistar.es/blog/gaming/jitter-velocidad-conexion-internet/>
- [17] «¿Qué es el jitter? Definición y medidas preventivas». Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/jitter/>

- [18] paessler, «Pérdida de paquetes: cómo averiguar la causa». Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.paessler.com/es/packet_loss_test
- [19] «DISTRIBUCIÓN DE NÚMEROS DE SISTEMA AUTÓNOMO (ASN)». Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.lacnic.net/546/1/lacnic/3-distribucion-de-numeros-de-sistema-autonomo-asn>
- [20] CLOUDFLARE, «¿Qué es un sistema autónomo? | ¿Qué son los ASN? | Cloudflare». Accedido: 11 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/network-layer/what-is-an-autonomous-system/>
- [21] JUNIPER, «Descripción general del BGP | Junos OS | Juniper Networks». Accedido: 16 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.juniper.net/documentation/mx/es/software/junos/bgp/topics/topic-map/bgp-overview.html>
- [22] «Normas Mutuamente Acordadas para la Seguridad del Enrutamiento (MANRS) - Internet Society». Accedido: 21 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/es/learning/manrs/>
- [23] «Normas Mutuamente Acordadas para la Seguridad del Enrutamiento Operadores de Red de Universidades».
- [24] Jimenez Javier, «Simuladores para virtualizar redes y aprender routing y switching». Accedido: 16 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/programas-simular-red/>
- [25] «Comparison of GNS3 vs EVE-NG vs Packet Tracer for Networks Simulation». Accedido: 16 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.networkstraining.com/gns3-vs-eve-ng-vs-cisco-packet-tracer/>

ANEXOS

Anexo A. Configuración tomada de los ISP del IXP Ambato y Sto. Domingo

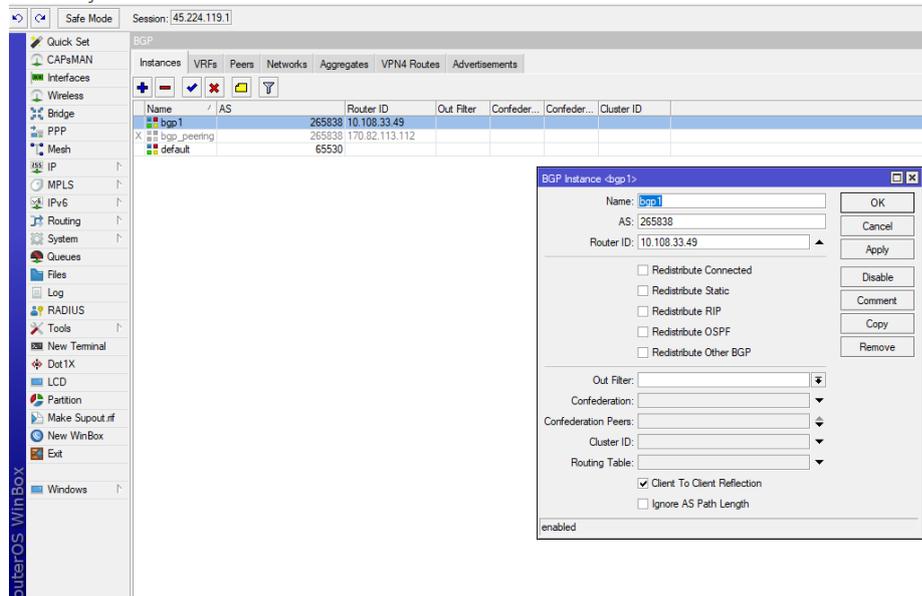


Figura A1. Instancias BGP

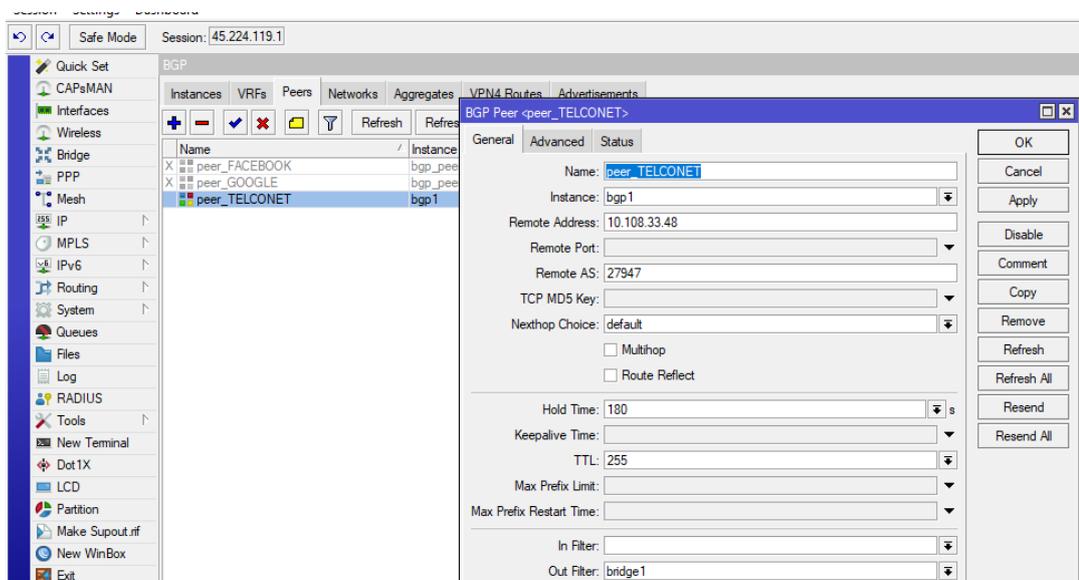


Figura A2. Peer BGP

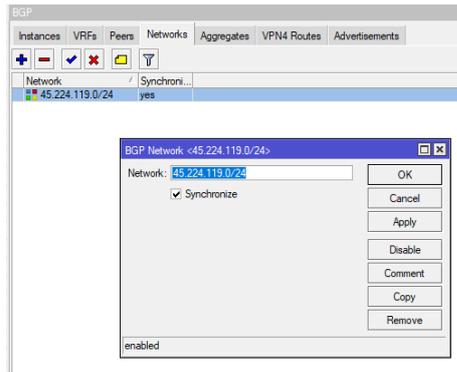


Figura A3. Prefijos anunciados

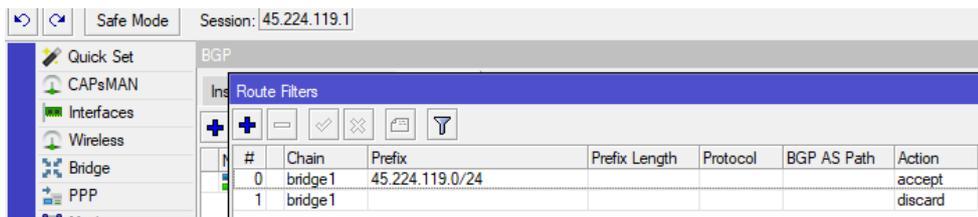


Figura A4. Filtros BGP

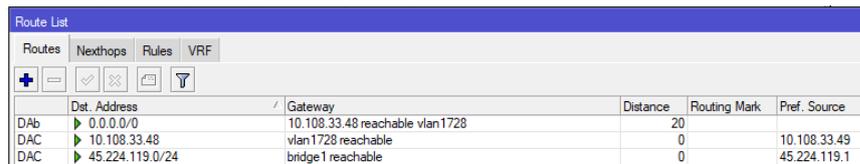


Figura A5. Redes Aprendidas por el Router del ISP

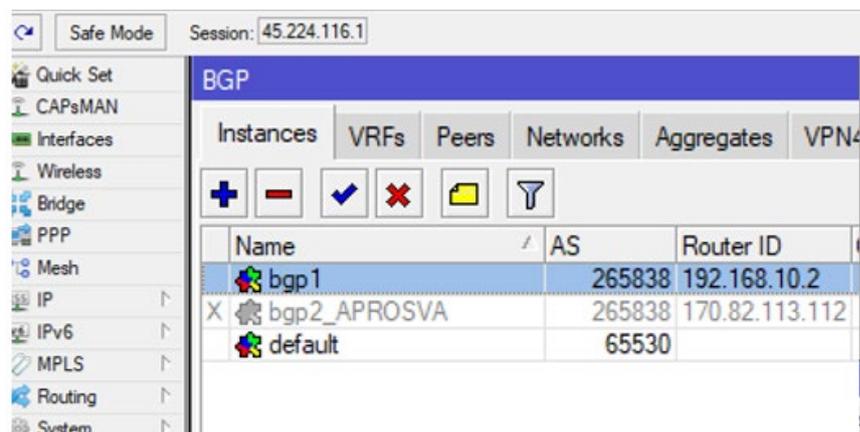


Figura A6. Instancias BGP del ISP Netrix

BGP											
Instances VRFs Peers Networks Aggregates VPN4 Routes Advertisements											
Refresh Refresh All Resend Resend All											
Name	Instance	Remote Address	Remote AS	M...	R...	TTL	Remote ID	Uptime	Prefix Co...	State	
peer1	bgp1	192.168.10.1	265838	no	no	255	192.168.10.1	29d 05:4...	2	established	
X peer2_GOOGLE	bgp2_APRO...	170.82.113.111	265787	no	no	255				idle	
X peer3_FACEBOOK	bgp2_APRO...	170.82.113.112	264836	no	no	255				idle	

Figura A7. Peer BGP del ISP Nettrix

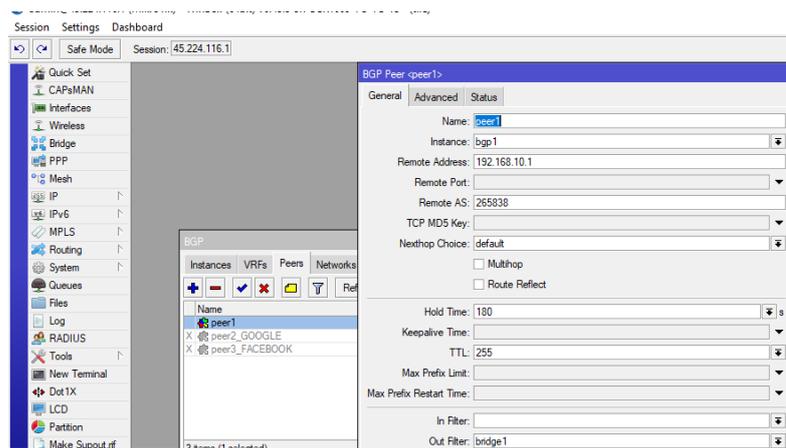


Figura A8. Peer BGP del ISP Nettrix

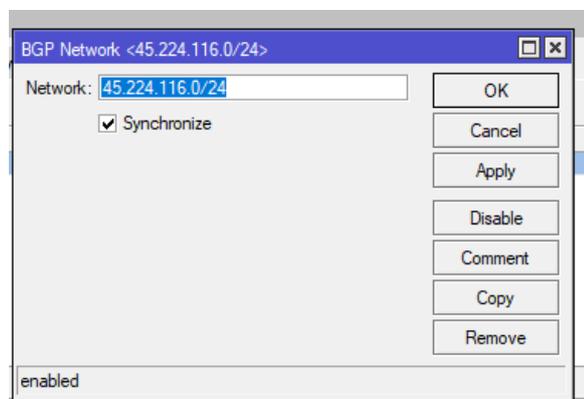


Figura A9. Prefijos Anunciados del ISP Nettrix

Peer	Prefix	Nexthop	AS Path	Origin	Local P...	MED
peer1	45.224.116.0...	192.168.10.2		igp		100

Figura A10. Instancias BGP del ISP Nettrix

	Dist. Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Pref. Source
XS	0.0.0.0/0	186.5.97.33	1		
DAb	0.0.0.0/0	192.168.10.1 reachable WAN_ether6_TELCONET	200		
DAC	45.224.116.0/24	bridge1 reachable	0		45.224.116.1
DAb	186.5.97.32/29	192.168.10.1 reachable WAN_ether6_TELCONET	200		
DAC	192.168.10.0/30	WAN_ether6_TELCONET reachable	0		192.168.10.2

Figura A11. Redes aprendidas por el router de borde de ISP Nettrix

#	Chain	Prefix	Prefix Length	Protocol	BGP AS Path	Action
0	bridge1	45.224.116.0/24				accept
1	bridge1					discard

Figura A12. Instancias BGP del ISP Nettrix

Teleco 2 117.0/24

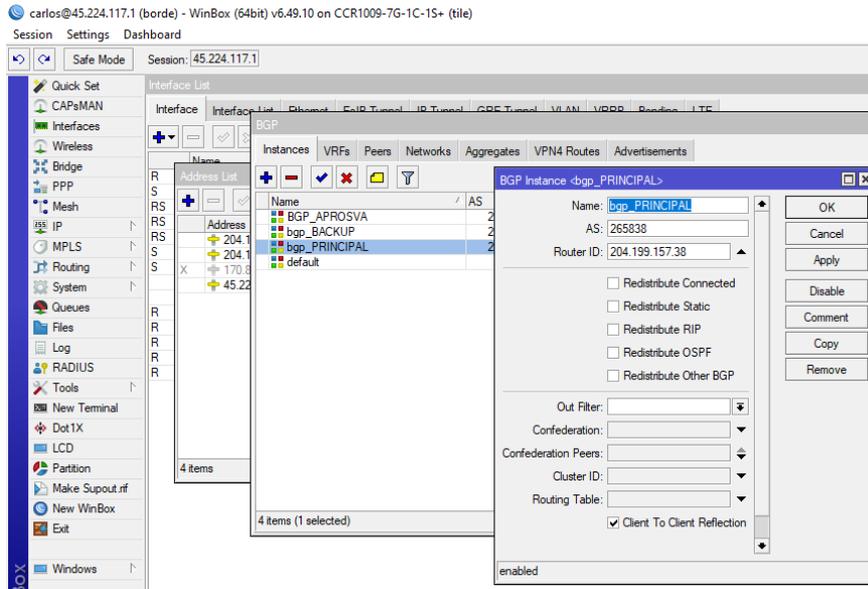


Figura A13. Instancias BGP del ISP Telecom2

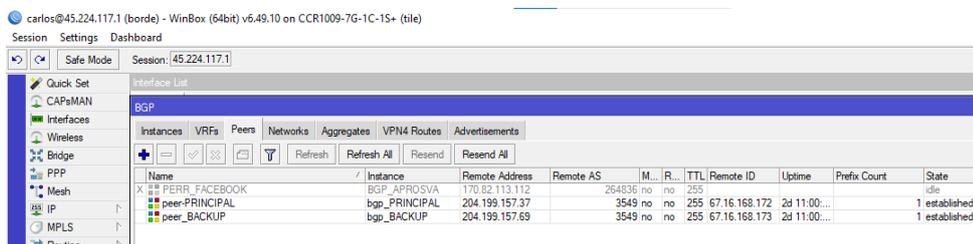


Figura A14. Peers BGP del ISP Telecom2

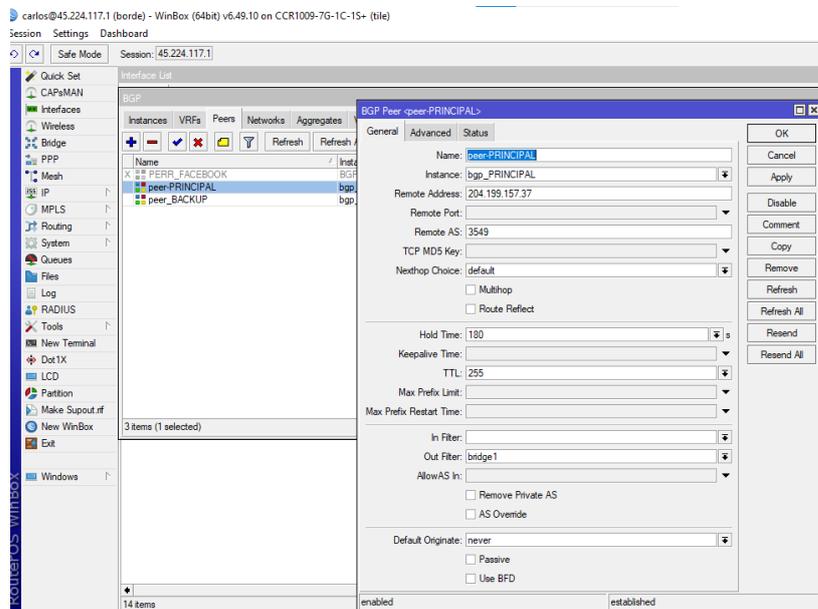


Figura A15. Instancias BGP del ISP Nettrix

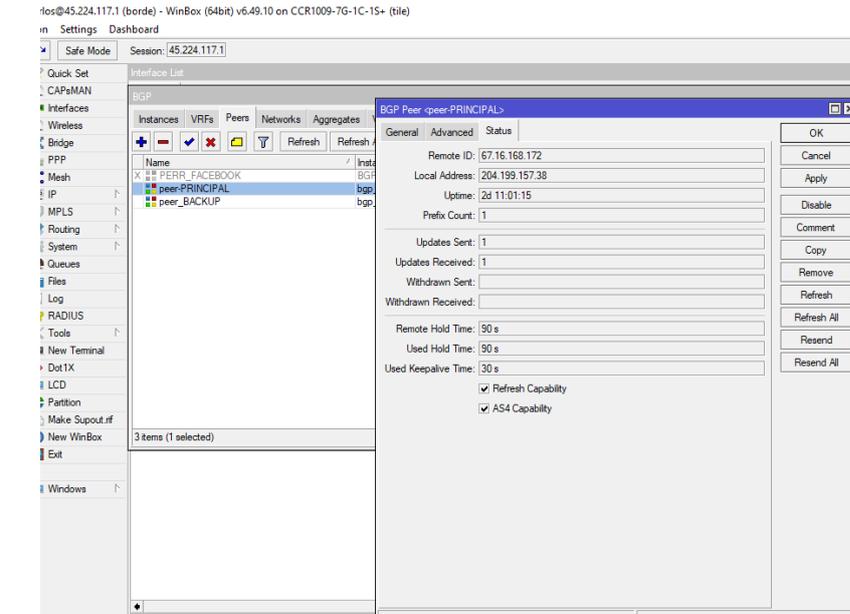


Figura A16. Peer BGP del ISP Telecom2

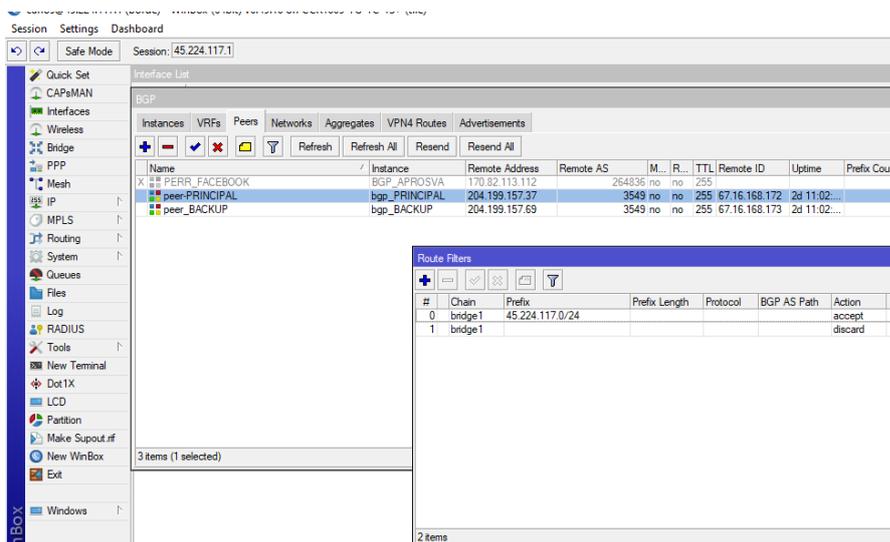


Figura A17. Filtros BGP

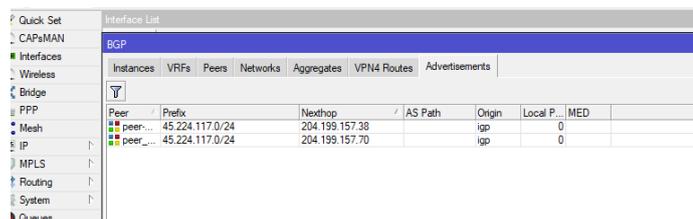


Figura A18. Prefijos anunciados por el ISP al proveedor

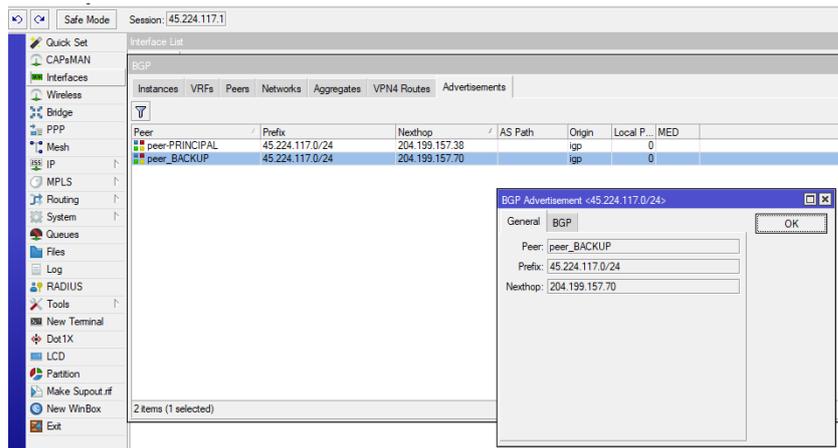


Figura A19. Instancias BGP del ISP Nettrix

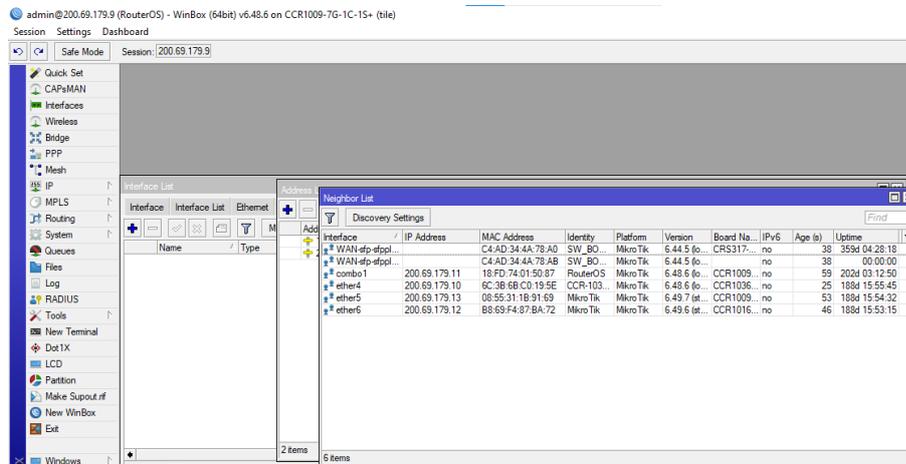


Figura A20. Redes del ISP Santo Domingo

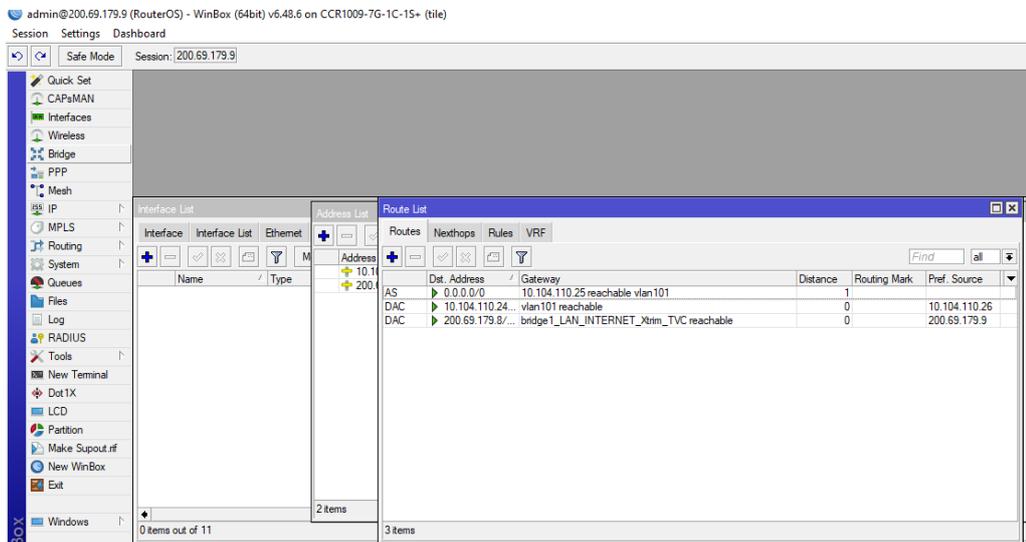


Figura A6. Configuración ISP Santo Domingo

Anexo B. Formulario de levantamiento de Información



FORMULARIOS DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACION IXP_s
APROVA

1. DESCRIPCION DEL IXP

1.1 Ubicación y representación legal del IXP

FECHA DE VISITA	
NOMBRE DEL IXP	
UBICACIÓN GEOGRAFICA IXP	LATITUD:
	LONGITUD:
DIRECCION IXP	
REPRESENTANTE LEGAL IXP	
CONTACTOS TELEFÓNICOS	
FECHA DE CREACION DEL IXP	

1.2 Socios e inversionistas del IXP

Nº	PERSONA (Natural o Jurídica)	NOMBRE	PERSONA QUE LO REPRESENTA	POSEE TITULO HABILITANT E (SI/NO)	SOCIO ACTIVO O INACTIVO

1.3 Usuarios del IXP

Nº	PERSONA (Natural/Jurídica)	NOMBRE	TITULO HABILITANTE (SI/NO)	PERSONA QUE LO REPRESENTA



Asociación de Proveedores de Servicio de Valor Agregado

2. FORMULARIO ASPECTO LEGAL

2.1 Tipo de constitución (seleccione una respuesta):

CONSORCIO PRIVADO O SOCIEDAD PRIVADA		CONSORCIO PRIVADO CON EL AUSPICIO DE APROSVA	
IXP GESTIONADO POR APROSVA		OTRO:	

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

.....

.....

2.2 ¿El IXP tiene reglamento de funcionamiento?

	SI			NO	
--	----	--	--	----	--

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

.....

.....

2.3 ¿El IXP posee permisos de funcionamiento?

MUNICIPALES	SI		NO		NO APLICA	
ARCOTEL	SI		NO		NO APLICA	

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

.....

.....

2.4 ¿El IXP cuenta con el servicio de alguna aseguradora?

CAPACIDAD-INTERNET		SI		NO	
INFRAESTRUCTURA					

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

.....

.....

3. FORMULARIO ASPECTO TECNICO

3.1 ¿Qué tipo de conexiones tiene el IXP?

TRANSIT		PEERING	
---------	--	---------	--

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.2 ¿Qué capacidades de tránsito poseen los socios? (Respuesta opcional)

PROVEEDOR	NOMBRE DEL ISP	CAPACIDAD (Mbps)
TELCONET		
CNT		
XTRIM		
CIRION		
UFINET		
EQUINIX		
FIBRAMAX		
CAPACIDAD TOTAL		

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.3 ¿Qué capacidad de PEERING posee cada socio?

PROVEEDOR	DESTINO	TRAFICO CURSADO	TRAFICO RECIBIDO	CAPACIDAD
TELCONET				
CNT				
XTRIM				
CIRION				
UFINET				
EQUINIX				
FIBRAMAX				
CAPACIDAD TOTAL				

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.4 ¿Qué tipos de seguridades físicas posee el IXP?

DESCRIPCION	SI	NO	TIPO
CLAVES DE ACCESO			
CAMARAS DE SEGURIDAD			
ALARMA DE SEGURIDAD			
ALARMA CONTRA INCENDIOS			
ILUMINACION NOCTURNA			
SEGURIDAD PRIVADA O GUARDIANIA			
OTRAS			

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.5 ¿Qué tipos de seguridades lógicas posee el IXP?

DESCRIPCION	SI	NO	TIPO
Algún IDS o IPS			
Sistema de validación RKPI			
Firewall en los equipos			
OTROS:			

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.6 ¿Qué TIPO DE IXP se implementó?

CAPA 2	CAPA 2 + ROUTER SERVER	CAPA 3

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.7 ¿Sabe si el IXP cuenta con una plataforma centralizada de gestión?

SI	NO

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.8 Respecto a un sistema de ruteo con un Router Server

TIENE CONOCIMIENTO SI APROSVA POSEE UN ROUTER SERVER	SI	NO
CONOCE SOBRE LA FUNCIONALIDAD DEL ROUTER SERVER	SI	NO
CONOCE SI SU IXP ESTA CONECTADO AL MISMO	SI	NO

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.9 ¿Tiene conocimiento donde esta localizado el router server de APROSVA que se conectan con los IXPs?

SI	NO

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.10 Respecto a la localización del Router server, su ayuda seleccionando una de las siguientes opciones para su ubicación. Seleccione la prioridad del 1 al 4, siendo el numero 1 mayor prioridad y el 4 menor prioridad.

En un IXP privado de mayor número de socios de APROSVA	
En un IXP de menor número de socios	
Un sitio neutro auspiciado por APROSVA, diferente a los actuales IXP al cual se conecten todos los IXP	
En un IXP gestionado por APROSVA	

JUSTIFIQUE SU ELECCION:

3.11 En el sentido de mejorar la Seguridad y Estabilidad de Internet en el IXP. ¿Conoce Usted sobre las Normas Mutuamente Acordadas para la Seguridad del Enrutamiento (MARNs)?.

SI		NO	
----	--	----	--

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.12 ¿Usted tiene conocimiento si APROSVA forma parte o no de las Normas Mutuamente Acordadas para la Seguridad del Enrutamiento (MARNs)?

SI		NO	
----	--	----	--

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.13 ¿Le interesaría capacitarse para obtener una certificación de las Normas Mutuamente Acordadas para la Seguridad del Enrutamiento (MANRS)?

SI		NO	
----	--	----	--

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):



Asociación de Proveedores de Servicio de Valor Agregado

3.14 ¿Sabe si APROSVA ha capacitado a sus integrantes/socios/usuarios mediante un proceso de transferencia de conocimientos para que los IXP puedan seguir operando sin acompañamiento de APROSVA u otras entidades?

SI	NO
----	----

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

.....

.....

3.15 Que opina sobre promover la cultura de responsabilidad colectiva para la resiliencia y seguridad del sistema de ruteo global de Internet, y demostrar la capacidad de la industria para resolver esos problemas.

.....

.....

3.16 ¿Sabe si como parte del proceso de implementación de los IXP se tienen servicios de valor agregado de LACNIC como colector de rutas BGP y DNS Anycast de los servidores reversos?

SI	NO
----	----

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

.....

.....

3.17 En relación a los ACTIVOS TANGIBLES, por favor complete la siguiente información (SI EXISTE AUSPICIO DE APROSVA)

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	ESTADO	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSVA o IXP Privado)

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

.....

.....

Asistente Técnico: Kevin Guevara

responsable Técnico: Ing. Carlos Cando

3.18 En relación a los ACTIVOS INTANGIBLES, por favor complete la siguiente información.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	ESTADO	CARACTERISTICAS	PROPIETARIO (APROSVa o IXP Privado)

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

3.19 En relación a los PROTOCOLOS IMPLEMENTADOS, por favor complete la siguiente información.

PROTOCOLO	CARACTERISTICA	NIVEL DE CONOCIMIENTO (Básico, Intermedio, Avanzado)

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

4. FOMULARIO DE ASPECTO ECONOMICO

4.1 Completar, si el IXP es auspiciado por APROSVA o cuenta con participación de APROSVA en algún nivel especificar en observaciones

DESCRIPCION	AÑO 2021	AÑO 2022
GASTOS OPERACIONALES		
GASTOS NO OPERACIONALES		
INGRESOS OPERACIONALES		
INGRESOS NO OPERACIONALES		
INVERSIONES ULTIMOS 5 AÑOS		
COSTOS POR PEERING O PUERTO		

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

DESCRIPCION	2018	2019	2020	2021	2022
INVERSION ULTIMOS 5 AÑOS					

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

DESCRIPCION	2018	2019	2020	2021	2022
COSTOS POR PEERING					
COSTOS POR PUERTO					

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

5. OBSERVACIONES FINALES

5.1 ¿Considera participar en este tipo de iniciativas desarrolladas por APROSVA?

SI	NO
----	----

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

5.2 ¿Le interesaría incrementar el uso del IXP?

SI	NO
----	----

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

5.3 ¿Le interesaría que nuevos actores-socios/no socios-de APROSVA puedan hacer uso del IXP?

SI	NO
----	----

OBSERVACIONES (Describir los detalles que considere relevantes):

5.4 ¿Qué tipo de capacitaciones considera necesario que debería brindarse para mejorar el funcionamiento del IXP?

Ing. Carlos Cando
Presidente Comisión IXP

Representante Legal
IXP