UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y DISEÑO DIGITAL
CARRERA DE TELEMÁTICA

Trabajo de Integración Curricular
previa la obtención del Grado
Académico de Ingeniero en Telemática.

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
"COMPORTAMIENTO DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTOS DINÁMICO CON PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN AMBIENTES CONTROLADOS"

AUTOR:
FABRE VERA JOSÉ DANIEL

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

ING. ZHUMA MERA EMILIO RODRIGO, MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR
2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, FABRE VERA JOSÉ DANIEL, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

FABRE VERA JOSÉ DANIEL

1207303114

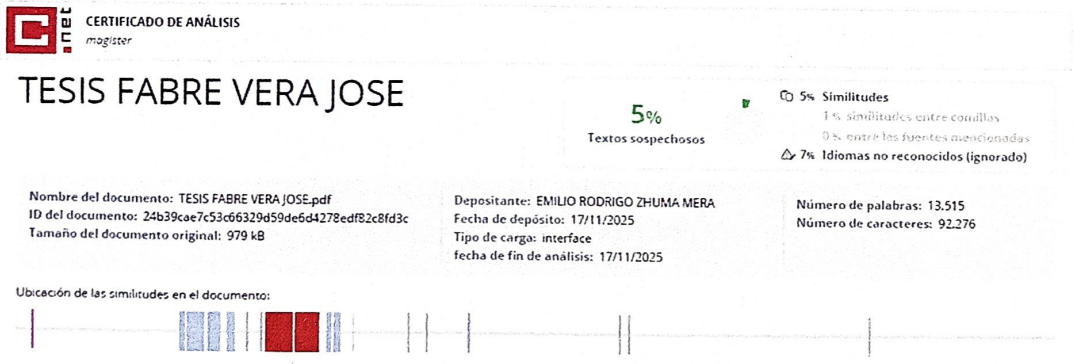
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing Zhuma Mera Emilio Rodrigo, MSc, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Fabre Vera José Daniel, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado "COMPORTAMIENTO DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTOS DINÁMICO CON PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN AMBIENTES CONTROLADOS.", previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Zhuma Mera Emilio Rodrigo, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, Ing Zhuma Mera Emilio Rodrigo MSc. mediante el presente cumplo en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación titulado "COMPORTAMIENTO DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTOS DINÁMICO CON PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN AMBIENTES CONTROLADOS." Presentado por el estudiante Fabre Vera José Daniel, egresado de la Carrera de Telemática, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Computación y Diseño Digital, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis del sistema COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 95% y similitud 5%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.


CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS FABRE VERA JOSE

5%
Textos sospechosos

5% Similitudes
1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
7% Idiomas no reconocidos (ignorado)

Nombre del documento: TESIS FABRE VERA JOSE.pdf
ID del documento: 24b39cae7c53c66329d59de6d4278edf82c8fd3c
Tamaño del documento original: 979 kB

Depositante: EMILIO RODRIGO ZHUMA MERA
Fecha de depósito: 17/11/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 17/11/2025

Número de palabras: 13.515
Número de caracteres: 92.276

Ubicación de las similitudes en el documento:

ING. ZHUMA MERA EMILIO RODRIGO MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y DISEÑO DIGITAL
CARRERA DE TELEMÁTICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO:
"COMPORTAMIENTO DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTOS DINÁMICO CON PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN AMBIENTES CONTROLADOS"

Presentado al Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Computación y Diseño Digital, como requisito previo a la obtención del título de ingeniero en telemática

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
Ing. Benítez Navarrete Paola Maribel, MSc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Moran Cabezas Anthony Limber, MSc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Tubay Vergara José Luis, MSc

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por darme salud, vida y las fuerzas necesarias para cumplir con este proyecto, por ser mi guía en cada día de oscuridad y estar para mí cuando más necesité de él. A mi director de tesis Ing. Zhuma Mera Emilio Rodrigo MSc, por su entrega y dedicación, pero sobre todo por su paciencia y su responsabilidad al momento de asumir este gran desafío, que Dios lo acompañe en cada uno de sus proyectos y sea su guía en su vida profesional.

Les agradezco a mis amigos, Anthony Domínguez, Kenneth Rodríguez, Adonis Gurumendi, Kevin Zambrano, Kimberly Mendoza, Sumoy Alvarado, Alexander Maigua, Nayla Vargas, Jarmy Real, Tayron Basante, Adiel Zavala, Guillermo Romero, Dayanna Castro, Miyako Morales, Nilo Medina, Christian Guerrero, Stefanny Lopéz, Génesis Triviño por brindarme su amistad y su ayuda dentro y fuera del ámbito académico, mil gracias.

Le agradezco a los docentes de mi tribunal, gracias por sus recomendaciones y brindarme su conocimiento. Agradezco a los docentes que a lo largo de esta carrera compartieron sus conocimientos y contribuyeron en mi formación profesional.

Y sobre todo le agradezco a mi familia por su apoyo incondicional dentro de lo académico y por los consejos de vida que me llevaron a donde estoy ahora mismo, muchas gracias. En especial a mi mamá Karina Roció Vera Fernández, que, aunque muchas veces no estemos de acuerdo en todo nunca me deja de apoyar, muchas gracias mamá.

José Daniel Fabre Vera

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Karina Rocío Vera Fernández, que hizo todo lo posible, trabajando sin descanso para que pudiera completar mi formación universitaria, su sacrificio ahora rindió frutos mamá muchas gracias. A mi abuelo, Nicolás Vera, que siempre me alentó todos los días a levantarme, tener siempre el desayuno en la mesa y que no me falte nada. Agradezco que hayan sido mi impulso y mi brújula para convertirme en una buena persona, mil gracias. A mis hermanos, Jaime y Doménica por su amor y apoyo constante y por alentarme a seguir adelante.

Lo dedico también a mis abuelas allá en el cielo, espero hacerlas sentir orgullosas allá en el cielo quienes me motivaron a que estudiara y por quienes soy el hombre que soy, esto es para ustedes Josefa Nicola, Germania Fernández, así como a mi tía y tío, Mabel Fabre y Nahim Fabre gracias por siempre apoyarme y quererme como un hijo, estar siempre para mí y mis hermanos y ser los ejemplos a seguir para mí.

Dayanna Castro, gracias por todo este tiempo vivido y espero verte recibir tu diploma también. Recuerda que, aunque haya días malos, siempre vendrán días mejores, nunca dudes de ti mismo y siempre mantén la frente en alto.

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación evalúa el impacto de la implementación de Calidad de Servicio (QoS) en el rendimiento de los protocolos de enrutamiento dinámico EIGRP y OSPF en un entorno controlado con equipos Cisco. Se diseñaron escenarios comparativos con y sin políticas QoS (modelo DiffServ), midiendo métricas clave como latencia, pérdida de paquetes, ancho de banda, jitter. Los resultados demostraron que QoS mejora significativamente la estabilidad del tráfico, reduce la pérdida de paquetes y optimiza el uso del ancho de banda, especialmente en EIGRP. No obstante, en OSPF se observó un incremento en el jitter, asociado a la sobrecarga de procesamiento en hardware físico. El estudio concluye que la implementación de QoS es crucial para redes de comunicaciones con tráfico sensible al retardo, pero requiere una planificación cuidadosa para evitar efectos adversos en determinadas métricas.

PALABRAS CLAVE: QoS, EIGRP, OSPF, enrutamiento dinámico, DiffServ, jitter, pérdida de paquetes.

ABSTRACT AND KEYWORDS.

This research evaluates the impact of Quality of Service (QoS) implementation on the performance of dynamic routing protocols EIGRP and OSPF in a controlled Cisco hardware environment. Comparative scenarios with and without QoS policies (DiffServ model) were designed, measuring key metrics such, packet loss, bandwidth, jitter. Results showed that QoS significantly improves traffic stability, reduces packet loss, and optimizes bandwidth usage, particularly in EIGRP. However, an increase in jitter was observed in OSPF, attributed to processing overhead on physical devices. The study concludes that QoS implementation is essential for enterprise networks with delay-sensitive traffic but requires careful planning to avoid adverse effects on specific metrics.

KEYWORDS: QoS, EIGRP, OSPF, dynamic routing, DiffServ, jitter, packet loss.

TABLA DE CONTENIDO.

Índice de figuras

Índice de tablas

Índice de Anexos

CÓDIGO DUBLIN

Título:	**COMPORTAMIENTO DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTOS DINÁMICO CON PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN AMBIENTES CONTROLADOS**			
Autor:	Jose Daniel Fabre Vera			
Palabras claves:	Enrutamiento	OSPF	EIGRP	Jitter
Fecha de publicación:	**2025**			
Editorial:	Quevedo- UTEQ, 2025			
Resumen:	Esta investigación evaluó el impacto de la implementación de Calidad de Servicio (QoS) mediante el modelo DiffServ en el rendimiento de los protocolos de enrutamiento EIGRP y OSPF en un entorno Cisco, demostrando que QoS mejora significativamente la estabilidad del tráfico, reduce la pérdida de paquetes y optimiza el ancho de banda, destacándose las mejoras en EIGRP; sin embargo, en OSPF se observó un incremento en el jitter atribuido a la sobrecarga de procesamiento del hardware físico, concluyendo que QoS es crucial para el tráfico sensible al retardo, pero requiere una planificación cuidadosa para evitar efectos adversos.			
Abstract:	This research evaluated the impact of implementing Quality of Service (QoS) using the DiffServ model on the performance of the EIGRP and OSPF routing protocols in a Cisco environment, demonstrating that QoS significantly improves traffic stability, reduces packet loss, and optimizes bandwidth, with improvements being notable in EIGRP; however, an increase in jitter was observed in OSPF, attributed to the processing overhead on the physical hardware, concluding that QoS is crucial for delay-sensitive traffic but requires careful planning to avoid adverse effects.			
Descripción:	87 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162			
URI:				

INTRODUCCIÓN

En el tiempo presente, la transformación digital y la disponibilidad de servicios en internet han aumentado de manera exponencial la demanda por redes más estables, eficientes y flexibles. De acuerdo con el estudio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el tráfico de datos móviles superará los 607 exabytes todos los meses en 2025, y será sostenido, sobre todo, por aplicaciones de videoconferencias, servicios en la nube, streaming y por dispositivos conectados a través de IoT [1].

Este crecimiento exponencial está sometiendo las infraestructuras de red a una presión excesiva y, por otro lado, está limitando su capacidad de respuesta. Sin una gestión del tráfico apropiada, estas no pueden cumplir con la necesidad de mantener el equilibrio entre el rendimiento esperado y la prestación de alta demanda. Así, para las redes de comunicaciones, donde la calidad del rendimiento es crucial para la productividad, la seguridad y la continuidad, la gestión eficiente del tráfico se vuelve una cuestión de gran importancia.

La calidad de servicio (QoS) surge como una solución fundamental, se puede priorizar la transmisión de tiempo real de VoIP, videoconferencias o servicios en la nube para garantizar baja latencia y pérdida de paquetes y el uso óptimo del ancho de banda [2].

Los protocolos de enrutamiento dinámico más utilizados en redes internas, como OSPF (Open Shortest Path First) y EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), no cuentan con mecanismos nativos de QoS, lo que limita su desempeño en entornos con tráfico exigente [2]. Estas limitaciones se traducen en congestión en enlaces críticos, aumento del retardo y un uso subóptimo de los recursos disponibles, afectando directamente la experiencia del usuario y el rendimiento de las aplicaciones críticas.

Resulta indispensable analizar el impacto de la implementación de políticas de QoS en entornos que utilizan estos protocolos. A través de una implementación física en un ambiente controlado (laboratorio de redes de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el tercer piso del edificio de TIC),cp este estudio evaluará cómo la aplicación de técnicas como la priorización de tráfico, clasificación de paquetes y control de congestión puede mejorar métricas clave como la latencia, la pérdida de paquetes, el uso del ancho de banda.

El Capítulo I expone la contextualización del problema de investigación, en el que se describe el panorama actual de las redes de comunicaciones y el valor de asegurar la calidad del servicio en entornos con alta demanda. El problema principal que impulsa este análisis se expone de manera precisa, indicando cómo la no integración entre los mecanismos de QoS y los protocolos de enrutamiento dinámico da lugar a restricciones técnicas significativas.

También, se presenta un diagnóstico que explica la situación actual y un pronóstico de lo que podría suceder si no se ponen en marcha soluciones. Se establecen los objetivos generales y específicos que orientan todo el proceso de investigación. Además, se elaboran preguntas de investigación que guían la búsqueda de respuestas específicas y una justificación que destaca la importancia técnica.

El Capítulo II está dedicado a la fundamentación teórica, donde se definen con precisión los conceptos clave relacionados con el enrutamiento, los dispositivos de red, los modelos de QoS (DiffServ y Best Effort), así como el funcionamiento específico de los protocolos OSPF y EIGRP. Además, se exploran las terminologías técnicas requeridas para entender cómo funcionan estos protocolos en situaciones reales. Asimismo, se lleva a cabo un examen de estudios anteriores, tanto nacionales como internacionales, los cuales posibilitaron descubrir métricas fundamentales. Estas referencias fueron la base tanto para el diseño del experimento como para entender los resultados obtenidos posteriormente.

La metodología de la investigación se explica a fondo en el Capítulo III, detallando el tipo de enfoque que se empleó (cuantitativo, descriptivo, bibliográfico y experimental) y señalando las justificaciones por las que fueron elegidos. Se hace una demostración aquí del diseño cuasiexperimental que se ha llevado a cabo en un laboratorio físico. Para analizar el comportamiento de las redes con y sin políticas de QoS, se emplearon en routers Cisco auténticos.

Se describen las etapas de desarrollo del experimento: desde la revisión bibliográfica inicial, el diseño de los escenarios y la realización de las pruebas, hasta el análisis e interpretación de los resultados. Se determinan las variables analizadas (latencia, pérdida de paquetes, ancho de banda y tiempo de convergencia), las herramientas utilizadas y las fuentes de información primaria y secundaria empleadas.

El Capítulo IV presenta los resultados, demostrando con tablas y gráficos el impacto positivo de implementar QoS. Al aplicar estas políticas, la latencia disminuye, el ancho de banda se optimiza y la convergencia mejora, hallazgos que son coherentes con estudios previos y aportan evidencia empírica válida. Mediante tablas comparativas y gráficos estadísticos, se demuestra de forma clara que la implementación de QoS tiene un impacto positivo en el rendimiento de redes de comunicaciones. Además, se contrastan estos resultados con los estudios revisados en el capítulo teórico, reafirmando que los hallazgos del presente estudio son coherentes con investigaciones previas.

Finalmente, el Capítulo V expone las conclusiones y recomendaciones de la investigación. Este apartado cierra el estudio sintetizando los hallazgos clave derivados del análisis comparativo. Se da respuesta formal a los objetivos planteados, determinando cómo la implementación de QoS impacta la eficiencia de EIGRP y OSPF. Se destacan conclusiones específicas, como la estabilización del flujo en EIGRP y el inesperado incremento del jitter en OSPF bajo QoS. A partir de estos resultados, se emiten recomendaciones técnicas para la implementación proactiva del modelo DiffServ en redes operativas, enfatizando la importancia de validar las políticas en entornos controlados y la necesidad de monitorear el balance de todas las métricas.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del problema

Las redes corporativas, en el contexto actual de las telecomunicaciones, afrontan una presión permanente para brindar servicios con alta disponibilidad y estabilidad, así como para soportar aplicaciones fundamentales como la telefonía por Internet (VoIP), los servicios en la nube o las videoconferencias. Sin embargo, los protocolos de enrutamiento dinámico más comunes (OSPF y EIGRP) tienen restricciones técnicas que afectan este propósito, puesto que fueron creados bajo estándares tradicionales que no incluyen naturalmente la implementación de QoS [3] .

En estos protocolos, la falta de mecanismos internos de QoS dificulta una gestión eficaz del tráfico, sobre todo en situaciones de congestión o picos de demanda. La falta de competencia técnica se traduce en un alto índice de latencia, pérdida de paquetes, escasa resiliencia frente a errores y un uso del ancho de banda que no es eficiente. Estos elementos impactan directamente la experiencia del usuario final y el desempeño de los servicios digitales que requieren una transmisión estable y fluida [2].

A medida que el tráfico global de datos continúa en aumento “con proyecciones que indican un alcance de 607 exabytes mensuales en 2025, según la UIT” [1], la necesidad de gestionar adecuadamente los recursos de red se vuelve urgente. En redes sin políticas de QoS, la incapacidad de priorizar tráfico crítico genera cuellos de botella en los enlaces más utilizados, disminuyendo la calidad del servicio ofrecido y generando una degradación notable en las aplicaciones sensibles al retardo.

Además, la falta de estudios comparativos entre entornos con y sin QoS limita la comprensión técnica sobre los beneficios reales de estas políticas en redes dinámicas. Esta carencia impide a los administradores de red tomar decisiones informadas para optimizar la infraestructura, perpetuando problemas de rendimiento y reduciendo la competitividad de las organizaciones en un entorno tecnológico cada vez más exigente.

Por lo tanto, es esencial llevar a cabo un análisis sistemático que examine el modo en que la implementación de QoS afecta la conducta de los protocolos de enrutamiento OSPF y EIGRP, ofreciendo pruebas técnicas para corroborar mejoras específicas en cuanto a eficiencia, estabilidad y calidad del servicio.

Diagnóstico

El análisis de redes estas redes modernas revelan que los protocolos de enrutamiento dinámico más difundidos, como OSPF y EIGRP, no incorporan mecanismos nativos de QoS, lo que genera limitaciones significativas en escenarios donde el tráfico es intenso o altamente variable. Estudios técnicos han demostrado que, en redes donde no se aplican políticas de QoS, los niveles de latencia tienden a incrementarse notablemente, así como la pérdida de paquetes y los tiempos de convergencia ante cambios topológicos [2][4]

En OSPF, por ejemplo, la métrica que se usa para escoger rutas se fundamenta sobre todo en el costo del enlace (ancho de banda), sin tener en cuenta si el tráfico tiene prioridad o si está congestionado. EIGRP, por su parte, no tiene en su configuración predeterminada ni capacidad de priorizar el tráfico ni de clasificar paquetes, aunque sí tiene una métrica compuesta más avanzada. Esto tiene un impacto particular en las aplicaciones que son sensibles al retraso, como los servicios de video o voz en tiempo real, cuya calidad se deteriora cuando la red es inestable [2].

En consecuencia, la falta de integración entre enrutamiento dinámico y políticas de QoS representa un obstáculo técnico significativo para garantizar un desempeño robusto, especialmente en organizaciones que dependen de entornos virtualizados, servicios en la nube o conectividad simultánea de múltiples dispositivos.

Pronóstico

De mantenerse estas redes operando bajo esquemas de enrutamiento dinámico sin implementación de QoS, es previsible un incremento en los problemas de congestión, retardo en la entrega de paquetes, deterioro de la experiencia del usuario final y fallas en la prestación de servicios sensibles al tiempo. Este escenario afectará directamente la eficiencia operativa de las organizaciones, aumentando la probabilidad de interrupciones en aplicaciones críticas y reduciendo la productividad global de los sistemas de información [1].

No obstante, la configuración de políticas de tráfico priorizado mediante QoS como clasificación de paquetes, control de congestión y asignación de recursos por tipo de tráfico pueden mitigar estos problemas y mejorar sustancialmente el rendimiento de la red. Los estudios en ambientes controlados han demostrado que el uso de QoS permite reducir la latencia,

optimizar el uso del ancho de banda y estabilizar el tiempo de convergencia en protocolos como OSPF y EIGRP. Por tanto, el diseño de estrategias integradas entre enrutamiento y QoS se posiciona como una solución necesaria para alcanzar redes más resilientes, eficientes y preparadas para las demandas del entorno digital contemporáneo.

1.1.2 Formulación del problema

¿Cómo influye la implementación de calidad de servicio al rendimiento de los protocolos OSPF y EIGRP en términos de latencia, pérdida de paquetes, uso del ancho de banda y tiempo de convergencia en redes de comunicaciones?

1.1.3 Sistematización del problema

¿Cuáles son las métricas de rendimiento clave que permiten evaluar el comportamiento de OSPF y EIGRP en redes simuladas?

¿Cómo varía el rendimiento de OSPF y EIGRP en función de la presencia o ausencia de políticas de calidad de servicio?

¿Qué diferencias en la eficiencia de OSPF y EIGRP pueden observarse al comparar redes con y sin calidad de servicio?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar el impacto de la Calidad de Servicio en el rendimiento de los protocolos de enrutamiento dinámico en ambientes controlados, garantizando la entrega eficiente de tráfico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las métricas de rendimiento clave del comportamiento de los protocolos de enrutamiento dinámico mediante un estudio bibliográfico.
- Diseñar escenarios de red para el análisis del rendimiento de protocolos de enrutamiento dinámico, con políticas de calidad de servicio.
- Comparar los resultados obtenidos con políticas de calidad de servicio, definiendo su impacto en la eficiencia de protocolos de enrutamiento dinámico.

1.3 Justificación

Dado el aumento de la demanda de aplicaciones que necesitan un rendimiento óptimo, como los servicios en la nube, las videoconferencias y la transmisión en tiempo real, el estudio del efecto de QoS sobre redes que emplean OSPF y EIGRP es esencial. La ausencia de mecanismos nativos de QoS en estos protocolos puede impactar la eficacia del tráfico de red, lo que podría dar lugar a inconvenientes como la congestión, la latencia y la pérdida de paquetes. Este análisis tiene como objetivo examinar la manera en que la puesta en marcha de políticas de QoS puede facilitar una mejor gestión del tráfico y optimizar el desempeño de las redes de comunicaciones, al ofrecer soluciones prácticas para incrementar la eficacia y estabilidad de las comunicaciones. Desde una perspectiva personal, la elección de este tema surge del interés por comprender a fondo el comportamiento de los protocolos de enrutamiento en escenarios reales y cómo su optimización puede contribuir a mejorar la infraestructura de red.

La necesidad de garantizar un tráfico eficiente y estable en redes de comunicaciones es un desafío clave en el campo de las telecomunicaciones, y este estudio representa una oportunidad para aplicar conocimientos técnicos en la solución de problemas reales. Además, la investigación permitirá desarrollar habilidades en la simulación y análisis de redes, lo que resulta fundamental para futuras aplicaciones en el ámbito profesional.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Enrutamiento:

El enrutamiento es la técnica encargada de dirigir el tráfico de datos desde un origen A hasta un destino B. Estos puntos pueden estar distanciados por miles de kilómetros o apenas por unos metros. No obstante, se valen de una serie de rutas predeterminadas o dinámicamente ajustadas y tienen la capacidad de distinguir el mejor camino posible entre diferentes puntos. Este proceso es conocido como routing. [5]

En el enrutamiento dinámico el enrutador se encarga del proceso por sí solo, gracias a un Protocolo de Enrutamiento Dinámico[5]. Entre ellos:

- RIP.
- IGRP.
- EIGRP.
- OSPF.
- ISIS.
- BGP.

Es necesario vincular dispositivos de origen y destino en la red para establecer una comunicación y enviar datos. Los dispositivos intermedios realizan este trabajo:

NIC: Tarjeta de red que se instala en un equipo informático para permitirle conectarse. Actúa como una interfaz entre el equipo y la red, proporcionando una conexión física y gestionando el flujo de datos. [5]

Hubs: Dispositivos de red que conectan varios terminales en una red local (LAN). Transmiten los datos recibidos desde cualquier puerto al resto, sin filtrar ni dirigir el tráfico.

Bridge: Conecta dos o más segmentos de red, filtrando y redirigiendo el tráfico en función de las direcciones MAC. Los *bridges* ayudan a dividir grandes redes en segmentos más pequeños y manejables. [5]

Switches: Conectan múltiples dispositivos dentro de una red local (LAN) y operan en la capa de enlace de datos. A diferencia de los *hubs*, filtran y dirigen los datos solo hacia el dispositivo de destino correcto, mejorando la eficiencia de la red.

Routers: Conectan diferentes redes y dirigen el tráfico de datos entre ellas. Operan en la capa de red y emplean direcciones IP para determinar la mejor ruta para enviar los datos. [5]

Routers inalámbricos: Proveen de conectividad a través de una red inalámbrica (Wi-Fi). Facilitan a los dispositivos conectarse a la red prescindiendo de cables físicos.

Firewalls: Son dispositivos o programas de *software* que supervisan y controlan el tráfico de red entrante y saliente de acuerdo con reglas de seguridad predeterminadas. Protegen las redes de accesos no autorizados y amenazas potenciales. [5]

2.1.2. Protocolos de enrutamiento dinámico

Los protocolos de enrutamiento se emplean para simplificar el intercambio de datos de enrutamiento entre los routers. Un protocolo de enrutamiento es una serie de procesos, algoritmos y mensajes que se emplean para intercambiar datos de enrutamiento y llenar la tabla de enrutamiento con la selección de las rutas óptimas que el protocolo escoge. [6]

El propósito de los protocolos de routing dinámico incluye lo siguiente:

- Descubrir redes remotas
- Mantener la información de routing actualizada
- Escoger el mejor camino hacia las redes de destino
- Poder encontrar un mejor camino nuevo si la ruta actual deja de estar disponible

Entre sus componentes principales estan incluidos:

Estructuras de datos: por lo general, los protocolos de routing utilizan tablas o bases de datos para sus operaciones. Esta información se guarda en la RAM. [6]

Mensajes del protocolo de routing: los protocolos de routing usan varios tipos de mensajes para descubrir routers vecinos, intercambiar información de routing y realizar otras tareas para descubrir la red y conservar información precisa acerca de ella. [6]

Algoritmo: un algoritmo es una lista finita de pasos que se usan para llevar a cabo una tarea. Los protocolos de routing usan algoritmos para facilitar información de routing y para determinar el mejor camino. [6]

2.1.3. Calidad de Servicio (QoS)

La calidad de servicio es la aplicación de tecnologías o mecanismos que operan en una red con el objetivo de regular el tráfico y asegurar la eficiencia de aplicaciones fundamentales cuando la capacidad de la red es limitada. Facilita a las organizaciones la posibilidad de modificar su tráfico de red general, dándole prioridad a ciertas aplicaciones de alto rendimiento. Se suele

aplicar a redes que transmiten tráfico para sistemas que utilizan recursos de manera intensiva. Se requieren servicios comunes como: videoconferencias, videojuegos en línea, video a demanda (VOD), voz sobre IP (VoIP), televisión por protocolo de Internet (IPTV) y medios de transmisión [7].

Al utilizar QoS en redes, las organizaciones tienen la capacidad de optimizar el rendimiento de múltiples aplicaciones en su red y obtener visibilidad de la velocidad de bits, el retraso, la fluctuación y la velocidad de paquetes de su red. Esto garantiza que puedan diseñar el tráfico en su red y cambiar la forma en que los paquetes se enrutan a Internet u otras redes para evitar demoras en la transmisión. Esto también garantiza que la organización logre la calidad de servicio esperada para las aplicaciones y brinde las experiencias de usuario esperadas.[7]

2.1.4. Modelos para implementar QoS

2.1.4.1.Mejor Esfuerzo.

La entrega de paquetes de mejor esfuerzo sin garantías es el diseño fundamental de Internet. Esta perspectiva continúa siendo la más utilizada en Internet hoy en día y es adecuada para la mayor parte de los fines. El modelo de mejor esfuerzo gestiona todos los paquetes de la red de manera uniforme, lo que significa que un mensaje de voz urgente es tratado igual que una imagen digital enviada en un correo electrónico. La red no puede diferenciar entre los paquetes sin QoS, y por lo tanto, tampoco es capaz de priorizar el tratamiento de los paquetes [2].

El modelo de mejor esfuerzo se asemeja, en términos conceptuales, a mandar una carta por el correo postal estándar. Tu carta es igual que cualquier otra carta. Es posible que la carta no llegue con el modelo de mejor esfuerzo, y si no tienes un acuerdo de notificación por separado con el destinatario, es posible que nunca te enteres de que la carta no llegó [2].

2.1.4.2. Servicios Diferenciados (DiffServ).

El modelo de QoS de servicios diferenciados (DiffServ) establece un procedimiento simple y que escala para clasificar y administrar el tráfico en la red. DiffServ, por ejemplo, puede ofrecer un servicio garantizado de baja latencia para el tráfico crítico de la red, como la voz o el vídeo; al mismo tiempo, puede brindar garantías de tráfico simple basado en mejor esfuerzo a los servicios que no son críticos, como las transferencias de archivos o el tráfico web. Las RFC

2474, 2597, 2598, 3246 y 4594 explican el modelo DiffServ. DiffServ tiene la capacidad de ofrecer una QoS "casi garantizada" y, al mismo tiempo, ser escalable y rentable [2].

DiffServ no es un método de QoS de extremo a extremo debido a que no tiene la capacidad para asegurar las garantías en todos los extremos. DiffServ QoS, no obstante, es una perspectiva más escalable para poner en práctica la QoS. DiffServ no emplea la señalización, a diferencia de IntServ y QoS dura, donde los hosts finales se comunican con la red sus requerimientos de QoS. DiffServ, en cambio, emplea una perspectiva de "QoS suave" (soft QoS). Opera con el modelo de QoS aprovisionada, en el que los componentes de la red se ajustan para atender a varias clases de tráfico, cada una con sus propios requerimientos de QoS [2].

2.1.5. OSPF (Open Shortest Path First)

OSPF es un protocolo de enrutamiento dinámico que reconoce y vuelve a establecer automáticamente la ruta cada vez que hay una modificación en la red. También está verificando constantemente el estado de todas las rutas disponibles para determinar la ruta más adecuada usando un algoritmo. Por lo tanto, en las redes con gran cantidad de tráfico, es necesario que se transmitan grandes cantidades de datos de manera continua y sin demoras. [3].

Cada enrutador configurado con el protocolo OSPF mantiene la información recibida de los dispositivos vecinos sobre las rutas disponibles y su costo (“OSPF Cost”). En ambos lados, estos datos se almacenan en la base de dato LSDB. La base de datos LSDB se crea a principal de “todos contra todos”. Luego, sobre la base de la base de datos LSDB, los enrutadores determinan los vecinos y calculan las rutas. [3]

2.1.6. Terminologías

Tabla 1 *Terminologías en OSPF*

TERMINO	DESCRIPCIÒN
Router ID	Identificador único de cada enrutador, necesario para evitar conflictos al intercambiar datos entre dispositivos.
LSA (Link-State Advertisements)	Mensajes que intercambian los enrutadores para actualizar información sobre el estado de la red, como la desconexión de un enrutador.

TERMINO	DESCRIPCIÒN
DR (Designated Router)	Enrutador designado que coordina el intercambio de información en un segmento de red, reduciendo la cantidad de mensajes necesarios.
BDR (Backup Designated Router)	Enrutador de respaldo que asume el rol de DR si esta falla, asegurando la estabilidad de la red.
Link (Interfaz)	Conexión física o lógica del enrutador a la red. Un enrutador puede tener múltiples interfaces para conectar a diferentes redes.
OSPF Cost	Métrica que indica el "costo" de transmitir datos a través de una interfaz, basada en su ancho de banda. Una interfaz con mayor ancho de banda tendrá un costo menor.
State (Estado)	Estado de funcionamiento de la interfaz del enrutador, puede ser "UP" (funcionando) o "DOWN" (desconectado).
Area (Zona)	Parte aislada de la red donde los dispositivos conectados intercambian información sobre sus estados. Cada zona tiene un identificador único.
Neighbors (Vecinos)	Enrutadores de una misma zona que intercambian mensajes LSA para actualizar rutas de red.
LSU (Link-State Updates)	Paquetes de datos que contienen información sobre el estado de los enrutadores vecinos, enviados por el enrutador que detecta la desconexión de uno de sus vecinos.
LSDB (Link-State Database)	Base de datos de cada enrutador que se completa con mensajes LSA, contiene información actualizada sobre el estado de la red, incluyendo las rutas disponibles y su costo.

TERMINO	DESCRIPCIÒN
Adjacency (Adyacencia)	Conexión lógica entre enrutadores OSPF que les permite intercambiar información sobre rutas directamente, sin la participación de otros enrutadores.

Fuente: Cisco

Cuando OSPF se pone en marcha, cada router manda paquetes Hello a su segmento de red. Estos paquetes "saludan" a otros routers, lo que contribuye a establecer la conexión, reconocer a los vecinos e intercambiar información esencial para determinar el enrutamiento.

Cada paquete Hello contiene:

Tabla 2 *Paquetes hello en OSPF*

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
Router ID	Es un número único que puede ser asignado de forma manual o automática, basado en la dirección IP del enrutador.
OSPF-priority	Es un valor que va de 0 a 255 y se ajusta durante la configuración del enrutador. Este valor determina la probabilidad de que el enrutador se elija como enrutador designado (DR). Un valor más alto aumenta la probabilidad de ser seleccionado. Por defecto, la prioridad es 1, aunque el administrador puede modificarla o incluso establecerla en 0 para evitar que el enrutador sea designado como DR.
Máscara de subred	Es un número que permite al enrutador identificar cuál parte de la dirección IP corresponde a la red y cuál corresponde al dispositivo. Por ejemplo, en la máscara 255.255.255.0, las tres primeras secciones de la dirección IP indican la red, mientras que la última sección se refiere al dispositivo.
Identificador de zona OSPF	El número de la zona a la que pertenece el enrutador. Una zona puede ser una oficina, un departamento o una región específica dentro de una organización.
Tipo de autenticación	Es un método de protección de datos que garantiza que la transmisión de información solo ocurra entre dispositivos confiables. Para la autenticación, se pueden emplear contraseñas o claves criptográficas.

Fuente: Cisco

2.1.7. Interfaces en OSPF

- La interfaz OSPF Broadcast se utiliza en redes de difusión, como Ethernet, donde un router puede intercambiar datos con varios vecinos simultáneamente. Para optimizar el proceso en tales redes, se elige un Router designado (DR). DR recopila información sobre todos los dispositivos en su área de responsabilidad y la reenvía a otros routers, lo que reduce el número de intercambios directos. [3]

- La interfaz OSPF Point-to-point se utiliza a menudo en redes WAN para conectar dos routers. El intercambio de datos en esta interfaz se lleva a cabo sin DR, lo que simplifica el proceso y reduce el volumen de mensajes. [3]

2.1.8. Elección de la mejor ruta

Los enrutadores seleccionan el camino para la transmisión de datos basándose en el algoritmo de Dijkstra y la métrica OSPF cost. Cada interfaz tiene un costo propio: la ruta es mejor cuando el valor de Cost es más bajo. El algoritmo de Dijkstra es el que emplea OSPF para examinar todas las rutas potenciales en la red y calcular su costo total. Se generará un gráfico por medio del algoritmo, en el que los routers representarán los nodos y las conexiones con su costo serán las aristas. Elegirá de manera secuencial nodos con un costo más bajo, actualizando las rutas a los demás, hasta que descubra la ruta óptima [6].

2.1.9. EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol)

El protocolo de routing de gateway interior mejorado (EIGRP – Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) es un protocolo de routing vector distancia avanzado desarrollado por Cisco Systems. Como lo sugiere el nombre, EIGRP es una mejora de otro protocolo de routing de Cisco: el protocolo de routing de gateway interior (IGRP).[8]

2.1.10. Iperf.

"Iperf es una herramienta de red de código abierto que se utiliza para medir el rendimiento o el rendimiento de una red. Se puede utilizar para probar TCP y UDP. Iperf se puede utilizar en sistemas operativos Windows, Linux y MAC, etc."[9]

2.1.11. Mecanismo de cola de baja latencia (LLQ)

La función de LLQ proporciona la cola de prioridad estricta (PQ) a CBWFQ. La asignación de cola de prioridad estricta permite que los datos susceptibles a la demora, como la voz, se envíen antes que los paquetes de otras colas. La LLQ proporciona la cola de prioridad estricta para CBWFQ, lo que reduce las fluctuaciones en las conversaciones de voz. [10]

2.2. Marco referencial

El estudio Análisis de Protocolos de Enrutamiento en Redes Definidas por Software se centra en la evaluación del desempeño de protocolos de enrutamiento tradicionales como OSPF frente a implementaciones en Redes Definidas por Software (SDN). Explora cómo las SDN, al separar los planos de control y datos, permiten mayor flexibilidad en la gestión de la red y la implementación dinámica de políticas de QoS. La metodología emplea herramientas como GNS3 y Mininet para simular redes tradicionales y SDN, evaluando escenarios con tráfico generado mediante iPerf. Se analizan métricas clave como latencia, tiempo de convergencia, pérdida de paquetes y uso del ancho de banda. En particular, se realizan pruebas con flujos simples y dobles, con y sin QoS, para determinar el impacto de las políticas de priorización en el rendimiento.[11]

El estudio concluye que las SDN, al permitir un control centralizado y programabilidad, mejoran significativamente la eficiencia en redes complejas, especialmente en escenarios donde QoS es crítico. Además, identifica áreas de mejora en la interacción entre protocolos de enrutamiento tradicionales y SDN, proponiendo enfoques híbridos para maximizar el rendimiento. [11]

Análisis Comparativo de Calidad de Servicio en la Red Inalámbrica de la Universidad Politécnica Salesiana analiza la calidad de servicio en la red inalámbrica del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana, comparando los estándares IEEE 802.11n y 802.11ac. El objetivo es identificar cuál de los dos estándares es más adecuado para soportar las demandas de aplicaciones modernas como videollamadas, streaming y voz sobre IP. Incluyendo las simulaciones de escenarios reales utilizando OMNET++ y el análisis de parámetros como pérdida de paquetes, latencia y ancho de banda. El diseño de la red considera el dimensionamiento de usuarios y puntos de acceso, así como modelos de propagación que reflejan las condiciones físicas del campus. Además, se evalúan las capacidades de ambos estándares en términos de compatibilidad, eficiencia y alcance.[12]

Los resultados muestran que IEEE 802.11ac supera a 802.11n en todos los aspectos evaluados, entregando un 95% de paquetes correctamente, con un 19.28%más de transmisión efectiva y una latencia reducida en 2 ms. Esto lo convierte en la opción ideal para mejorar la experiencia del usuario en la institución, especialmente en aplicaciones que requieren alta calidad de servicio .[12].

Estudio Experimental del Comportamiento de Métricas de QoS y QoE de Streamings de Video Multicast IPTV se enfoca en analizar el tráfico de video IPTV multicast en una red LAN experimental, evaluando métricas de Calidad de Servicio y Calidad de Experiencia (QoE). El estudio utiliza diferentes codecs de video (H.264, H.265, VP8 y Theora) para identificar cómo afectan la transmisión y la percepción del usuario final. También incluye la creación de un entorno experimental con routers configurados en OSPF y multicast, utilizando el software FFmpeg para la transmisión de video y Wireshark para capturar y analizar el tráfico. Se evalúan parámetros como latencia, pérdida de paquetes y bitrate, mientras se simulan escenarios reales con tráfico controlado.[13]

Los resultados destacan que los codecs más recientes, como H.265, ofrecen una mejor eficiencia de compresión y menor latencia, lo que mejora la experiencia del usuario. El estudio concluye que la elección del codec y la configuración adecuada de la red son esenciales para garantizar un rendimiento óptimo en servicios IPTV, y proporciona lineamientos específicos para diseñar redes similares.[13]

Effect of Packet Delay Variation on Video/Voice over DiffServ-MPLS in IPv4/IPv6 networks presenta un análisis comparativo del rendimiento de aplicaciones en tiempo real (voz y video) bajo diferentes arquitecturas de red, evaluando cómo la variación del retardo de paquetes (PDV) afecta la calidad de servicio. El estudio utiliza OPNET para simular seis escenarios distintos: con y sin DiffServ, con y sin MPLS, tanto en entornos IPv4 como IPv6. A través de estos modelos, se analizan métricas como PDV, latencia, pérdida de paquetes y throughput, centrándose en el comportamiento del tráfico marcado con clases Expedited Forwarding (EF) y Assured Forwarding (AF).[14]

El estudio revela que la integración de DiffServ con MPLS ofrece una mejora significativa en la estabilidad y consistencia de la entrega de tráfico sensible al retardo. También concluye que

el tráfico en IPv6 presenta mayores variaciones en el retardo en comparación con IPv4, lo que sugiere la necesidad de políticas específicas para redes de nueva generación. Este análisis resulta fundamental para validar la eficacia de los mecanismos combinados de QoS en infraestructuras dual-stack y para establecer estrategias que garanticen un rendimiento predecible en servicios multimedia críticos.[14]

Optimizing QoS for Voice and Video Using DiffServ-MPLS estudia cómo la implementación conjunta de DiffServ y MPLS puede optimizar la calidad de servicio en redes IP de gran escala, específicamente para tráfico de voz sobre IP (VoIP) y video. A través de simulaciones realizadas en OPNET, se evalúan métricas como retardo, jitter, throughput y eficiencia en el uso del ancho de banda, bajo diferentes configuraciones de red (con QoS, sin QoS, con solo DiffServ, con DiffServ-MPLS). Se presta especial atención a cómo se comportan las clases de tráfico prioritario (EF) y las clases aseguradas (AF) durante condiciones de congestión.[15]

Los resultados evidencian mejoras notables en redes que integran ambos mecanismos (DiffServ y MPLS), permitiendo una mayor previsibilidad en la entrega de paquetes, menor jitter y mejor aprovechamiento de recursos. El estudio concluye que la arquitectura DiffServ-MPLS es especialmente adecuada para entornos donde se requiere garantizar calidad en tiempo real, como en videoconferencias o streaming. Además, aporta un marco de referencia replicable para quienes deseen validar políticas de priorización y encaminamiento en redes complejas.[15]

Quality of Service (QoS) Performance Analysis in a Traffic Engineering Model for Next-Generation Wireless Sensor Networks se enfoca en el análisis del desempeño de la QoS en redes de sensores inalámbricos de nueva generación (WSN), especialmente en entornos integrados con 5G e IoT. El estudio identifica los desafíos que presenta el aumento de nodos IoT y del tráfico multimedia sobre estas redes, proponiendo un modelo de ingeniería de tráfico que garantice la entrega eficiente de servicios en tiempo real. Para ello, introduce un mecanismo de encolamiento dinámico que asigna prioridades según el tipo de dato, su nivel de prioridad y la longitud de la cola, permitiendo adaptar dinámicamente los recursos disponibles.[16]

Las métricas evaluadas incluyen latencia, pérdida de paquetes, sobre aprovisionamiento de recursos y eficiencia del uso del ancho de banda. Mediante simulaciones, se demuestra que el modelo propuesto mejora la entrega de servicios sensibles al tiempo, reduciendo

significativamente el retardo y las tasas de pérdida de datos. Este estudio es especialmente útil para esta tesis, ya que aporta un enfoque innovador y replicable sobre cómo la ingeniería de tráfico y la gestión dinámica de colas pueden garantizar la QoS en redes con alta densidad de dispositivos y tráfico intensivo, permitiendo adaptaciones similares en escenarios experimentales controlados que utilicen arquitecturas con múltiples clases de tráfico prioritario.[16]

Desde una perspectiva complementaria que aborda las arquitecturas de proveedores de servicio, Buñay et al. (2019), en su artículo "Análisis de la Arquitectura DIFFSERV sobre redes MPLS para la provisión de QoS en aplicaciones en tiempo real (VoIP)", investigan la problemática de la provisión de QoS en redes IP. Los autores parten de la premisa de que las redes IP tradicionales, por su naturaleza de "mejor esfuerzo" (best-effort), carecen de mecanismos nativos para asegurar la entrega prioritaria de tráfico sensible. Su investigación se centra en analizar cómo la arquitectura DiffServ (Servicios Diferenciados), al ser implementada sobre una red MPLS (Multiprotocol Label Switching), opera como una solución robusta para este problema. [17]

El estudio valida que esta combinación es un mecanismo eficaz para garantizar la calidad de servicio que requiere el tráfico de Voz sobre IP (VoIP), el cual es altamente sensible a la latencia y la variación del retardo (jitter). El artículo concluye que la arquitectura DiffServ, integrada con MPLS, es una solución robusta y escalable para priorizar este tipo de tráfico en tiempo real.[17]

La optimización del rendimiento en redes IPv6 es el foco del estudio de Shahid et al. (2024), en su artículo titulado "Optimizing Network Performance: A Comparative Analysis of EIGRP, OSPF, and BGP in IPv6-Based Load-Sharing and Link-Failover Systems". Esta investigación es de alta relevancia, ya que implementa una metodología de emulación similar a la de esta tesis, utilizando herramientas como GNS3, Wireshark e Iperf3 para la evaluación del rendimiento. [18]

El análisis se centra en el comportamiento de los protocolos en escenarios de balanceo de carga y, de manera crucial, de falla de enlace (failover). Los autores midieron métricas clave de QoS, incluyendo el tiempo de convergencia, la pérdida de paquetes, el jitter y el retardo de red. Sus

hallazgos concluyen que EIGRP presenta un mejor tiempo de convergencia y un menor porcentaje de pérdida de paquetes que OSPF, validando su robustez para redes que requieren alta disponibilidad.[18]

2.3. Marco legal

2.3.1. Legislación de Telecomunicaciones en el Ecuador

2.3.1.1. Ley Orgánica de Telecomunicaciones.

"*La Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT), publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 439 el 18 de febrero de 2015, establece el marco jurídico que regula el uso, desarrollo y gestión de las telecomunicaciones en el Ecuador. En su artículo 1 se define que la finalidad de esta ley es garantizar el acceso universal a servicios de telecomunicaciones de calidad, con equidad, continuidad y eficiencia. Además, reconoce a las redes y el espectro radioeléctrico como sectores estratégicos que deben responder a los intereses del Estado y la ciudadanía*." [19]

2.3.1.2. Artículo 20 – Prestación del servicio con calidad.

"Este artículo establece que los prestadores de servicios de telecomunicaciones están obligados a garantizar la continuidad, calidad y eficiencia en sus servicios, conforme a los niveles establecidos por la autoridad de regulación. Esto justifica la necesidad de aplicar mecanismos como la Calidad de Servicio en redes, especialmente para servicios críticos como voz, video y datos." [19]

2.3.1.3. Artículo 142 – creación de ARCOTEL.

"Este artículo establece a ARCOTEL como la entidad encargada de ejercer la regulación técnica y el control de los servicios de telecomunicaciones en Ecuador. Esta agencia tiene la responsabilidad de velar por el cumplimiento de estándares técnicos, incluida la supervisión de parámetros de calidad como la latencia, jitter y pérdida de paquetes, los cuales son evaluados en esta tesis." [19]

2.3.1.4. Artículo 144 – Atribuciones de la autoridad de control.

"Este artículo otorga a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) la competencia para emitir regulaciones técnicas sobre calidad, continuidad y eficiencia del servicio. En el contexto de esta investigación, este marco habilita el diseño de políticas de QoS alineadas con las disposiciones del ente regulador." [19]

2.3.2. Normativas técnicas y estándares internacionales

2.3.2.1. RFC 2474 – Differentiated Services Field (DS Field).

"El RFC 2474, emitido por el IETF, redefine el campo de tipo de servicio (ToS) en los encabezados IP para soportar el modelo de servicios diferenciados (DiffServ). Esta norma permite clasificar y priorizar el tráfico en función de su criticidad, lo que constituye la base técnica para muchas implementaciones de QoS en redes IP, como las analizadas en este proyecto."[20]

2.3.2.2. RFC 2597 – Assured Forwarding (AF).

"Este documento introduce clases de reenvío asegurado (AF) en el modelo DiffServ, permitiendo la asignación de distintos niveles de prioridad al tráfico de red. La implementación de estas clases permite reducir la pérdida de paquetes y mejorar el desempeño de servicios sensibles al tiempo, como los abordados en el estudio." [21]

2.3.2.3. RFC 3246 – Expedited Forwarding (EF).

"El RFC 3246 define la clase de reenvío expedito (EF), diseñada para proporcionar baja latencia, bajo jitter y mínima pérdida de paquetes. Esta clase es especialmente útil para aplicaciones en tiempo real, como VoIP o videoconferencia, justificando su uso en escenarios con QoS como los simulados en la investigación." [22]

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

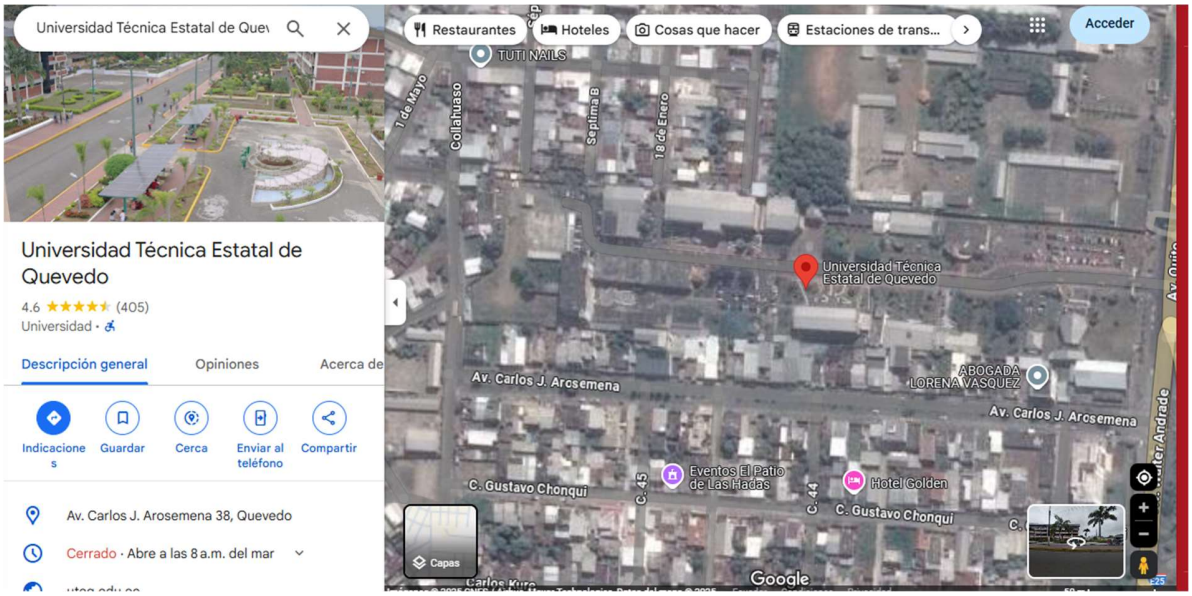
El presente proyecto de investigación se desarrolló en el laboratorio de redes de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicado en el campus "Ingeniero Manuel Agustín Haz Álvarez", en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador. Esta institución se encuentra en el km 1 ½ de la vía a Santo Domingo.

El laboratorio cuenta con infraestructura y equipamiento de nivel profesional, incluyendo routers Cisco, cableado estructurado y estaciones de trabajo configuradas para la enseñanza y análisis de redes. Este entorno permitió llevar a cabo pruebas prácticas en tiempo real, replicando condiciones operativas similares a las de una red empresarial, lo que garantiza la validez técnica de los datos obtenidos.

Latitud: -1.0125144372517216

Longitud: -79.46950960541515

Figura 1 *Ubicación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo*



***Fuente**: Google Maps.*

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación Bibliográfica

La investigación bibliográfica se enfoca en recopilar, analizar y resumir información proveniente de fuentes académicas relevantes, tales como libros, artículos científicos, tesis y documentos especializados en redes, enrutamiento y Calidad de Servicio. Esta etapa resulta

fundamental para sustentar teóricamente el estudio, permitiendo comprender el funcionamiento de los protocolos OSPF y EIGRP, así como las metodologías existentes para la implementación de políticas de QoS. La información obtenida guía el diseño experimental y respalda la interpretación de los resultados.

3.2.2. Investigación Descriptiva

Se aplica una investigación descriptiva con el propósito de observar y detallar el comportamiento de los protocolos de enrutamiento dinámico OSPF y EIGRP en redes físicas. A través del análisis de variables como la latencia, pérdida de paquetes, tiempo de convergencia y uso del ancho de banda, se identifican las condiciones actuales de operación tanto con cómo sin la implementación de QoS. Este enfoque permite establecer una caracterización precisa del rendimiento de cada protocolo en diferentes condiciones de red.

3.3.Método de investigación

3.3.1. Método cuantitativo

Este estudio aplica un método cuantitativo porque se enfoca en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con el comportamiento de los protocolos OSPF y EIGRP. A través del uso de herramientas como los comandos de diagnóstico propios de los routers Cisco y el análisis de tráfico en red, se obtienen valores precisos sobre variables como la latencia, pérdida de paquetes, tiempo de convergencia y uso del ancho de banda. Los datos se analizan estadísticamente para identificar patrones, comparaciones y diferencias significativas entre los escenarios evaluados.

3.3.2. Método deductivo

La presente investigación adopta el método deductivo, partiendo de principios teóricos previamente establecidos sobre la Calidad de Servicio y el funcionamiento de los protocolos de enrutamiento dinámico OSPF y EIGRP. A través del análisis de bibliografía especializada, estándares internacionales y estudios previos, se definen las hipótesis y relaciones esperadas entre la aplicación de QoS y la mejora de métricas como latencia, pérdida de paquetes, ancho de banda y tiempo de convergencia.

Con base en estos fundamentos, se desarrollan escenarios experimentales en un entorno controlado, aplicando y comparando configuraciones de red con y sin políticas de QoS. La

observación y análisis de los resultados permite verificar si se cumple lo que predice la teoría en condiciones reales, validando así el impacto técnico de la QoS sobre el rendimiento de los protocolos analizados.

3.4.Fuentes de recopilación de información

3.4.1. Fuentes primarias

Las fuentes primarias utilizadas en esta investigación provienen de los datos obtenidos directamente a través de las pruebas prácticas realizadas en el laboratorio físico con routers Cisco. Estos datos incluyen mediciones de latencia, pérdida de paquetes, tiempo de convergencia y uso del ancho de banda, los cuales son registrados a partir de comandos técnicos, observaciones directas, salidas del sistema y herramientas de monitoreo. Esta información resulta fundamental para el análisis comparativo del rendimiento de los protocolos OSPF y EIGRP con y sin políticas de Calidad de Servicio

3.4.2. Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias se componen de documentación técnica y académica utilizada como base teórica para el desarrollo del estudio. Incluyen libros especializados, artículos científicos, manuales de Cisco, normas, tesis y estudios previos relacionados con redes, protocolos de enrutamiento y calidad de servicio. Esta información fue consultada principalmente a través de bases de datos confiables, sitios oficiales y bibliografía universitaria, y sirve como sustento para el marco teórico, el diseño del experimento y la validación de los resultados obtenidos.

3.4.3. Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación es de tipo cuasiexperimental y se implementó en un entorno de laboratorio controlado para evaluar el comportamiento en condiciones reales de los protocolos de enrutamiento dinámico OSPF y EIGRP. Utilizando equipos físicos Cisco, este enfoque garantiza una observación precisa y replicable de los efectos que la implementación de la Calidad de Servicio tiene sobre las métricas de la red.

El estudio se organizó de manera sistemática en cinco fases:

Fase 1 – Revisión bibliográfica y planificación

Durante esta fase se lleva a cabo una revisión exhaustiva de fuentes bibliográficas académicas, artículos científicos, manuales de Cisco y documentación técnica sobre los protocolos de

enrutamiento OSPF y EIGRP, así como sobre los modelos de Calidad de Servicio aplicables. Esta información permite sustentar teóricamente el estudio y establecer las bases para la configuración experimental.

Además, se elabora el plan de trabajo, se definen las métricas clave que serán evaluadas y se diseña la topología de red que será implementada físicamente en el laboratorio.

Fase 2 – Configuración de escenarios

En esta etapa se procede a la implementación física de los cuatro escenarios de red previamente diseñados. Se emplean routers Cisco disponibles en el laboratorio de redes de la universidad.

Se configuran dos tipos de topologías principales: una sin QoS, donde se evalúa el comportamiento base de los protocolos, y otra con políticas de QoS, donde se aplican prioridades de tráfico mediante clasificación, marcación y colas.

Finalmente, se construye un escenario de congestión controlada, en el cual se generan flujos intensos de tráfico para observar la capacidad de respuesta y resiliencia del sistema. Se verifican parámetros iniciales como direccionamiento, enrutamiento, tablas y protocolos.

Fase 3 – Ejecución de pruebas

En esta fase se ejecutan múltiples rondas de pruebas para cada uno de los escenarios configurados. Se generan flujos de tráfico mediante comandos y herramientas disponibles en los equipos Cisco.

Cada prueba se realiza varias veces para garantizar la consistencia de los resultados, y se documenta detalladamente el comportamiento observado ante cada cambio de configuración.

Fase 4 – Análisis de resultados

Los datos recopilados durante las pruebas son organizados en tablas comparativas. Se calcula la media, desviación estándar y otros indicadores estadísticos relevantes para cada variable evaluada.

A continuación, se generan gráficos y representaciones visuales con herramientas como wireshrak u otras.

El análisis permite identificar diferencias significativas entre escenarios con y sin QoS, así como las ventajas de aplicar políticas de priorización de tráfico en redes reales. Se contrasta la información con la teoría revisada en la fase 1 para verificar la coherencia de los resultados.

Fase 5 – Validación y conclusiones

La fase final se centra en la interpretación técnica de los resultados y su validación frente a estudios previos, normativas y documentación especializada.

Se evalúa la reproducibilidad de los experimentos y la aplicabilidad de los hallazgos a contextos empresariales reales.

Con base en esta evidencia, se formulan conclusiones concretas sobre el impacto de la QoS en el rendimiento de los protocolos de enrutamiento dinámico, así como recomendaciones prácticas para la implementación de estas políticas en entornos corporativos

.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de métricas de rendimiento clave

En cumplimiento del primer objetivo específico, se llevó a cabo un análisis bibliográfico exhaustivo que permitió identificar las métricas de rendimiento más relevantes empleadas en investigaciones sobre protocolos de enrutamiento dinámico y su comportamiento bajo políticas de Calidad de Servicio. La revisión se centró en estudios aplicados tanto en entornos LAN como WAN, abarcando simulaciones y análisis experimentales documentados en artículos científicos y tesis técnicas.

Tabla 3 *Identificación de métricas en base a Investigaciones bibliográficos*

Tema	Métricas utilizadas	Resumen breve
Estudio Experimental del Comportamiento de Métricas de QoS y QoE de Streamings de Video Multicast IPTV	Retardo, Jitter, Pérdida de paquetes, Número de tramas, Bitrate, Frame rate, Bits/(pixel*frame)	Evaluación experimental de tráfico IPTV usando distintos códecs en red LAN controlada.
Análisis Comparativo de Calidad de Servicio en la Red Inalámbrica de la Universidad Politécnica Salesiana	Latencia, Throughput, Pérdida de paquetes, Jitter, Tasa de entrega, Capacidad de red, Consumo de energía	Simulación de red universitaria para comparar rendimiento entre dos estándares Wi-Fi.
Análisis de Protocolos de Enrutamiento en Redes Definidas por Software	Retardo, Jitter, Pérdida de paquetes, Throughput, Tiempo de convergencia, Escalabilidad, Utilización de recursos	Comparación del rendimiento de OSPF vs SDN aplicando QoS en entornos simulados.
Effect of Packet Delay Variation on Video/Voice over DiffServ-MPLS in IPv4/IPv6 Networks	Packet Delay Variation (PDV), Latencia, Pérdida de paquetes, Bitrate, Tasa de transferencia, Tasa de pérdida, Calidad de transmisión	Simulación en OPNET para medir PDV en tráfico multimedia con y sin MPLS.

Tema	Métricas utilizadas	Resumen breve
Optimizing QoS for Voice and Video Using DiffServ-MPLS	Jitter, Retardo, Throughput, Prioridad de tráfico, Utilización de ancho de banda, Tasa de error, Eficiencia de red	Simulación en OPNET que demuestra mejoras en tráfico de voz/video al aplicar DiffServ-MPLS.
Quality of Service (QoS) Performance Analysis in a Traffic Engineering Model for Next-Generation Wireless Sensor Networks	Latencia, Pérdida de paquetes, Jitter, Sobre aprovisionamiento, Eficiencia de recursos, Prioridad de tráfico	Propuesta de modelo con colas dinámicas y simulaciones para garantizar QoS en redes 5G e IoT con tráfico en tiempo real.

Elaborado por: José Fabre

Para cumplir con este objetivo, se realizó un estudio bibliográfico basado en investigaciones relevantes que analizan el comportamiento de redes con y sin QoS. A partir del análisis de seis estudios clave del marco referencial, se han identificado las siguientes métricas fundamentales:

Pérdida de Paquetes

La pérdida de paquetes es otra métrica crítica, ya que indica inestabilidad en la red o congestión en los enlaces. En el estudio "Estudio Experimental del Comportamiento de Métricas de QoS y QoE de Streamings de Video Multicast IPTV", se demostró que los entornos configurados con codecs eficientes y protocolos adecuados, como OSPF con políticas multicast, redujeron considerablemente la pérdida de paquetes.

Ancho de Banda Utilizado

El uso del ancho de banda refleja la eficiencia en la distribución de tráfico. El estudio "Análisis Comparativo de Calidad de Servicio en la Red Inalámbrica de la UPS" mostró cómo, al implementar QoS sobre estándares más modernos (IEEE 802.11ac), se logró una mejora del 19.28% en la transmisión efectiva de datos, optimizando así el uso del canal de Comunicación.

Jitter

El jitter (variación de la latencia) también fueron relevantes en el tercer estudio, donde la evaluación de tráfico IPTV mostró que codecs más eficientes producían un bitrate constante y menor jitter, mejorando la Calidad de Experiencia del usuario (QoE).

4.1.1. Discusión sobre la Identificación de Métricas de Rendimiento

La selección del jitter, la pérdida de paquetes y el uso del ancho de banda como métricas clave en esta investigación no es una decisión aislada, sino que se alinea directamente con las metodologías validadas en la literatura científica. Al comparar esta selección con otros estudios, se observa un fuerte consenso en su relevancia.

Por ejemplo, el estudio "Análisis de Protocolos de Enrutamiento en Redes Definidas por Software" [11] utilizó un conjunto de métricas casi idéntico (retardo, pérdida de paquetes, throughput y tiempo de convergencia) para evaluar el desempeño de OSPF frente a arquitecturas SDN. Esta similitud valida que las métricas elegidas son fundamentales y pertinentes para comparar el rendimiento de protocolos de enrutamiento, independientemente de si se contrastan entre sí o contra paradigmas de red más modernos.

De manera similar, la investigación "Estudio Experimental del Comportamiento de Métricas de QoS y QoE de Streamings de Video Multicast IPTV" [13] también se centró en el Jitter y la pérdida de paquetes como indicadores cruciales del rendimiento de la red, demostrando su importancia en aplicaciones altamente sensibles al retardo como el video en tiempo real. Dicho estudio, si bien compartía las métricas base, también incorporó indicadores específicos de la aplicación como el bitrate y el frame rate para evaluar la Calidad de Experiencia.

Esto enriquece la perspectiva del presente trabajo, pues sugiere que las métricas seleccionadas constituyen un núcleo esencial para el análisis de la Calidad de Servicio a nivel de red, sobre el cual se pueden añadir métricas adicionales para análisis más específicos a nivel de aplicación. En definitiva, la base métrica de este estudio es sólida, consistente y está respaldada por investigaciones análogas.

4.2. Diseño de escenarios para el análisis del rendimiento de protocolos de enrutamiento

Dentro de este objetivo se diseñaron 4 escenarios, todos los escenarios trabajaron en las mismas condiciones y con la misma topología, todos los escenarios fueron sometidos a tráfico UDP por iperf3 durante 10 minutos, en todas las topologías ambas PCs fueron configuradas como servidor y cliente, también se usó wireshark para la captura del tráfico.

Configuración del servidor de tráfico iperf3 en pc2

Tabla 4 *configuración del servidor iperf*

latencia	
-s	Señalamos a este pc como servidor iperf para recibir el tráfico genérico

Elaborado por: José Fabre

Configuración de cliente y envió de tráfico UDP a pc2

Tabla 5 *configuración del cliente iperf y envió de tráfico*

Iperf3 -c 192.168.7.10 -u -b 200M -t 600 -P 10	
-c	Señalamos la pc1 como cliente.
192.168.7.10	IP de destino del tráfico genérico (IP pc2)
-u	Uso del protocolo UDP
-b	Ancho de banda asignado 200 Mbps
-t	10 minutos de transmisión
-P	Flujos totales (10 clientes)

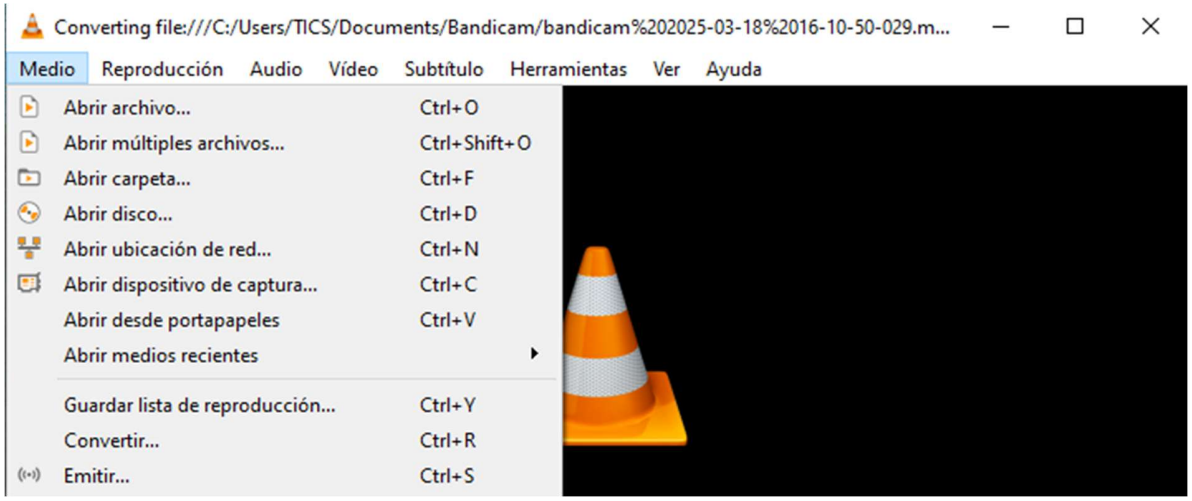
Elaborado por: José Fabre

En PC1 se definió la ventana iperf como cliente (-c), agregando la IP de destino el protocolo UDP usado (-u) junto al ancho de banda (-b) 200M en un tiempo (-t) de 10 min.

También se usó VLC media player para la transmisión de video en la red para la visualización de la calidad del video en dichos escenarios, su transmisión fue hecha por RTP con las siguientes configuraciones:

Paso 1 Configuración del envió PC1

Figura 2 *primer paso para la transmisión de video RTP*

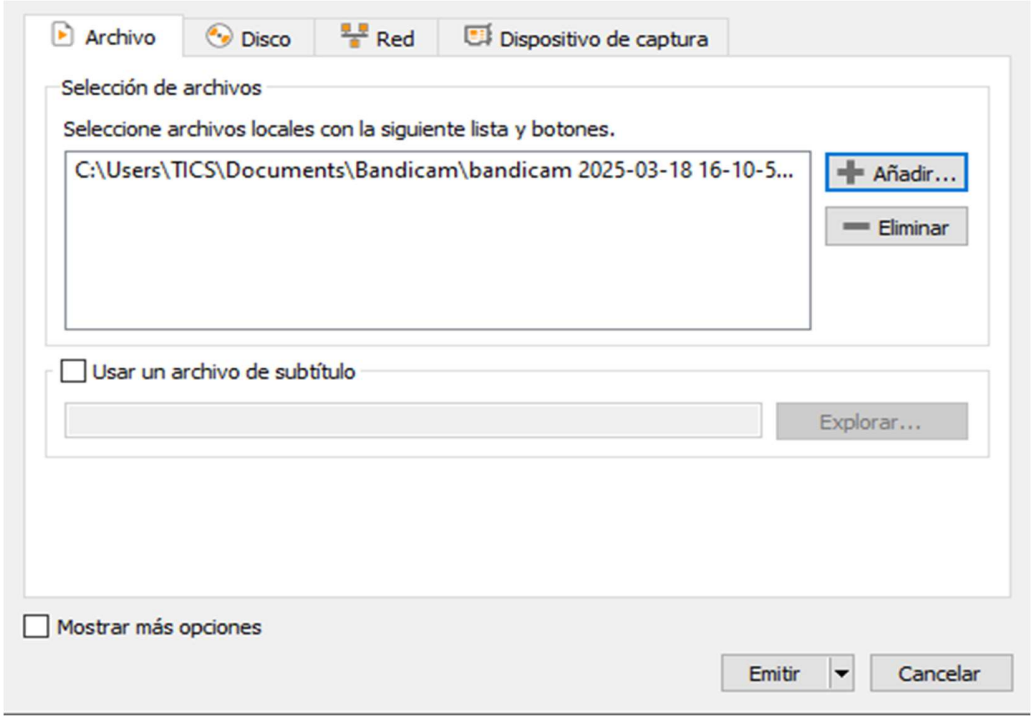


Elaborado por: José Fabre

Una vez descargando el video que vamos a transmitir abrimos VLC y seleccionamos la pestaña medio y seleccionamos emitir.

Paso 2 Añadir video

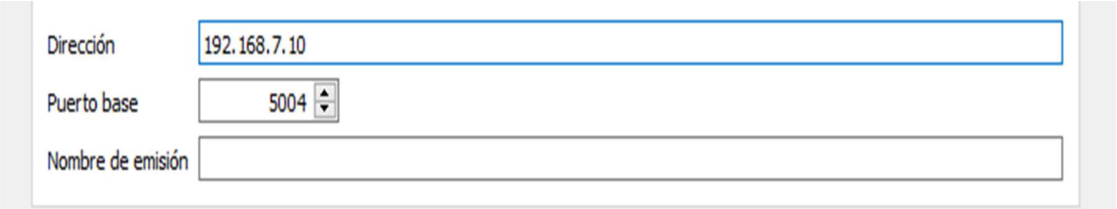
Figura 3 *paso 2 añadir el video para su transmision*



Elaborado por: José Fabre

Una vez añadido el video seleccionamos emitir para así elegir el protocolo con el que vamos a trasmitir. Y seleccionamos RTP/MPEG Transport Stream y seleccionamos añadir para poner el destinatario y su puerto de entrega, para luego añadir los códecs de video que vamos a usar para la transmisión.

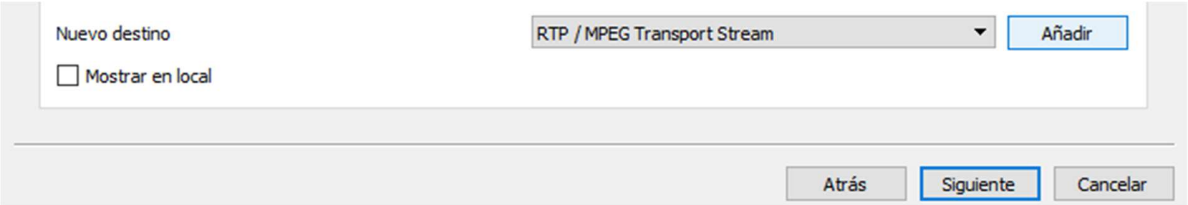
Figura 4 *ip de destino y puerto*



Elaborado por: José Fabre

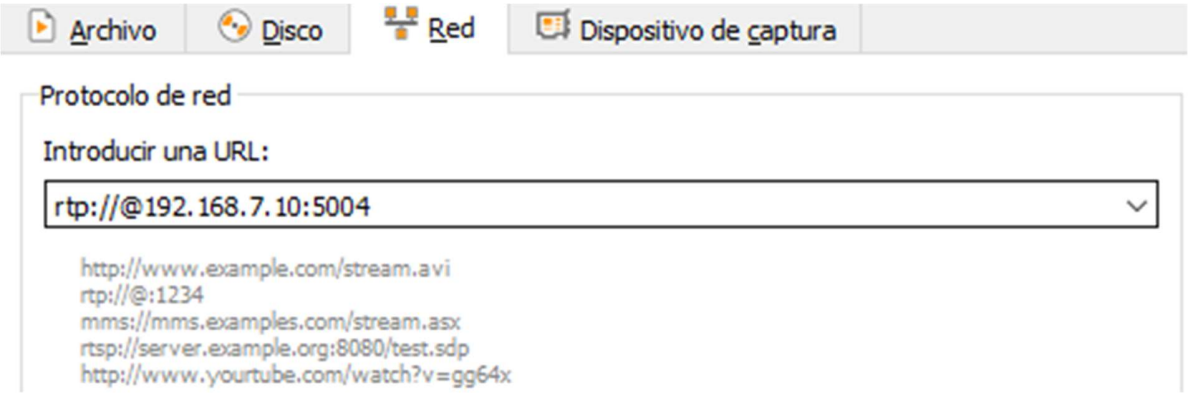
Seguimos el ejemplo que nos da VLC y ponemos la IP de origen con su puerto y reproducimos el video.

Figura 5 *selección del protocolo RTP*



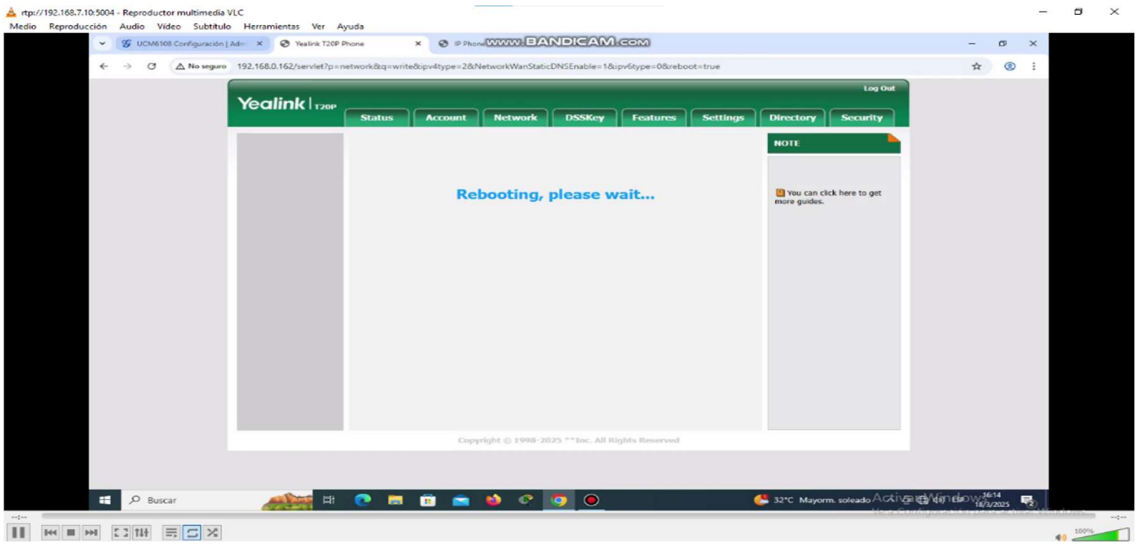
Elaborado por: José Fabre

Figura 6 *insertar URL para visualización en PC2*



Elaborado por: José Fabre

Figura 7 *visualización del video transmitido en PC2*

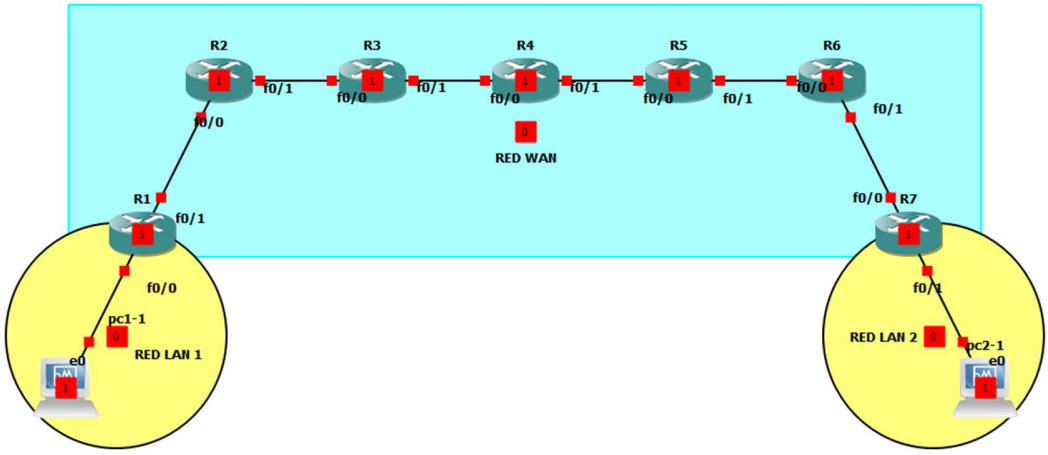


Elaborado por: José Fabre

4.2.1. Escenarios EIGRP con y sin Calidad de Servicio

4.2.1.1.Escenario 1 - EIGRP sin Calidad de Servicio.

Figura 8 *Topología Escenario 1 - EIGRP sin QoS*



Elaborado por: José Fabre

En este escenario se implementa una topología lineal conformada por siete routers Cisco 2841 interconectados, con hosts finales en los extremos. La elección de esta estructura responde a la necesidad de aprovechar el número limitado de equipos disponibles en el laboratorio, garantizando que cada uno cumpla un rol en la propagación de rutas. La topología en cadena permite observar el comportamiento de EIGRP en múltiples saltos, lo que facilita la medición de parámetros como el Jitter y el ancho de banda. La decisión de emplear EIGRP obedece a que se trata de un protocolo propietario de Cisco, diseñado para ofrecer una rápida convergencia y compatibilidad total con los equipos utilizados. En este escenario inicial no se aplican políticas de Calidad de Servicio, lo cual permite establecer una línea base del rendimiento de la red únicamente bajo el control del protocolo de enrutamiento.

Tabla 6 *Direccionamiento IP - Escenario 1 - EIGRP sin QoS*

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de subred	Gateway predeterminado
	F0/0	192.168.1.1	255.255.255.0	.

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de subred	Gateway predeterminado
R1	F0/1	10.0.1.1	255.255.255.252	-
R2	F0/0	10.0.1.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.2.1	255.255.255.252	-
R3	F0/0	10.0.2.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.3.1	255.255.255.252	-
R4	F0/0	10.0.3.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.4.1	255.255.255.252	-
R5	F0/0	10.0.4.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.5.1	255.255.255.252	-
R6	F0/0	10.0.5.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.6.1	255.255.255.252	-
R7	F0/0	10.0.6.2	255.255.255.252	-
	F0/1	192.168.7.1	255.255.255.0	.
PC1	E0	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1
PC2	E0	192.168.7.10	255.255.255.0	192.168.7.1

Elaborado por: José Fabre

Configuración de los enrutadores en el escenario 1

***Tabla** 7 configuración de los enrutadores - escenario 1*

R1	R2	R3
hostname R1	hostname R2	hostname R3
interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0
ip address 192.168.1.1	ip address 10.0.1.2	ip address 10.0.2.2
255.255.255.0	255.255.255.252	255.255.255.252
no shutdown	no shutdown	no shutdown
interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1
ip address 10.0.1.1	ip address 10.0.2.1	ip address 10.0.3.1
255.255.255.252	255.255.255.252	255.255.255.252

no shutdown	no shutdown	no shutdown
router eigrp 100	router eigrp 100	router eigrp 100
network 192.168.1.0	network 10.0.1.0	network 10.0.2.0
network 10.0.1.0	network 10.0.2.0	network 10.0.3.0
no auto-summary	no auto-summary	no auto-summary

R4	**R5**	**R6**
hostname R4	hostname R5	hostname R6
interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0
ip address 10.0.3.2	ip address 10.0.4.2	ip address 10.0.5.2
255.255.255.252	255.255.255.252	255.255.255.252
no shutdown	no shutdown	no shutdown
interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1
ip address 10.0.4.1	ip address 10.0.5.1	ip address 10.0.6.1
255.255.255.252	255.255.255.252	255.255.255.252
no shutdown	no shutdown	no shutdown
router eigrp 100	router eigrp 100	router eigrp 100
network 10.0.3.0	network 10.0.4.0	network 10.0.5.0
network 10.0.4.0	network 10.0.5.0	network 10.0.6.0
no auto-summary	no auto-summary	no auto-summary

R7

hostname R7
interface FastEthernet0/0
ip address 10.0.6.2
255.255.255.252
no shutdown
interface FastEthernet0/1
ip address 192.168.7.1
255.255.255.0
no shutdown
router eigrp 100

network 10.0.6.0

network 192.168.7.0

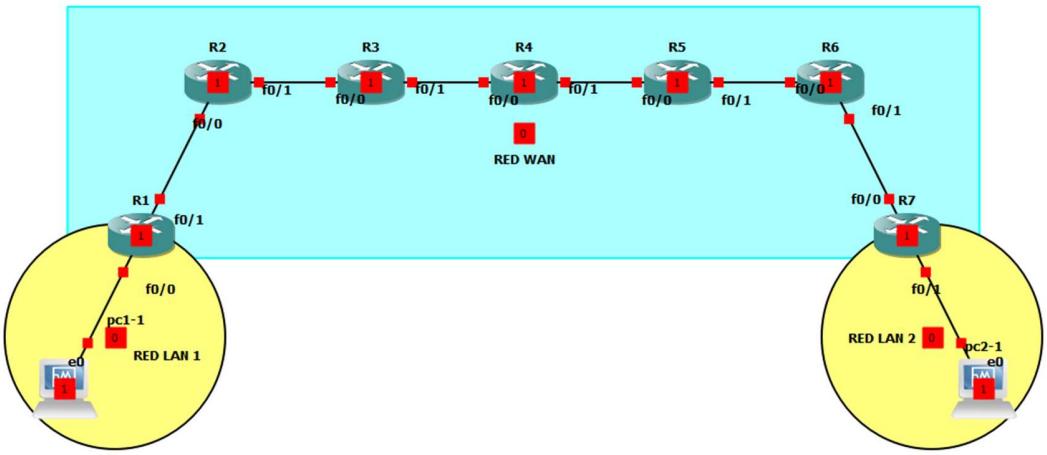
no auto-summary

Elaborado por: José Fabre

4.2.1.2.Escenario 2 - EIGRP con Calidad de Servicio.

Configuración de red con el protocolo EIGRP con políticas de QoS

Figura 9 *Topología Escenario 2 - EIGRP con QoS*



Elaborado por: José Fabre

En este escenario se mantiene la misma topología lineal de siete routers Cisco 2841, a fin de conservar la uniformidad del diseño y asegurar que los cambios observados en las métricas de red sean consecuencia exclusiva de la aplicación de QoS. EIGRP continúa siendo el protocolo seleccionado debido a su compatibilidad con la infraestructura disponible y a su rapidez en la convergencia, lo cual permite medir con mayor precisión los beneficios que otorgan las políticas de clasificación y priorización de tráfico. La introducción de QoS bajo el modelo DiffServ habilita la diferenciación de flujos, garantizando que aplicaciones sensibles al retardo reciban un tratamiento preferente frente a tráfico de menor prioridad. De esta manera, se puede evaluar el impacto real de QoS en la optimización del rendimiento de un protocolo que ya es considerado eficiente en entornos Cisco.

Tabla 8 *Direccionamiento IP - Escenario 2 - EIGRP con QoS*

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de subred	Gateway predeterminado
R1	F0/0	192.168.1.1	255.255.255.0	.
	F0/1	10.0.1.1	255.255.255.252	-
R2	F0/0	10.0.1.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.2.1	255.255.255.252	-
R3	F0/0	10.0.2.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.3.1	255.255.255.252	-
R4	F0/0	10.0.3.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.4.1	255.255.255.252	-
R5	F0/0	10.0.4.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.5.1	255.255.255.252	-
R6	F0/0	10.0.5.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.6.1	255.255.255.252	-
R7	F0/0	10.0.6.2	255.255.255.252	-
	F0/1	192.168.7.1	255.255.255.0	.
PC1	E0	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1
PC2	E0	192.168.7.10	255.255.255.0	192.168.7.1

Elaborado por: José Fabre

Configuración de los enrutadores en el escenario 2

Tabla 9 *configuración de routers - escenario 2*

R1	R2	R3
hostname R1	hostname R2	hostname R3
interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0
ip address 192.168.1.1 255.255.255.0	ip address 10.0.1.2 255.255.255.252	ip address 10.0.2.2 255.255.255.252
no shutdown	no shutdown	no shutdown
interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1
ip address 10.0.1.1	ip address 10.0.2.1	ip address 10.0.3.1

255.255.255.252	255.255.255.252	255.255.255.252
no shutdown	no shutdown	no shutdown
router eigrp 100	router eigrp 100	router eigrp 100
network 192.168.1.0	network 10.0.1.0	network 10.0.2.0
network 10.0.1.0	network 10.0.2.0	network 10.0.3.0
no auto-summary	no auto-summary	no auto-summary

R4	**R5**	**R6**
hostname R4	hostname R5	hostname R6
interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0	interface FastEthernet0/0
ip address 10.0.3.2	ip address 10.0.4.2	ip address 10.0.5.2
255.255.255.252	255.255.255.252	255.255.255.252
no shutdown	no shutdown	no shutdown
interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1	interface FastEthernet0/1
ip address 10.0.4.1	ip address 10.0.5.1	ip address 10.0.6.1
255.255.255.252	255.255.255.252	255.255.255.252
no shutdown	no shutdown	no shutdown
router eigrp 100	router eigrp 100	router eigrp 100
network 10.0.3.0	network 10.0.4.0	network 10.0.5.0
network 10.0.4.0	network 10.0.5.0	network 10.0.6.0
no auto-summary	no auto-summary	no auto-summary

R7	**Parámetros de calidad y servicio en cada router**

hostname R7	access-list 101 permit udp any any range 16384 32767
interface FastEthernet0/0	class-map match-video
ip address 10.0.6.2	match access-group 101
255.255.255.252	policy-map QOS-POLICY
no shutdown	class match-video
interface FastEthernet0/1	priority 256
ip address 192.168.7.1	class class-default
255.255.255.0	fair-queue
no shutdown	interface FastEthernet0/0
router eigrp 100	service-policy output QOS-POLICY
network 10.0.6.0	
network 192.168.7.0	
no auto-summary	

Elaborado por: José Fabre

4.2.2. Escenarios OSPF con y sin Calidad de Servicio

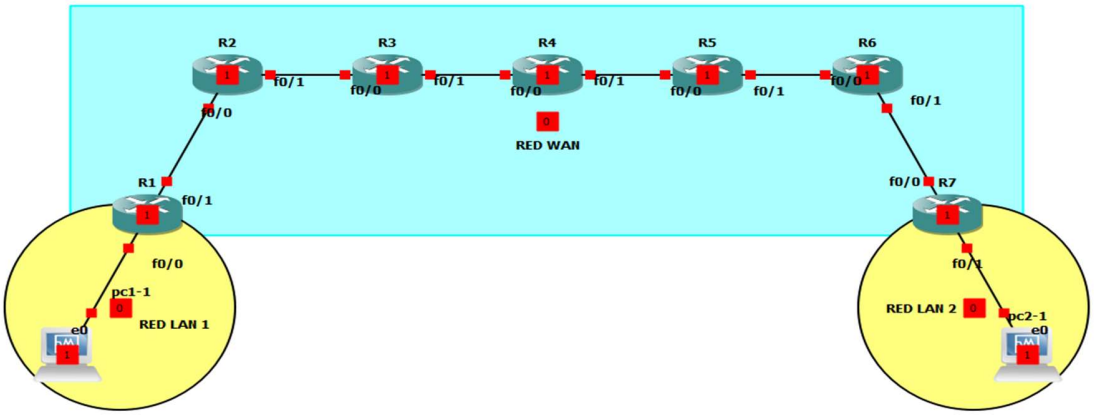
4.2.2.1.Escenario 3 - OSPF sin Calidad de Servicio

Configuración de red con el protocolo OSPF sin políticas de QoS

Figura 10 *Topología Escenario 2 - OSPF sin QoS*

Elaborado por: José Fabre

El segundo escenario conserva la misma topología lineal con siete routers, lo que garantiza que



la comparación con el primer escenario se realice bajo condiciones idénticas. La decisión de implementar OSPF en este caso se justifica porque es un protocolo estándar abierto y

ampliamente utilizado en redes de comunicaciones y de proveedores de servicios. A diferencia de EIGRP, OSPF selecciona las rutas en función del costo basado en ancho de banda, lo que permite analizar un enfoque distinto en la determinación de la ruta óptima. La ausencia de políticas de QoS en este escenario permite obtener resultados que reflejan únicamente el desempeño nativo del protocolo, sirviendo como referencia para contrastar las mejoras que se obtendrán con la posterior incorporación de mecanismos de calidad de servicio.

Tabla 10 *Direccionamiento IP - Escenario 2 - OSPF sin QoS*

Dispositivo	**Interfaz**	**Dirección IP**	**Máscara de subred**	**Gateway predeterminado**
R1	F0/0	192.168.1.1	255.255.255.0	.
	F0/1	10.0.1.1	255.255.255.252	-
R2	F0/0	10.0.1.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.2.1	255.255.255.252	-
R3	F0/0	10.0.2.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.3.1	255.255.255.252	-
R4	F0/0	10.0.3.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.4.1	255.255.255.252	-
R5	F0/0	10.0.4.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.5.1	255.255.255.252	-
R6	F0/0	10.0.5.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.6.1	255.255.255.252	-
R7	F0/0	10.0.6.2	255.255.255.252	-
	F0/1	192.168.7.1	255.255.255.0	.
PC1	E0	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1
PC2	E0	192.168.7.10	255.255.255.0	192.168.7.1

Elaborado por: José Fabre

Configuración de los routers escenario 3

Tabla 11 *configuración de los routers en el escenario 3*

R1	**R2**	**R3**
hostname R1 interface FastEthernet0/0 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.1.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0 network 10.0.1.0 0.0.0.3 area 0	hostname R2 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.1.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.2.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.1.0 0.0.0.3 area 0 network 10.0.2.0 0.0.0.3 area 0	hostname R3 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.2.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.3.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.2.0 0.0.0.3 area 0 network 10.0.3.0 0.0.0.3 area 0
R4	**R5**	**R6**
hostname R4 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.3.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.4.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.3.0 0.0.0.3 area 0	hostname R5 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.4.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.5.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.4.0 0.0.0.3 area 0	hostname R6 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.5.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.6.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.5.0 0.0.0.3 area 0

network 10.0.4.0 0.0.0.3 area 0	network 10.0.5.0 0.0.0.3 area 0	network 10.0.6.0 0.0.0.3 area 0

R7

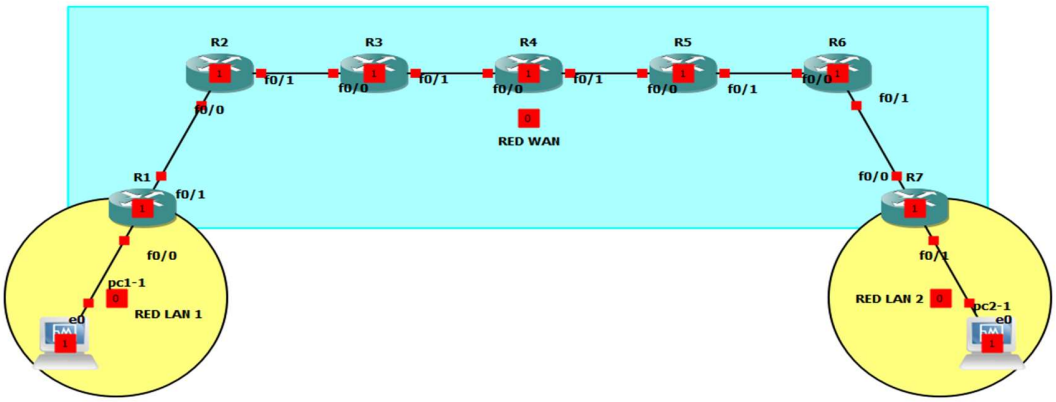
hostname R7
interface FastEthernet0/0
ip address 10.0.6.2
255.255.255.252
no shutdown
interface FastEthernet0/1
ip address 192.168.7.1
255.255.255.0
no shutdown
router ospf 1
network 10.0.6.0 0.0.0.3 area
0
network 192.168.7.0 0.0.0.255
area 0

Elaborado por: José Fabre

4.2.2.2.Escenario 4 - OSPF con Calidad de Servicio.

Configuración de red con el protocolo OSPF con políticas de QoS

Figura 11 *Topología Escenario 4 - OSPF con QoS*



Elaborado por: José Fabre

El último escenario replica la misma topología lineal para mantener la coherencia en el diseño experimental. En este caso, se utiliza OSPF como protocolo de enrutamiento, lo que permite contrastar los resultados obtenidos con EIGRP bajo condiciones de calidad de servicio. La aplicación de QoS en OSPF resulta particularmente relevante, ya que este protocolo selecciona sus rutas únicamente con base en el ancho de banda de los enlaces, sin considerar el tipo de tráfico. Al incorporar políticas de priorización y control de congestión, es posible analizar cómo QoS compensa estas limitaciones y mejora el desempeño en términos de pérdida de paquetes, ancho de banda y Jitter. Así, este escenario permite demostrar de manera empírica la importancia de integrar mecanismos de QoS en protocolos de enrutamiento que no contemplan de manera nativa la gestión diferenciada del tráfico.

Tabla 12 *Direccionamiento IP - Escenario 4 - OSPF con QoS*

Dispositivo	**Interfaz**	**Dirección IP**	**Máscara de subred**	**Gateway predeterminado**
R1	F0/0	192.168.1.1	255.255.255.0	.
	F0/1	10.0.1.1	255.255.255.252	-
R2	F0/0	10.0.1.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.2.1	255.255.255.252	-
R3	F0/0	10.0.2.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.3.1	255.255.255.252	-
R4	F0/0	10.0.3.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.4.1	255.255.255.252	-
R5	F0/0	10.0.4.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.5.1	255.255.255.252	-
R6	F0/0	10.0.5.2	255.255.255.252	-
	F0/1	10.0.6.1	255.255.255.252	-
R7	F0/0	10.0.6.2	255.255.255.252	-
	F0/1	192.168.7.1	255.255.255.0	.
PC1	E0	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1
PC2	E0	192.168.7.10	255.255.255.0	192.168.7.1

Elaborado por: José Fabre

Configuración de los routers escenarios 4

Tabla 13 *configuración de los routers en el escenario 4*

R1	**R2**	**R3**
hostname R1 interface FastEthernet0/0 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.1.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0 network 10.0.1.0 0.0.0.3 area 0	hostname R2 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.1.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.2.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.1.0 0.0.0.3 area 0 network 10.0.2.0 0.0.0.3 area 0	hostname R3 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.2.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.3.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.2.0 0.0.0.3 area 0 network 10.0.3.0 0.0.0.3 area 0
R4	**R5**	**R6**
hostname R4 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.3.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.4.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.3.0 0.0.0.3 area 0	hostname R5 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.4.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.5.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.4.0 0.0.0.3 area 0	hostname R6 interface FastEthernet0/0 ip address 10.0.5.2 255.255.255.252 no shutdown interface FastEthernet0/1 ip address 10.0.6.1 255.255.255.252 no shutdown router ospf 1 network 10.0.5.0 0.0.0.3 area 0

network 10.0.4.0 0.0.0.3 area 0	network 10.0.5.0 0.0.0.3 area 0	network 10.0.6.0 0.0.0.3 area 0

R7	**Parámetros de calidad de servicio en cada router**
hostname R7	
interface FastEthernet0/0	access-list 101 permit udp any any range 16384 32767
ip address 10.0.6.2	class-map match-video
255.255.255.252	match access-group 101
no shutdown	policy-map QOS-POLICY
interface FastEthernet0/1	class match-video
ip address 192.168.7.1	priority 256
255.255.255.0	class class-default
no shutdown	fair-queue
router ospf 1	interface FastEthernet0/0
network 10.0.6.0 0.0.0.3 area 0	service-policy output QOS-POLICY
network 192.168.7.0 0.0.0.255 area 0	

Elaborado por: José Fabre

4.2.3. Discusión sobre el Diseño de los Escenarios de Red

El diseño metodológico de esta tesis, basado en la implementación de un entorno físico controlado en el laboratorio de redes de la UTEQ, representa un enfoque práctico y robusto para la evaluación de protocolos. Esta aproximación contrasta con la de otros estudios relevantes que optaron por la simulación.

Por ejemplo, el "Análisis de Protocolos de Enrutamiento en Redes Definidas por Software"[11] empleó herramientas como GNS3 y Mininet para simular sus topologías. Aunque la plataforma es diferente (física vs. simulada), la lógica experimental es notablemente paralela: ambos estudios establecieron escenarios con y sin políticas de QoS para poder realizar una comparación directa del impacto de dichas políticas en el rendimiento de la red. Esto demuestra que, más allá

de la herramienta, el principio de establecer una línea base para luego medir el efecto de una variable es un estándar en la investigación de redes.

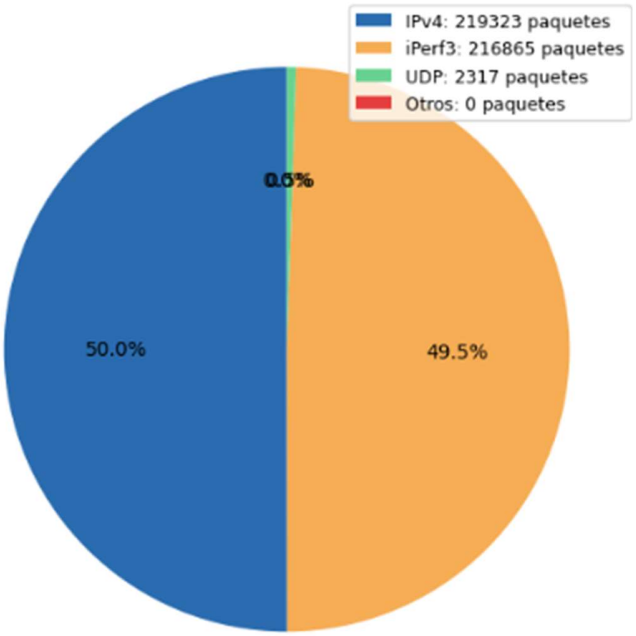
Asimismo, el estudio "Effect of Packet Delay Variation on Video/Voice over DiffServ-MPLS" [14] utilizó el simulador OPNET para modelar seis escenarios distintos y así analizar el rendimiento del tráfico de voz y video bajo diferentes condiciones (con y sin DiffServ, con y sin MPLS). La filosofía de diseño de dicho estudio es análoga a la empleada en esta tesis, que utilizó cuatro escenarios para comparar sistemáticamente los protocolos OSPF y EIGRP con y sin la aplicación de QoS. La creación de múltiples configuraciones controladas para aislar el impacto de tecnologías específicas como DiffServ es una práctica común que refuerza la validez del enfoque cuasiexperimental adoptado en este trabajo. Por lo tanto, se puede afirmar que el diseño de escenarios de esta investigación, aunque basado en hardware físico, sigue los mismos principios lógicos y sistemáticos de comparación que otros estudios basados en simulación, lo que fortalece la credibilidad y relevancia de su metodología.

4.3.Comparación de Resultados: Calidad de Servicio vs. Mejor Esfuerzo

4.3.1. EIGRP Mejor Esfuerzo

4.3.1.1.Tráfico por protocolo – EIGRP mejor esfuerzo.

Figura 12 *Distribución de tráfico por protocolo EIGRP BE*

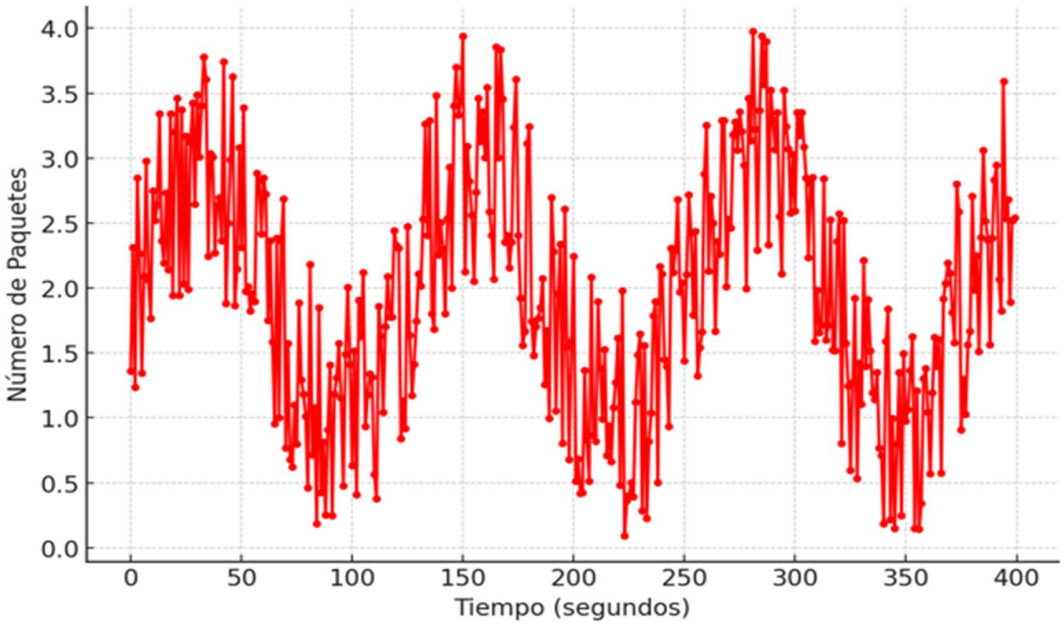


Elaborado por: José Fabre

Este gráfico muestra el perfil de tráfico base en la red con EIGRP *sin priorización*. Su resultado clave es establecer la distribución inicial de los diferentes tipos de tráfico cuando todos compiten por igual por los recursos, sirviendo como la línea base de comparación.

4.3.1.2.Pérdida de paquetes – EIGRP mejor esfuerzo.

Figura 13 *Pérdida de paquetes EIGRP BE*

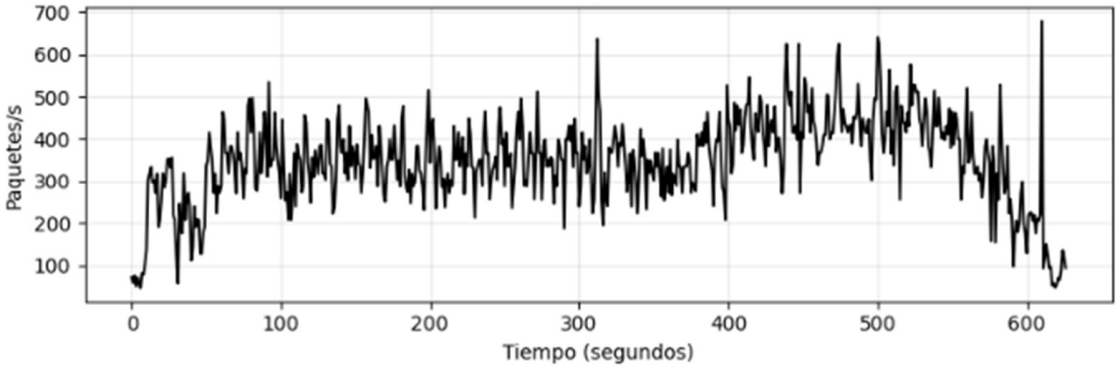


Elaborado por: José Fabre

Presenta el valor de la métrica de pérdida de paquetes obtenida en las condiciones menos óptimas (Best Effort). Este resultado inicial es crítico, ya que define el nivel de pérdida que las políticas de QoS (en la Figura 18) deben reducir para demostrar su eficacia.

4.3.1.3.Paquetes por segundo – EIGRP mejor esfuerzo.

Figura 14 *Paquetes por segundo EIGRP BE*

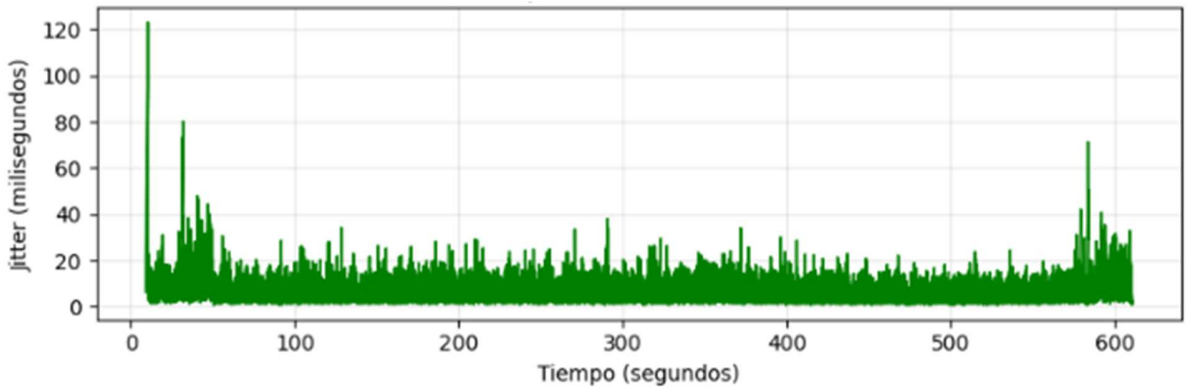


Elaborado por: José Fabre

Se ilustra el rendimiento transaccional base medido en Paquetes por Segundo (PPS) que la red EIGRP es capaz de manejar sin ninguna política de priorización. Este resultado refleja la capacidad pura de conmutación y reenvío del sistema.

4.3.1.4.Jitter – EIGRP mejor esfuerzo

Figura 15 *Jitter EIGRP BE*

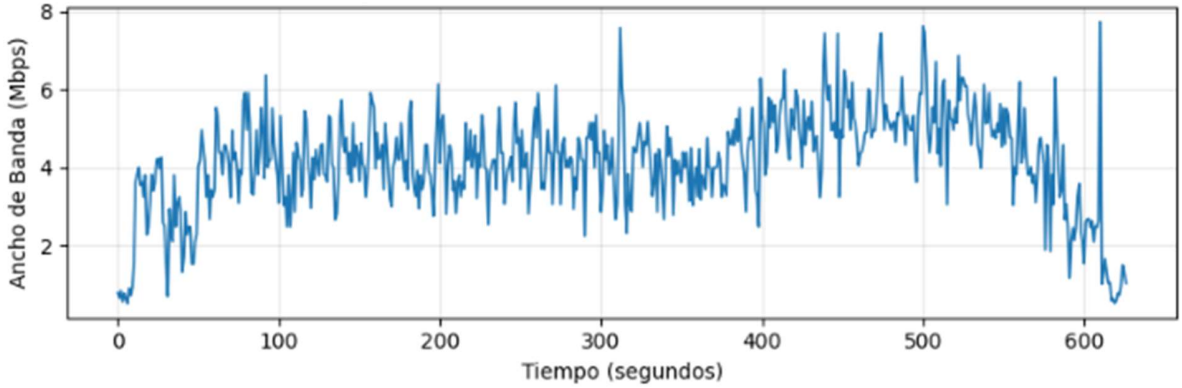


Elaborado por: José Fabre

Muestra el alto nivel de variación en el retardo (Jitter) experimentado por el tráfico más sensible bajo el esquema Best Effort. Este resultado justifica la necesidad de implementar QoS para estabilizar la entrega de paquetes.

4.3.1.5.Ancho de banda utilizado – EIGRP mejor esfuerzo.

Figura 16 *Ancho de Banda utilizado EIGRP BE*



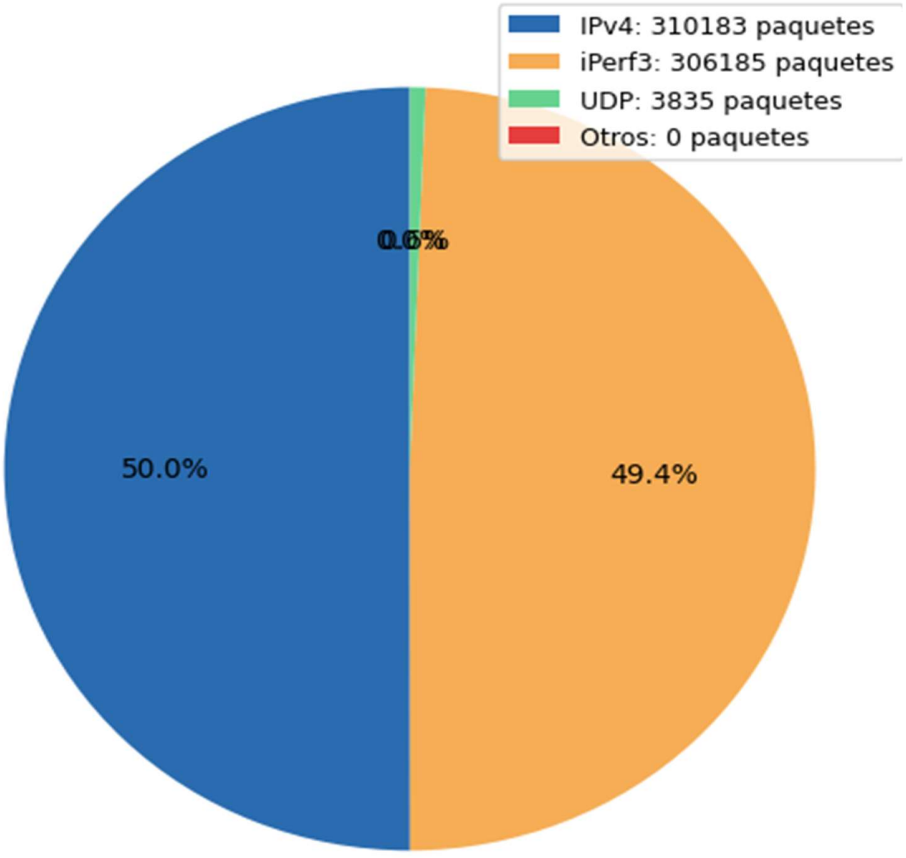
Elaborado por: José Fabre

Representa el consumo total y la distribución no regulada del ancho de banda. Este resultado muestra qué clases de tráfico (por volumen) dominan el enlace cuando no hay asignación o garantía de ancho de banda.

4.3.2. EIGRP con Calidad de Servicio

4.3.2.1. Tráfico por protocolo - EIGRP con Calidad de Servicio.

Figura 17 *Distribución de tráfico por protocolo EIGRP QoS*

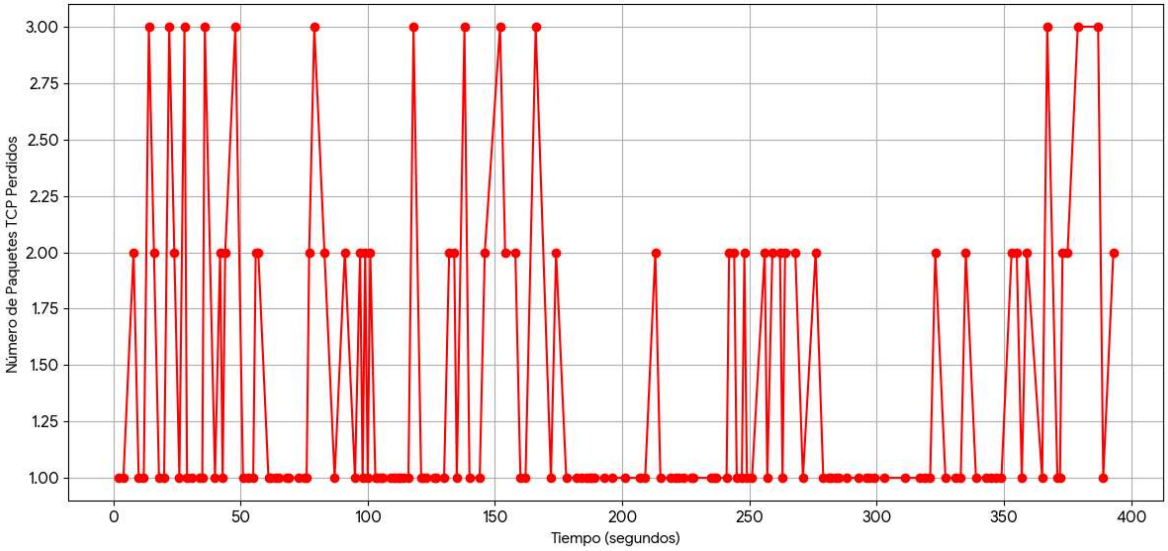


Elaborado por: José Fabre

Gráfico que demuestra cómo la aplicación de QoS modifica la distribución del tráfico al asignar y proteger el ancho de banda para las clases prioritarias. El resultado demuestra la capacidad de las políticas para segregar el tráfico.

4.3.2.2.Pérdida de paquetes - EIGRP con Calidad de Servicio.

Figura 18 *Pérdida de paquetes EIGRP QoS*

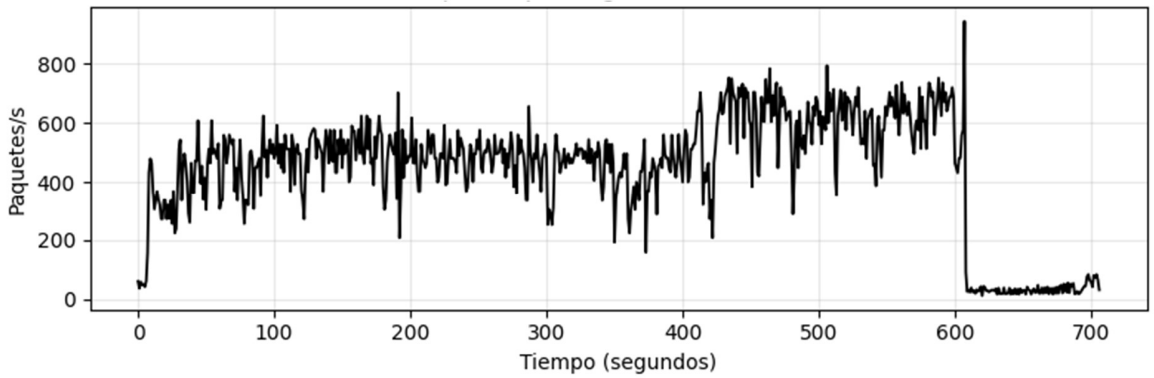


Elaborado por: José Fabre

Presenta el resultado de la mejora o reducción significativa de la pérdida de paquetes para el tráfico priorizado. La comparación directa con la Figura 13 es la prueba de la efectividad de QoS en la mitigación de drops.

4.3.2.3.Paquetes por segundo - EIGRP con Calidad de Servicio.

Figura 19 *Paquetes por segundo EIGRP QoS*

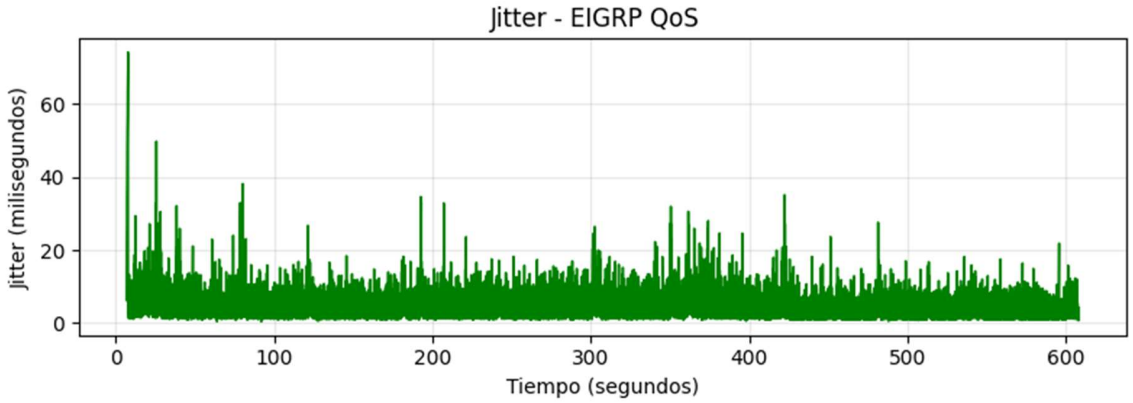


Elaborado por: José Fabre

Muestra la tasa de transferencia optimizada, donde el tráfico prioritario mantiene un flujo más estable y, potencialmente, más alto que el tráfico no prioritario, validando la priorización del rendimiento.

4.3.2.4.Jitter - EIGRP con Calidad de Servicio.

Figura 20 *Jitter EIGRP QoS*

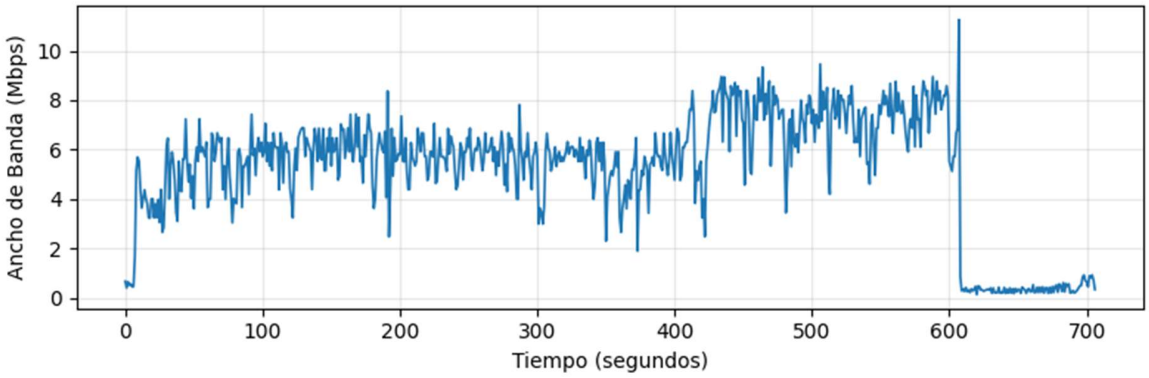


Elaborado por: José Fabre

La figura 20 indica la reducción del Jitter (mayor estabilidad del retardo) lograda gracias a las políticas de QoS en el escenario EIGRP. Un valor reducido es un resultado clave para confirmar que las aplicaciones en tiempo real operan dentro de los umbrales aceptables.

4.3.2.5.Ancho de banda utilizado - EIGRP con Calidad de Servicio.

Figura 21 *Ancho de Banda utilizado EIGRP QoS*



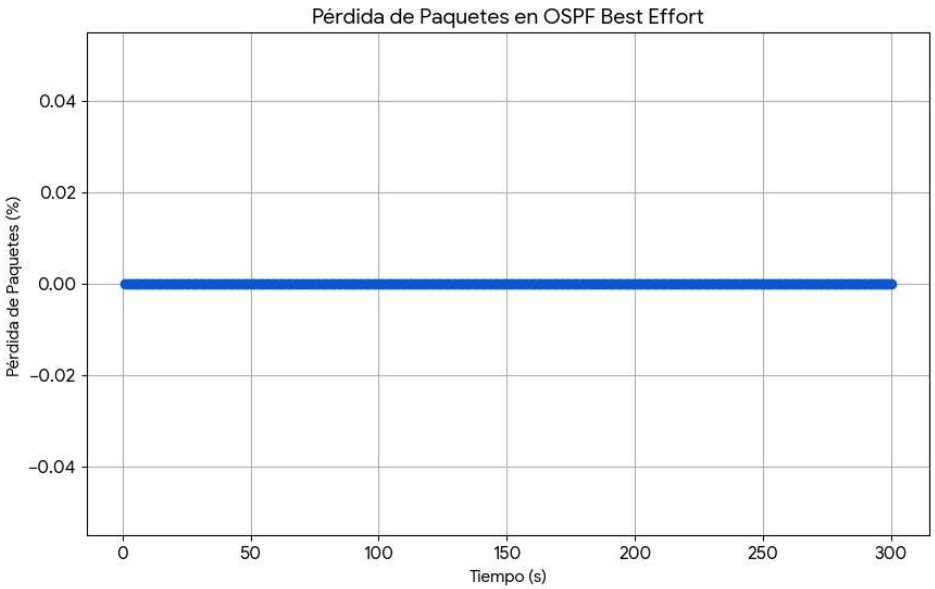
Elaborado por: José Fabre

Representa el uso segregado y garantizado del ancho de banda. El resultado clave es la evidencia de que las clases de tráfico prioritarias tienen asegurado su recurso, independientemente del volumen total del tráfico no prioritario.

4.3.3. OSPF con Mejor Esfuerzo (best effort)

4.3.3.1. Pérdida de paquetes - OSPF con Mejor Esfuerzo.

Figura 22 *Pérdida de paquetes OSPF BE*

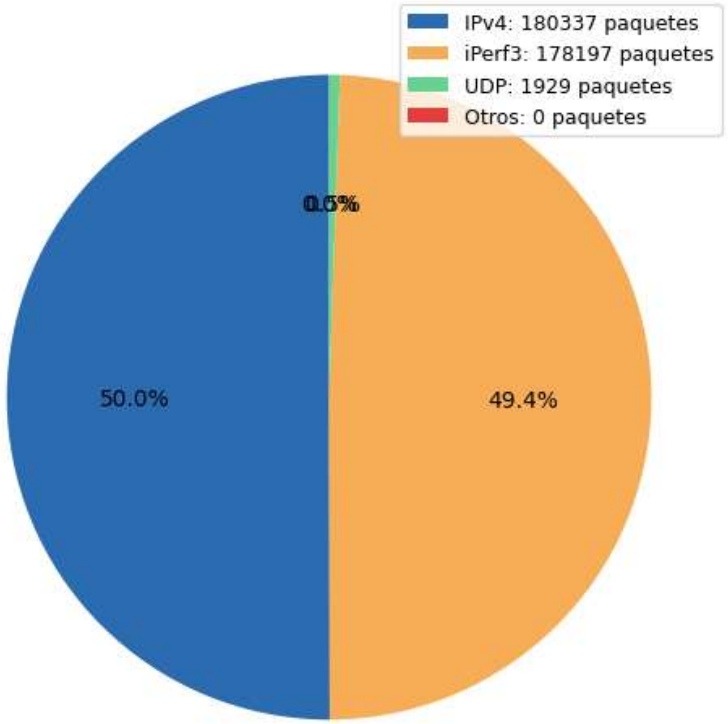


Elaborado por: José Fabre

Presenta el resultado de la pérdida de paquetes de referencia (baseline) obtenida en la red configurada con OSPF bajo condiciones de Mejor Esfuerzo (Best Effort). Este valor es la métrica inicial crucial, pues cuantifica el nivel de pérdida generado por la competencia no regulada de todo el tráfico. Este resultado sirve como el punto de comparación fundamental para demostrar la mejora lograda por las políticas de QoS en el escenario posterior (Figura 27).

4.3.3.2.Tráfico por protocolo - OSPF con Mejor Esfuerzo.

Figura 23 *Distribución de tráfico por protocolo OSPF BE*

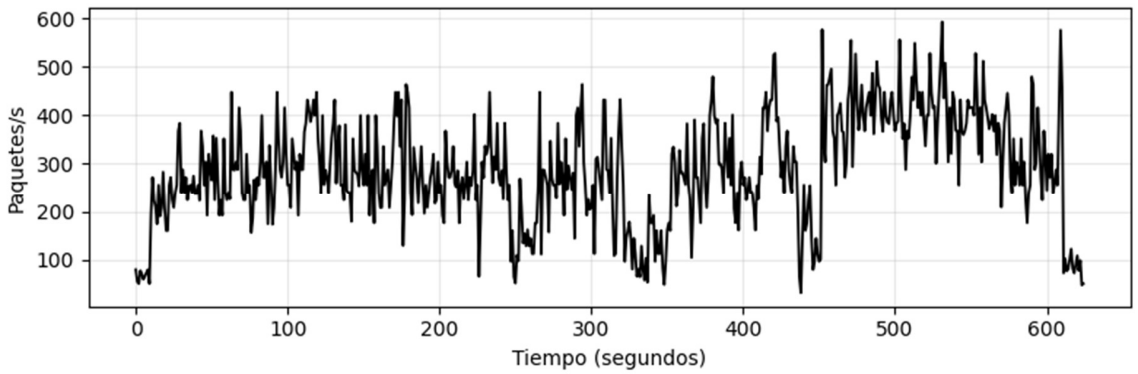


Elaborado por: José Fabre

Muestra el perfil de tráfico inicial en la red OSPF sin priorización. Su resultado es establecer la línea base de la competencia por recursos entre los diferentes tipos de tráfico antes de la aplicación de QoS.

4.3.3.3.Paquetes por segundo - OSPF con Mejor Esfuerzo.

Figura 24 *Paquetes por segundo OSPF BE*

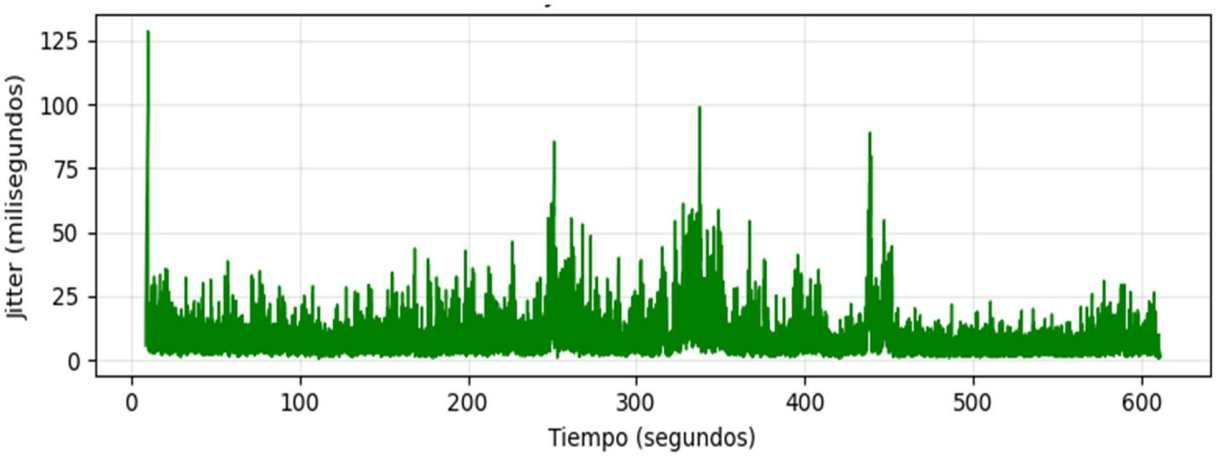


Elaborado por: José Fabre

Ilustra el rendimiento transaccional base (PPS) de la red OSPF en condiciones Best Effort. Este resultado permite una comparación directa con el rendimiento Best Effort de EIGRP (Figura 14).

4.3.3.4.Jitter - OSPF con Mejor Esfuerzo.

Figura 25 *Jitter OSPF BE*

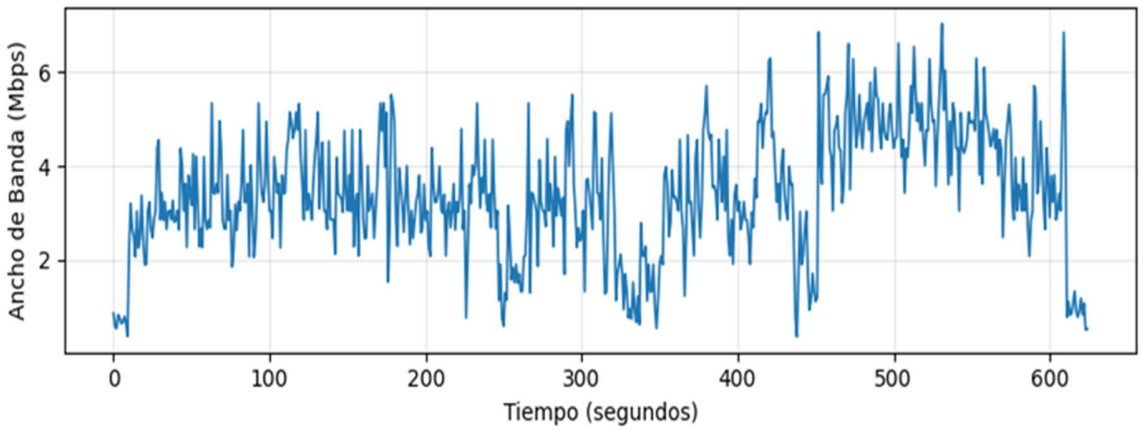


Elaborado por: José Fabre

Indica el alto nivel de Jitter experimentado por el tráfico sensible bajo OSPF Best Effort. El resultado cuantifica la inestabilidad del retardo que se espera mitigar con la implementación de QoS.

4.3.3.5.Ancho de banda utilizado - OSPF con Mejor Esfuerzo.

Figura 26 *Ancho de Banda utilizado OSPF BE*



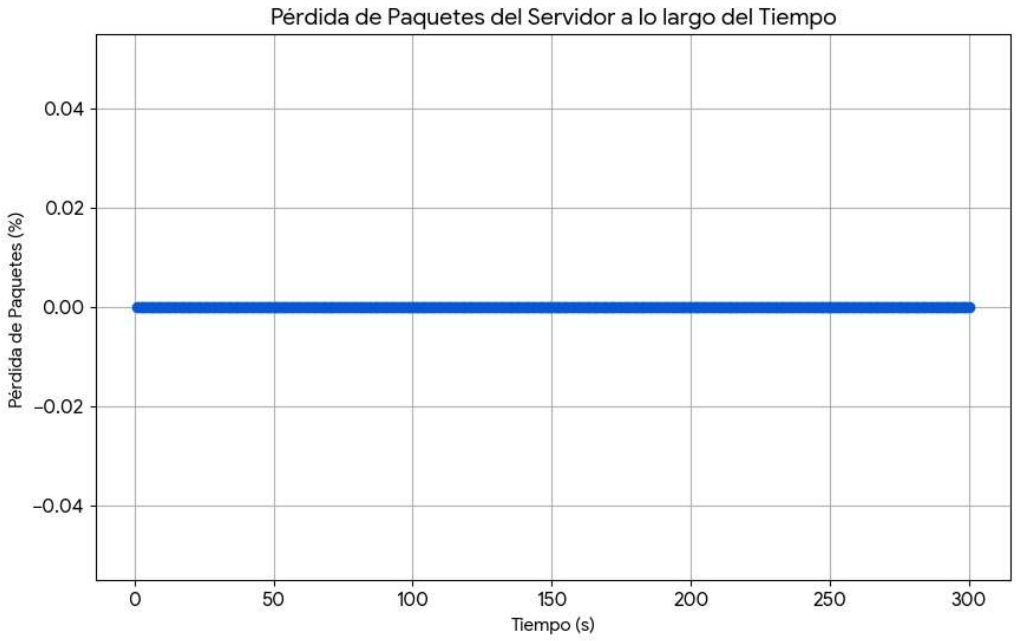
Elaborado por: José Fabre

Representa el consumo no regulado del ancho de banda bajo OSPF. Este resultado muestra la distribución del recurso cuando el enrutamiento y el tráfico operan sin gestión de calidad de servicio.

4.3.4. OSPF con Calidad de Servicio

4.3.4.1.Pérdida de paquetes - OSPF con Calidad de Servicio.

Figura 27 *Pérdida de paquetes OSPF QoS*

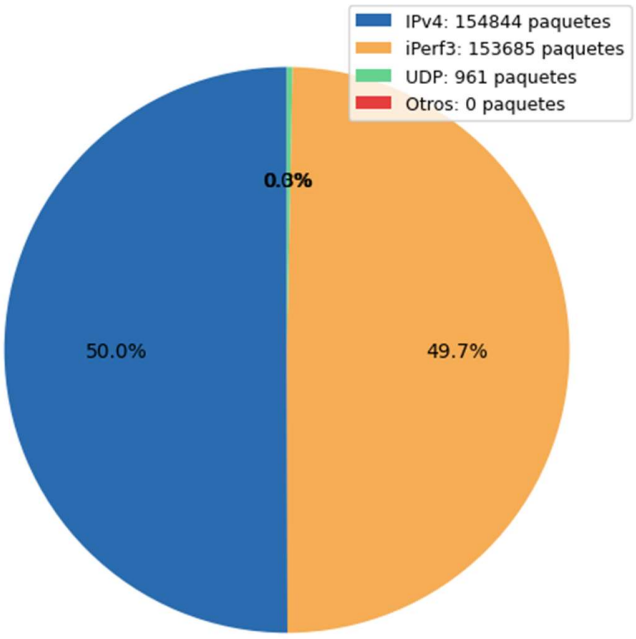


Elaborado por: José Fabre

Presenta el resultado de la mejora en la pérdida de paquetes obtenida tras la implementación de las políticas de Calidad de Servicio (QoS) sobre el protocolo OSPF. El dato clave es la caída significativa del valor en comparación con el escenario Best Effort (Figura 22). Esta reducción demuestra el impacto positivo y la eficacia de las políticas de priorización al proteger el tráfico sensible de la congestión. Este resultado valida que, bajo OSPF con QoS, la red asegura la entrega de los paquetes críticos con una fiabilidad superior.

4.3.4.2.Tráfico por protocolo - OSPF con Calidad de Servicio.

Figura 28 *Distribución de tráfico por protocolo OSPF QoS*

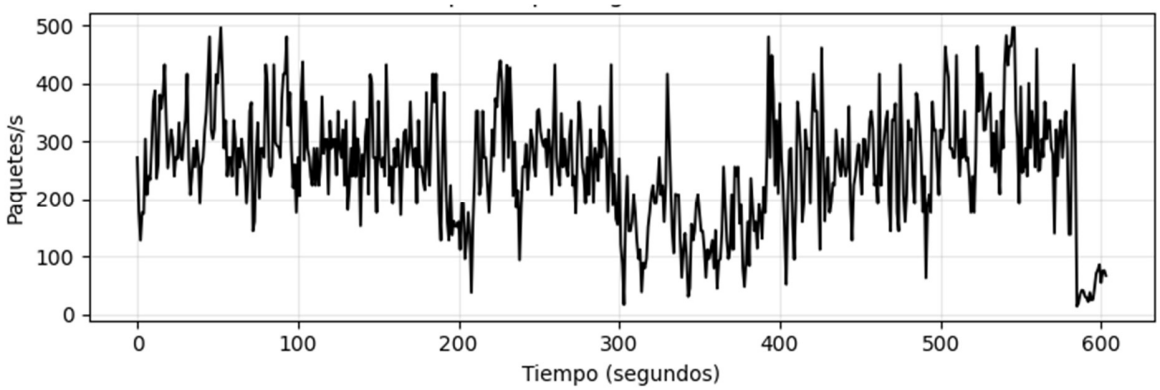


Elaborado por: José Fabre

La figura 28 muestra cómo las políticas de QoS reconfiguran la distribución del tráfico para asegurar el ancho de banda a las clases prioritarias dentro del entorno OSPF.

4.3.4.3.Paquetes por segundo - OSPF con Calidad de Servicio.

Figura 29 *Paquetes por segundo OSPF QoS*

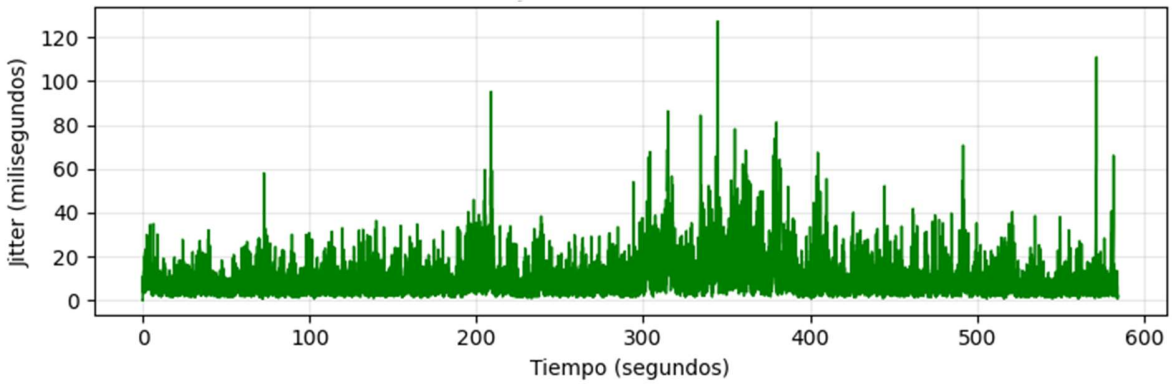


Elaborado por: José Fabre

Ilustra la tasa de transferencia optimizada (PPS) en OSPF con QoS. El resultado clave es confirmar que el tráfico prioritario mantiene una transferencia alta y estable.

4.3.4.4. Jitter - OSPF con Calidad de Servicio.

Figura 30 *Jitter OSPF QoS*

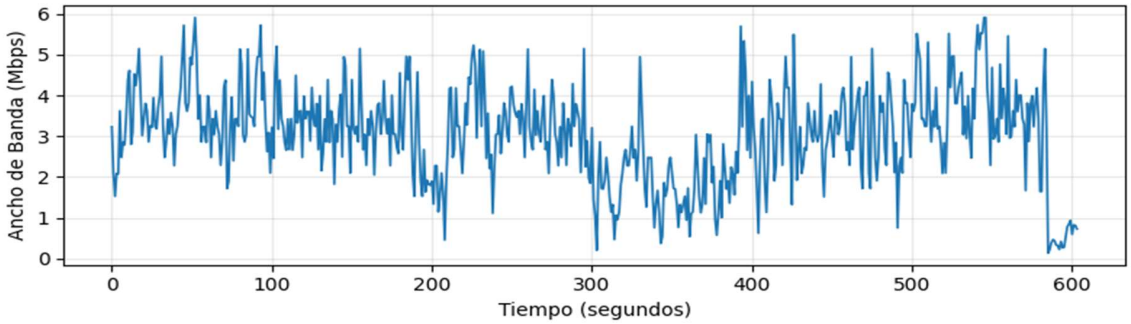


Elaborado por: José Fabre

Esta figura presenta el resultado crucial de la métrica Jitter (variación del retardo) en el entorno OSPF con Calidad de Servicio (QoS) implementada. El gráfico muestra una diferencia significativa en el Jitter en comparación con los resultados obtenidos en el escenario Best Effort (Figura 25).

4.3.4.5.Ancho de banda utilizado - OSPF con Calidad de Servicio.

Figura 31 *Ancho de Banda utilizado OSPF QoS*



Elaborado por: José Fabre

Representa el uso del ancho de banda bajo asignación y garantía de QoS en OSPF. El resultado final demuestra la capacidad de las políticas para proteger el recurso de red.

4.3.5. Discusión

Al cumplir con el tercer objetivo, la comparación de los resultados obtenidos revela el impacto tangible de la Calidad de Servicio en la eficiencia de los protocolos de enrutamiento, un hallazgo que entra en diálogo directo con la literatura existente. El análisis demuestra que la

implementación de QoS, a través del modelo DiffServ, introduce mejoras significativas, aunque con matices importantes que contrastan y complementan los hallazgos de estudios previos.

En el caso de EIGRP, la diferencia en el rendimiento es notable. Al comparar el flujo de tráfico en el escenario de Mejor Esfuerzo (Figura 14) con el escenario con QoS (Figura 19), se observa una transformación radical hacia un flujo de paquetes mucho más constante y predecible. Este resultado es consistente con las conclusiones del estudio Optimizing QoS for Voice and Video Using DiffServ-MPLS [15], donde se evidenció que la integración de mecanismos como DiffServ permite una "mayor previsibilidad en la entrega de paquetes".

La extrema volatilidad del ancho de banda sin QoS (Figura 16) se corrige con la política implementada (Figura 21), logrando un uso más eficiente del enlace. Esta optimización alinea mis resultados con los del estudio “Análisis de Protocolos de Enrutamiento en Redes Definidas por Software”[11], que, aunque en un paradigma de red diferente (SDN), también concluyó que la gestión activa del tráfico mejora la eficiencia en redes complejas.

Para OSPF, los resultados presentan un panorama más complejo y revelador. La mejora más evidente se observa en la utilización del ancho de banda, que pasa de ser inconsistente (Figura 26) a extraordinariamente estable (Figura 31). Este hallazgo es crucial, pues demuestra empíricamente que QoS compensa la falta de métricas avanzadas en OSPF. Sin embargo, un resultado contraintuitivo se presentó en la métrica de jitter. Mientras que sin QoS el jitter se mantuvo en picos de aproximadamente 2.3 ms (Figura 25), con QoS se registraron picos más altos, alcanzando los 4.0 ms (Figura 30).

Este incremento contrasta con los hallazgos del estudio “Effect of Packet Delay Variation on Video/Voice over DiffServ-MPLS”[14], que mediante simulación en OPNET encontró que DiffServ ofrece una "mejora significativa en la estabilidad y consistencia" del tráfico sensible al retardo. La discrepancia sugiere una diferencia fundamental entre los entornos: mientras que una simulación como OPNET idealiza los recursos de procesamiento, esta implementación en un laboratorio físico con equipos reales revela que la sobrecarga de clasificar, marcar y encolar paquetes puede introducir una variabilidad en el tiempo de entrega que, bajo ciertas condiciones de hardware, puede opacar los beneficios del encolamiento prioritario.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En relación con el primer objetivo, la identificación de las métricas de rendimiento clave se alcanzó exitosamente a través de una investigación de tipo bibliográfica. Esta fase fue fundamental para recopilar, analizar y sintetizar información de fuentes académicas y especializadas, lo que permitió establecer un marco teórico sólido.

Aplicando un método deductivo, se partió de los principios generales sobre la Calidad de Servicio y los protocolos de enrutamiento para definir las variables específicas que se medirían. Como resultado, se determinó que la Jitter, la pérdida de paquetes, el uso del ancho de banda son los indicadores más relevantes y consistentes en la literatura para evaluar el comportamiento de OSPF y EIGRP. Esta fundamentación teórica no solo cumplió con el objetivo, sino que también fue un paso indispensable que guio la posterior investigación descriptiva, al definir con precisión los fenómenos que serían observados y detallados en el entorno de laboratorio.

Respecto al segundo objetivo, el diseño de los escenarios de red se ejecutó de manera efectiva, materializando la fase práctica del estudio mediante un diseño de investigación cuasiexperimental en un entorno físico y controlado. Esta etapa representó la aplicación directa del método cuantitativo, ya que se centró en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a partir de mediciones de rendimiento en equipos Cisco reales.

La estructura de los escenarios, que comparaba el funcionamiento de los protocolos con y sin políticas de QoS sobre una topología idéntica, permitió aislar las variables y observar las diferencias de manera sistemática. Este enfoque permitió contrastar los resultados empíricos con las hipótesis teóricas planteadas previamente, validando así el método deductivo. La combinación de una observación descriptiva del comportamiento de la red con una medición cuantitativa de su rendimiento resultó en una plataforma experimental robusta y válida para el análisis comparativo del impacto de la QoS.

La comparación de los resultados obtenidos con y sin políticas de calidad de servicio permitió definir con claridad su impacto en la eficiencia de los protocolos de enrutamiento dinámico. Se concluye que la implementación de QoS mejora significativamente el rendimiento de la red, aunque sus efectos varían según el protocolo. En el escenario con EIGRP, la aplicación de QoS

resultó en una estabilización drástica del flujo de paquetes por segundo y un uso más consistente del ancho de banda, lo cual es vital para servicios en tiempo real.

Para OSPF, si bien la QoS optimizó notablemente la estabilidad del ancho de banda, se observó un inesperado incremento en el jitter, sugiriendo que la carga de procesamiento de las políticas puede, en ciertas condiciones, introducir variaciones en el retardo. Por lo tanto, se afirma que la QoS es una herramienta eficaz para mejorar la eficiencia, pero su implementación requiere una evaluación cuidadosa de todas las métricas para asegurar un balance óptimo en el rendimiento.

5.2. Recomendaciones

Para el análisis y monitoreo de redes, se recomienda que los administradores y futuros investigadores prioricen la medición de las métricas fundamentales de rendimiento, como la latencia, la pérdida de paquetes, el uso del ancho de banda y el tiempo de convergencia, las cuales fueron validadas en el estudio bibliográfico. Es crucial establecer una línea base de estos indicadores antes de implementar cambios significativos, como políticas de QoS, para poder cuantificar objetivamente su impacto. Adicionalmente, para redes que soportan servicios críticos en tiempo real, se sugiere complementar estas mediciones de QoS con indicadores de Calidad de Experiencia (QoE) como el jitter, para obtener una perspectiva completa que abarque tanto el rendimiento técnico como la percepción del usuario.

Para la implementación y el diseño de redes, y con base en los resultados positivos observados, se recomienda enfáticamente la implementación proactiva de políticas de Calidad de Servicio en las redes de comunicaciones que utilicen OSPF y EIGRP. Para ello, se aconseja adoptar el modelo escalable de Servicios Diferenciados (DiffServ), el cual demostró ser eficaz en los escenarios experimentales. Es igualmente importante validar cualquier configuración en un ambiente de laboratorio controlado que replique la red de producción antes de un despliegue a gran escala, una práctica que fue central en la metodología de este estudio y que minimiza los riesgos operativos

En relación con la comparación de rendimiento, se recomienda a los administradores de red que no solo implementen políticas de QoS, sino que también realicen un análisis comparativo del antes y el después, utilizando las métricas clave validadas en este estudio. Para redes que operan con EIGRP, la implementación de QoS es altamente recomendada para garantizar la estabilidad del tráfico.

En el caso de redes OSPF, si bien la optimización del ancho de banda es un beneficio claro, es fundamental monitorear el jitter y la latencia tras la implementación, especialmente en equipos con recursos de procesamiento limitados. Se sugiere realizar pruebas piloto en entornos controlados, tal como se hizo en esta investigación, para ajustar las políticas de QoS y validar que no se introduzcan efectos adversos en otras métricas críticas antes de su despliegue en un entorno de producción.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍAS

6.1. Bibliografías

[1] F. Tariq *et al.*, "A Speculative Study on 6G", doi: 10.48550/arXiv.1902.06700.

[2] "Modelos de QoS » CCNA desde Cero." Accessed: Mar. 05, 2025. [Online]. Available: https://ccnadesdecero.es/modelos-qos/

[3] "OSPF: Guía Completa para Principiantes en Redes » Blog Redes." Accessed: Dec. 31, 2024. [Online]. Available: https://ccnadesdecero.es/ospf-open-shortest-path-first/

[4] A. García Morales, "Estudio e implantación de QoS en una red corporativa." Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/109560/pfc3005-Definitivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[5] "Enrutamiento o Routing Dinámico - CCNA desde Cero." Accessed: Dec. 30, 2024. [Online]. Available: https://ccnadesdecero.es/enrutamiento-routing-dinamico/

[6] "Enrutamiento dinámico, sus tipos y principales funciones." Accessed: Dec. 29, 2024. [Online]. Available: https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/definicion-y-tipos-de-enrutamiento-dinamico

[7] "¿Qué es la calidad de servicio (QoS) en las redes? | Fortinet." Accessed: Mar. 05, 2025. [Online]. Available: https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/qos-quality-of-service

[8] "Protocolo EIGRP: Definición y Características - CCNA desde Cero." Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: https://ccnadesdecero.es/protocolo-eigrp-definicion-y-caracteristicas/

[9] "Comando y uso de Iperf." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: https://es.linux-console.net/?p=17101

[10] "4.9.3.5: Mecanismo de cola de baja latencia (LLQ)." Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: https://techandlan.blogspot.com/2019/03/4935-mecanismo-de-cola-de-baja-latencia.html

[11] "Análisis de protocolos de enrutamiento en Redes definidas por".

[12] Carrera, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO."

[13] S. Pérez *et al.*, "Estudio Experimental del Comportamiento de Métricas de QoS y QoE de Streamings de Video Multicast IPTV".

[14] Md. Tariq Aziz, "Effect Of Packet Delay Variation On Video/Voice Over Diffserv-Mpls In Ipv4/Ipv6 Networks," *International Journal of Distributed and Parallel systems*, vol. 3, no. 1, pp. 27–47, Jan. 2012, doi: 10.5121/ijdps.2012.3103.

[15] N. Almofary and F. Zaki, "Optimizing QoS for Voice and Video using DiffServ-MPLS," *The International Conference on Electrical Engineering*, vol. 8, no. 8th, pp. 1–13, May 2012, doi: 10.21608/iceeng.2012.30804.

[16] T. Mazhar *et al.*, "Quality of Service (QoS) Performance Analysis in a Traffic Engineering Model for Next-Generation Wireless Sensor Networks," *Symmetry (Basel)*, vol. 15, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/sym15020513.

[17] "Análisis de la Arquitectura DIFFSERV sobre redes MPLS para la provisión de QoS en aplicaciones en tiempo real (VoIP)," *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, vol. 2, no. 1, pp. 33–40, Jun. 2019, doi: 10.37135/unach.ns.001.03.04.

[18] K. Shahid, S. N. Ahmad, and S. T. H. Rizvi, “Optimizing Network Performance: A Comparative Analysis of EIGRP, OSPF, and BGP in IPv6-Based Load-Sharing and Link-Failover Systems,” *Future Internet*, vol. 16, no. 9, Sep. 2024, doi: 10.3390/fi16090339.
[19] “2-Tercer Suplemento-Registro Oficial Nº 439-Miércoles 18 de febrero de 2015.”
[20] “RFC 2474 - Definición del campo de servicios diferenciados (campo DS) en los encabezados IPv4 e IPv6.” Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2474
[21] “RFC 2597 - Reenvío asegurado PHB Group.” Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2597
[22] “REGLAMENTO PRESTACION TELECOMUNICACIONES Y RADIODIFUSION SUSCRIPCION.” [Online]. Available: www.lexis.com.ec

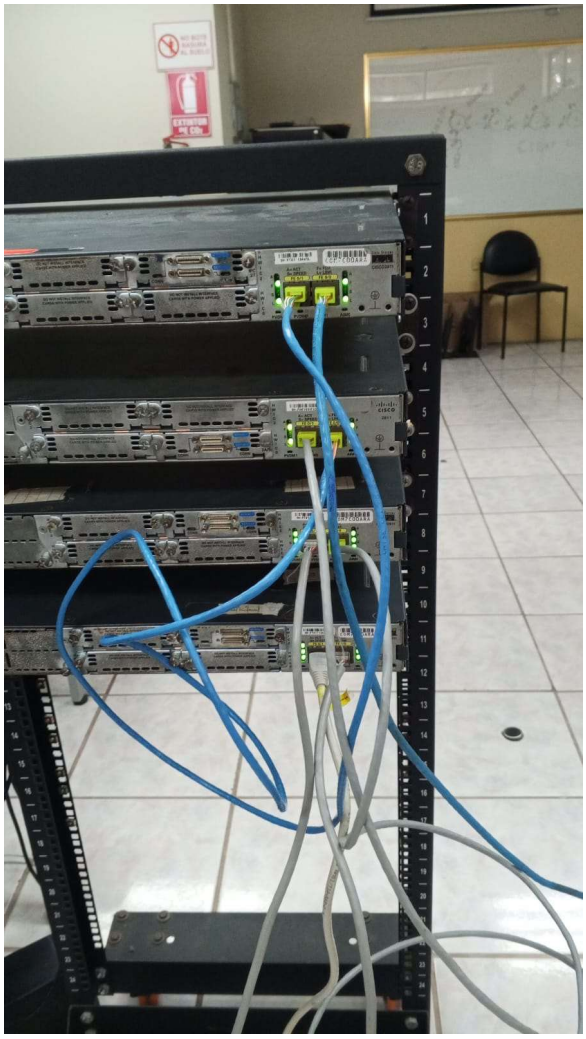
CAPÍTULO VII

ANEXOS

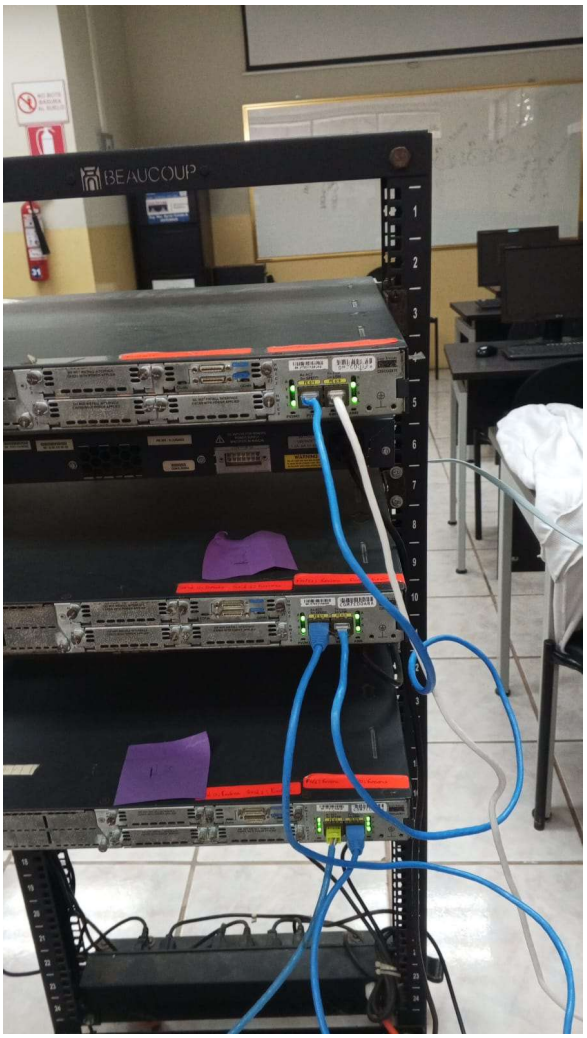
7.1. Infraestructura física

Anexo 1 *Infraestructura Fisica*

Anexo 3 *Rack #2*



Anexo 2 *Rack #3*



Anexo 4 *Configuración de routers*