

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO EN REDES LOCALES BAJO
DIFERENTES ESCENARIOS DE DENSIDAD DE DISPOSITIVOS**
**EXPERIMENTAL EVALUATION OF PERFORMANCE IN LOCAL NETWORKS UNDER
DIFFERENT DEVICE DENSITY SCENARIOS**

Autores: ¹Noé Toledo González y ²Maira Selene Ríos Gómez.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0034-8376>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0896-4061>

¹E-mail de contacto: noe.toledo@utmatamoros.edu.mx

²E-mail de contacto: maira.rios@utmatamoros.edu.mx

Afiliación: ¹²Universidad Tecnológica de Matamoros, (México).

Artículo recibido: 01 de Mayo del 2026

Artículo revisado: 03 de Mayo del 2026

Artículo aprobado: 05 de Mayo del 2026

¹Ingeniero en Sistemas Computacionales, egresado del Instituto Tecnológico de Matamoros, (México). Maestro en Docencia, egresado de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, (México). Doctor en Proyectos, egresado de la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, (México).

²Licenciada en Informática, egresada del Instituto Tecnológico de CD Victoria, (México). Maestra en Energías Renovables, egresada de la Universidad Politécnica de Victoria, (México).

Resumen

El presente estudio analiza el impacto de la densidad de dispositivos sobre el desempeño de redes locales de alta conectividad. Se diseñaron tres escenarios experimentales baja, media y alta densidad en un laboratorio de pruebas controlado, utilizando herramientas de monitoreo como Wireshark, Advanced IP Scanner e Iperf3. Los parámetros evaluados fueron la latencia, la pérdida de paquetes y el ancho de banda, considerados métricas críticas para determinar la calidad del servicio (QoS) en entornos de alta demanda. Los resultados muestran que la latencia se incrementa de 1,30 milisegundos en baja densidad a 4,80 milisegundos en alta densidad; la pérdida de paquetes se eleva de 0,5 % a 5,8 %, mientras que el ancho de banda disponible disminuye de 250 Megabits por segundo a 90 Megabits por segundo, lo que representa una reducción superior del 64%. Estos hallazgos evidencian la degradación del rendimiento de red a medida que aumenta la cantidad de dispositivos conectados, lo que compromete aplicaciones sensibles al tiempo como videoconferencias o sistemas de control industrial. Se concluye que la gestión proactiva del tráfico, mediante estrategias de Calidad de Servicio (QoS), segmentación de red y priorización de tráfico crítico, constituye una medida esencial para mantener la estabilidad y escalabilidad en redes de alta densidad.

Palabras clave: Calidad de Servicio (QoS), Densidad de Red, Latencia de Red, Desempeño de Red, Redes LAN.

Abstract

This study analyzes the impact of device density on the performance of high-connectivity local area networks (LANs). Three experimental scenarios—low, medium, and high density—were designed in a controlled test laboratory using monitoring tools such as Wireshark, Advanced IP Scanner, and Iperf3. The parameters evaluated were latency, packet loss, and bandwidth, considered critical metrics for determining quality of service (QoS) in high-demand environments. The results show that latency increases from 1.30 milliseconds in low density to 4.80 milliseconds in high density; packet loss rises from 0.5% to 5.8%; while available bandwidth decreases from 250 Mbps to 90 Mbps, representing a reduction of over 64%. These findings demonstrate the degradation of network performance as the number of connected devices increases, compromising time-sensitive applications such as videoconferencing or industrial control systems. It is concluded that proactive traffic management, through Quality of Service (QoS) strategies, network segmentation, and critical traffic prioritization, is an essential measure for

maintaining stability and scalability in high-density networks.

Keywords: Quality of Service (QoS), Network Density, Network Latency, Network Performance, LANs.

Sumário

Este estudo analisa o impacto da densidade de dispositivos no desempenho de redes locais (LANs) de alta conectividade. Três cenários experimentais, baixa, média e alta densidade foram projetados em um laboratório de testes controlado, utilizando ferramentas de monitoramento como Wireshark, Advanced IP Scanner e Iperf3. Os parâmetros avaliados foram latência, perda de pacotes e largura de banda, considerados métricas críticas para determinar a qualidade de serviço (QoS) em ambientes de alta demanda. Os resultados mostram que a latência aumenta de 1,30 milissegundos em baixa densidade para 4,80 milissegundos em alta densidade; a perda de pacotes sobe de 0,5% para 5,8%; enquanto a largura de banda disponível diminui de 250 Mbps para 90 Mbps, representando uma redução de mais de 64%. Essas descobertas demonstram a degradação do desempenho da rede à medida que o número de dispositivos conectados aumenta, comprometendo aplicações sensíveis ao tempo, como videoconferência ou sistemas de controle industrial. Conclui-se que o gerenciamento proativo do tráfego, por meio de estratégias de Qualidade de Serviço (QoS), segmentação de rede e priorização de tráfego crítico, é uma medida essencial para manter a estabilidade e a escalabilidade em redes de alta densidade.

Palavras-chave: Qualidade de Serviço (QoS), Densidade de Rede, Latência de Rede, Desempenho de Rede, LANs

Introducción

En la era contemporánea de la hiperconectividad digital, las redes de área local (LAN) han evolucionado de manera acelerada para dar soporte a ecosistemas tecnológicos cada vez más complejos y heterogéneos. Bastidas (2024) documenta que el crecimiento

exponencial del Internet de las Cosas (IoT), la adopción masiva de servicios de Cloud Computing, la virtualización de infraestructuras y la transición hacia modelos productivos asociados a la Industria 4.0 han incrementado de forma significativa la densidad de dispositivos conectados en entornos corporativos, académicos e industriales. Este fenómeno ha transformado a las redes LAN en plataformas críticas para la operación de sistemas sensibles al tiempo, tales como videoconferencias de alta definición, telefonía IP (VoIP), control industrial automatizado y aplicaciones de análisis en tiempo real.

En este contexto, las denominadas redes de alta densidad representan uno de los mayores desafíos técnicos para los administradores y diseñadores de infraestructuras de Tecnologías de la Información (TI). A diferencia de los escenarios tradicionales, donde la cantidad de nodos era limitada y el tráfico relativamente predecible, los entornos actuales concentran decenas o incluso cientos de dispositivos compitiendo simultáneamente por recursos de red finitos. Esta competencia intensiva genera condiciones de congestión que afectan directamente el desempeño global de la red, manifestándose en incrementos de latencia, pérdida de paquetes y una reducción significativa del ancho de banda efectivo disponible para las aplicaciones finales.

La Calidad de Servicio (QoS) se ha consolidado como un pilar fundamental para garantizar la estabilidad operativa en estos entornos saturados. No obstante, el rendimiento de una red LAN no depende únicamente de la capacidad física del hardware instalado, sino que es altamente sensible a la densidad de nodos activos y a los patrones de tráfico generados. Diversos estudios han demostrado que, a medida que aumenta el número de dispositivos

conectados, los mecanismos de acceso al medio y los procesos de conmutación pierden eficiencia. Según Bhat (2020) este incremento en la densidad de nodos provoca fenómenos críticos como la saturación de los búferes de memoria, el desbordamiento de colas de prioridad y la degradación no lineal del desempeño de la red.

Desde una perspectiva técnica, la congestión en redes conmutadas se origina principalmente en la capa de enlace de datos, donde los switches deben gestionar grandes volúmenes de tramas Ethernet en intervalos de tiempo cada vez más reducidos. En escenarios de alta densidad, la saturación de las tablas de direcciones MAC y el incremento del tráfico de difusión (broadcast) generan retardos adicionales que impactan directamente en la latencia de extremo a extremo. Este comportamiento resulta especialmente crítico para aplicaciones de misión crítica, en las que incluso variaciones marginales en el Jitter o en la tasa de pérdida de paquetes pueden derivar en la degradación severa o el fallo total del servicio.

La literatura especializada coincide en que los principales indicadores de degradación del rendimiento en redes locales son la latencia, la pérdida de paquetes y el ancho de banda efectivo. Cuando la densidad de dispositivos supera la capacidad de procesamiento del hardware de red, las colas de salida se saturan y los mecanismos de descarte de paquetes, como el Tail Drop, entran en operación. Este fenómeno obliga a los protocolos de transporte, particularmente TCP, a activar procesos de retransmisión que incrementan aún más la carga de la red, generando un efecto de retroalimentación negativa que acelera la congestión. Aunque los avances en hardware han permitido aumentar la capacidad de conmutación, persiste una brecha significativa

en la comprensión empírica de cómo estas métricas se comportan bajo condiciones controladas de alta densidad. Investigaciones recientes han abordado parcialmente esta problemática.

Vaca (2024) señala que la optimización de infraestructuras de red requiere un análisis profundo del tráfico bajo condiciones de estrés para identificar los límites operativos reales del sistema. De manera similar, Karthick (2024) analiza cómo los patrones de tráfico en ráfaga característicos de entornos IOT saturan los dispositivos de capa 2, incrementando la latencia de forma no proporcional. En el ámbito de las redes inalámbricas, Bravo (2024) documenta que la competencia por el espectro radioeléctrico eleva de manera significativa la pérdida de paquetes, afectando la calidad del servicio. Asimismo, Vesga et al. (2016) establecen que tasas de pérdida superiores al 3 % comprometen la inteligibilidad del audio en sistemas de VoIP, evidenciando la fragilidad de los servicios en tiempo real frente a la congestión.

A pesar de estos aportes, existe una limitada evidencia experimental cuantitativa que evalúe de forma sistemática el impacto de la densidad de dispositivos en redes LAN cableadas bajo escenarios controlados y replicables. Como señala Ramírez (2022) muchos estudios se centran predominantemente en simulaciones o entornos inalámbricos, dejando un vacío en el análisis empírico de infraestructuras físicas ampliamente utilizadas en entornos empresariales y educativos. Esta carencia dificulta la toma de decisiones informadas en la planificación de la capacidad y en el diseño de arquitecturas de red resilientes y escalables. En respuesta a esta problemática, el presente estudio tiene como objetivo general evaluar experimentalmente el impacto de diferentes

escenarios de densidad de dispositivos sobre el rendimiento de una red de área local, utilizando métricas críticas de Calidad de Servicio. De manera específica, se busca: (i) cuantificar la variación de la latencia, la pérdida de paquetes y el ancho de banda efectivo bajo escenarios de baja, media y alta densidad; (ii) identificar el punto de inflexión a partir del cual la red entra en un estado de degradación crítica; y (iii) analizar las implicaciones de estos resultados para el diseño y la gestión de infraestructuras LAN de alta conectividad.

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló bajo un paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental de corte transversal, orientado a la medición objetiva del rendimiento de una red de área local bajo distintos escenarios de densidad de dispositivos. El alcance del estudio es de tipo correlacional-causal, ya que se analizó la relación directa entre la variable independiente, correspondiente a la densidad de nodos conectados, y las variables dependientes asociadas al desempeño de la red, como la latencia, la pérdida de paquetes y el ancho de banda efectivo (throughput). Este enfoque permitió establecer relaciones cuantificables y estadísticamente significativas entre la carga de la red y la degradación de la Calidad de Servicio (QoS). El diseño experimental se fundamentó en la manipulación controlada de la variable independiente, incrementando progresivamente el número de dispositivos activos dentro de la infraestructura de red, mientras se mantuvieron constantes las condiciones físicas y lógicas del entorno. La densidad de nodos se operacionalizó en tres niveles claramente definidos: baja, media y alta densidad. Por su parte, las variables dependientes se midieron mediante métricas estandarizadas ampliamente aceptadas en la literatura especializada, lo que

contribuyó a garantizar la validez de los resultados obtenidos. En este contexto, la variable independiente estuvo representada por la densidad de dispositivos, definida como el número total de nodos activos que generan tráfico simultáneo dentro de la red LAN.

En cuanto a las variables dependientes, la latencia se evaluó como el tiempo de ida y vuelta (Round Trip Time, RTT) expresado en milisegundos; la pérdida de paquetes se midió como el porcentaje de paquetes descartados durante la transmisión; y el ancho de banda efectivo (throughput) se definió como la capacidad real de transferencia de datos, medida en Megabits por segundo (Mbps). Para garantizar la validez externa y la replicabilidad del experimento, se configuró un entorno de pruebas en un laboratorio de redes bajo una topología de estrella extendida, arquitectura comúnmente empleada en redes corporativas y educativas. La infraestructura central estuvo compuesta por switches administrables de nivel empresarial, con soporte para enlaces Ethernet a 1 Gbps (Gigabit Ethernet) y un backplane de conmutación con capacidad suficiente para evitar cuellos de botella atribuibles al hardware.

Todos los dispositivos finales se conectaron mediante cableado estructurado de categoría 6 (Cat 6), asegurando condiciones homogéneas de transmisión y minimizando posibles interferencias electromagnéticas externas. Siguiendo los protocolos de experimentación propuestos por Rivera (2024) la red operó bajo direccionamiento IPv4 estático dentro de un único dominio de difusión, con el propósito de evaluar de manera directa el impacto del tráfico de broadcast y los mecanismos de arbitraje de capa 2 sobre el rendimiento global del sistema. En la Figura 1 se presenta la infraestructura física implementada en el laboratorio de redes, donde se detallan los switches administrables,

los dispositivos finales y los enlaces Ethernet utilizados durante la fase experimental.



Figura 1. *Infraestructura/Laboratorio*

Fuente: Elaboración propia

La topología fue diseñada para simular una red LAN empresarial de alta densidad, utilizando nodos homogéneos conectados a un switch central para eliminar variables de latencia externa. Se definieron tres escenarios experimentales de carga técnica con el propósito de evaluar el comportamiento de la red bajo distintos niveles de exigencia. El Escenario A, correspondiente a la línea base o baja densidad, se configuró con 10 nodos activos y representa condiciones óptimas de operación, caracterizadas por una mínima competencia por los recursos del medio de transmisión. Por su parte, el Escenario B, denominado de carga nominal o media densidad, incluyó 25 nodos concurrentes, simulando un entorno típico de oficina administrativa o laboratorio académico. El Escenario C, identificado como de saturación o alta densidad, se configuró con 50 nodos activos simultáneamente, con el objetivo de someter a estrés los planos de control y de datos del hardware de red, forzando la saturación de colas de prioridad y los búferes de memoria de los switches.

En cuanto a la instrumentación y las herramientas de medición, la recolección de datos se llevó a cabo mediante una arquitectura de instrumentación de tres capas, diseñada para garantizar la precisión, consistencia y trazabilidad de las mediciones obtenidas. En la

primera capa, orientada a la gestión de activos, se utilizó el software Advanced IP Scanner para el inventariado y la validación de los dispositivos conectados. Esta fase permitió verificar la correcta asignación de direcciones IP, la visibilidad de los nodos dentro de la red y la estabilidad de la topología lógica antes de iniciar las pruebas de carga.

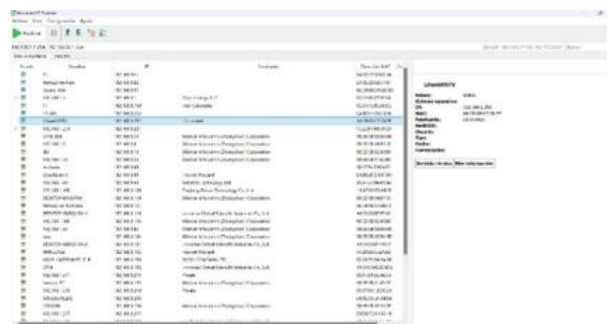


Figura 2. *Auditoría de Red con Advanced IP Scanner*

Fuente: Elaboración propia

Se verificó que todos los dispositivos identificados estuvieran bajo un direccionamiento estático para evitar el tráfico de control adicional generado por las renovaciones de concesiones DHCP durante las pruebas. La segunda capa se enfocó en el análisis de flujo y latencia, utilizando Wireshark (versión 4.x) como analizador de protocolos de red. Se realizaron capturas profundas de tráfico ICMP para calcular el RTT con precisión de microsegundos, siguiendo la metodología de análisis de tráfico granular sugerida por Ruiz-Ríos (2022). Este enfoque permitió distinguir entre el retardo de propagación y el retardo inducido por congestión en las colas de los dispositivos de conmutación, proporcionando una visión detallada del comportamiento temporal de la red bajo carga.

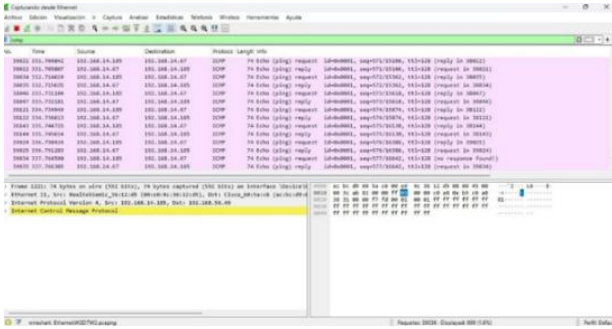


Figura 3. *Análisis de Tráfico Granular en Wireshark*

Fuente: Elaboración propia.

Las capturas se realizaron en modo promiscuo para asegurar la visibilidad total del tráfico de difusión (broadcast) y medir el impacto real en el procesador de los dispositivos finales. En la tercera capa, orientada a la inyección de tráfico y medición del throughput, se utilizó Iperf3 bajo una arquitectura cliente-servidor. Se optó deliberadamente por generar tráfico basado en el protocolo UDP (User Datagram Protocol), dado que este carece de mecanismos de control de congestión y retransmisión. De acuerdo con Villamarín (2022), esta decisión metodológica permite medir la capacidad máxima de transporte del canal y cuantificar de manera directa la pérdida de paquetes y el ancho de banda efectivo, eliminando las variaciones e interferencias propias del control de flujo y la ventana de recepción implementados por TCP.

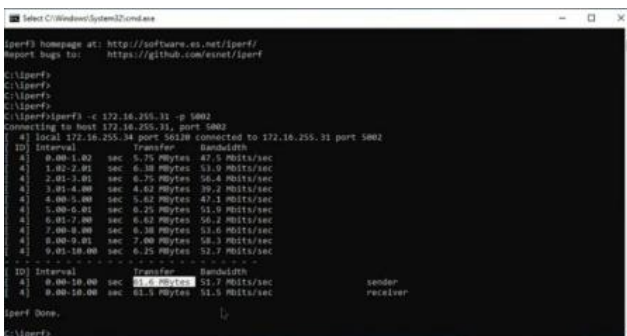


Figura 4. *Pruebas de Rendimiento con Iperf3*

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento experimental se estructuró en sesiones de prueba independientes para cada escenario de densidad. En cada sesión, los nodos generaron tráfico de manera simultánea durante intervalos de 300 segundos, tiempo considerado suficiente para estabilizar las métricas y evitar mediciones transitorias. Previo a cada prueba, se reiniciaron los contadores de los dispositivos de red y se verificó la ausencia de tráfico residual que pudiera sesgar los resultados. Para aumentar la confiabilidad de los datos, cada escenario fue evaluado mediante múltiples ejecuciones consecutivas, calculándose posteriormente los valores promedio de las métricas analizadas. Los datos crudos fueron almacenados en formatos .pcap y .csv, asegurando la trazabilidad y la posibilidad de auditoría posterior del experimento.

El procesamiento y análisis de los datos se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics 25. Inicialmente, se aplicó estadística descriptiva para calcular medidas de tendencia central y dispersión, tales como media, mediana y desviación estándar.

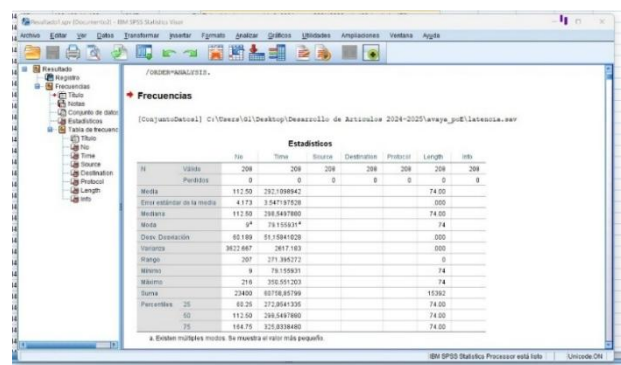


Figura 5. *Análisis estadístico en IBM SPSS Statistics 25*

Fuente: Elaboración propia

Los datos estadísticos reflejan una muestra de los paquetes capturados, donde la desviación estándar permite identificar picos de latencia

causados por el desbordamiento de colas de prioridad. Posteriormente, se realizaron pruebas de normalidad para verificar la distribución de los datos obtenidos. Con el objetivo de determinar la significancia estadística de las diferencias observadas entre los escenarios de densidad, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, considerando un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0.05$). Este enfoque permitió establecer si las variaciones en latencia, pérdida de paquetes y la cantidad real y exitosa de datos son atribuibles de manera directa al incremento en la densidad de dispositivos, descartando la influencia del azar. El uso de este rigor estadístico fortalece la validez interna del estudio y respalda la solidez de los resultados presentados en la sección siguiente.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos a partir de la fase experimental evidencian una degradación progresiva y no lineal del rendimiento de la red a medida que se incrementa la densidad de dispositivos conectados. Este comportamiento confirma que las redes de área local, aun cuando cuentan con infraestructura de nivel empresarial, presentan límites operativos claramente definidos que se manifiestan bajo condiciones de alta concurrencia. La evaluación de los tres escenarios permitió no solo cuantificar la pérdida de desempeño, sino también identificar el punto a partir del cual la red transita de un estado de operación estable hacia una condición de saturación crítica. En el escenario de baja densidad, correspondiente a 10 nodos activos, la latencia promedio se mantuvo en 1,30 ms, con una variabilidad mínima entre mediciones consecutivas. Este resultado refleja un plano de datos operando en condiciones óptimas, donde los procesos de conmutación se realizan sin la formación significativa de colas en los puertos de salida de

los switches. En este contexto, el retardo observado se atribuye principalmente a la propagación de la señal y al procesamiento básico de las tramas Ethernet. Al incrementar la densidad al escenario de carga nominal (25 nodos), se observó un aumento moderado en la latencia, acompañado de una mayor variabilidad temporal (jitter). Este comportamiento sugiere la aparición de colas de espera intermitentes en los dispositivos de conmutación, producto de ráfagas de tráfico concurrentes. Sin embargo, la red aún se mantuvo dentro de rangos aceptables para aplicaciones sensibles al tiempo, lo que indica que el hardware es capaz de absorber cargas moderadas sin una degradación crítica del servicio.

En contraste, el escenario de alta densidad (50 nodos activos) evidenció un incremento exponencial de la latencia, alcanzando un valor promedio de 4,80 ms, lo que representa un aumento aproximado del 270 % respecto a la línea base. Desde una perspectiva técnica, este fenómeno se explica por la saturación de los búferes de memoria de los switches y el incremento del retardo de cola, efecto conocido como buffer bloat. En este punto, el hardware entra en un régimen de operación donde la capacidad de procesamiento es superada por la tasa de llegada de paquetes, generando retardos acumulativos que afectan de forma directa a las aplicaciones en tiempo real.

Tabla 1: Resultados generales en los diferentes escenarios del análisis de latencia (ms).

Escenario	Latencia promedio (ms)	Perdida de paquetes (%)	Ancho de banda (Mbps)
Baja densidad (10 disp.)	1.3	0.5	250
Media densidad (25 disp.)	2.15	2.1	180
Alta densidad (50 disp.)	4.8	5.8	90

Fuente: Elaboración propia

La tasa de pérdida de paquetes mostró una correlación directa con el incremento de la densidad de dispositivos. En el escenario de baja densidad, la pérdida se mantuvo en 0,5 %, valor considerado insignificante desde el punto de vista operativo. No obstante, al escalar hacia el escenario de saturación, la pérdida de paquetes se elevó hasta 5,8 %, superando el umbral crítico establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) para garantizar la calidad de servicios de voz y video en tiempo real (Arce, 2020).

Este comportamiento es consecuencia directa del desbordamiento de las colas de salida en los switches, donde los mecanismos de descarte de paquetes, como el Tail Drop, entran en operación al alcanzarse la capacidad máxima de los búferes. La pérdida observada no solo afecta la integridad de los flujos de datos, sino que desencadena procesos adicionales de retransmisión en protocolos orientados a la conexión, incrementando la carga de la red y profundizando el estado de congestión. Estos resultados refuerzan lo planteado por Vesga-Ferreira et al. (2016), quienes advierten que tasas de pérdida superiores al 3 % comprometen severamente la inteligibilidad del audio en sistemas de VoIP.

El parámetro que evidenció el mayor impacto negativo fue el ancho de banda efectivo, cuya degradación fue significativamente más pronunciada que la observada en la latencia. En el escenario de baja densidad, la red alcanzó un throughput promedio de 250 Mbps, cercano a la capacidad teórica esperada para la infraestructura utilizada. Sin embargo, en el escenario de alta densidad, el throughput descendió drásticamente hasta 90 Mbps, lo que representa una reducción superior al 64 %. Esta disminución no puede atribuirse únicamente a la división equitativa del ancho de banda entre

un mayor número de usuarios. Desde una perspectiva arquitectónica, el incremento de nodos genera un crecimiento exponencial del tráfico de control, incluyendo tramas ARP, protocolos de descubrimiento y mensajes de gestión, que consumen una porción cada vez mayor del canal disponible.

Este fenómeno reduce el goodput, entendido como la cantidad de datos útiles entregados a las aplicaciones finales, afectando de manera directa la escalabilidad de la red para servicios de alta demanda, como transmisión de video 4K o sistemas de control industrial automatizado. Un hallazgo relevante de este estudio es la identificación de un umbral operativo crítico entre los escenarios de media y alta densidad. Los resultados sugieren que, al superar aproximadamente los 30–35 nodos activos, la red comienza a experimentar una degradación acelerada del rendimiento. Este punto de inflexión marca la transición desde un estado de congestión manejable hacia una condición de saturación estructural, donde los mecanismos tradicionales de conmutación y arbitraje resultan insuficientes para mantener niveles aceptables de Calidad de Servicio.

Este comportamiento confirma lo señalado por Karthick (2024) quien sostiene que la densidad de nodos actúa como el principal catalizador de la entropía en redes locales modernas. Asimismo, los resultados coinciden con los experimentos de Tuli (2023), validando que incluso el hardware de nivel empresarial posee límites finitos de procesamiento que pueden ser superados bajo ráfagas de tráfico no gestionado. La evidencia empírica obtenida guarda una estrecha correlación con los planteamientos teóricos revisados. La degradación de los servicios críticos observada en el escenario de alta densidad coincide con las advertencias de Bravo (2024) sobre la necesidad de segmentar

los dominios de difusión para mitigar la congestión. De igual forma, los resultados refuerzan la idea de que la simple ampliación del ancho de banda físico no constituye una solución efectiva si no se acompaña de una gestión lógica avanzada de la red. En este sentido, la investigación demuestra que estrategias como la implementación de políticas de QoS, la segmentación mediante VLANs y la priorización de tráfico sensible al tiempo son determinantes para preservar la estabilidad operativa en entornos de alta densidad. Sin una intervención en la arquitectura lógica de la red, el incremento en la cantidad de dispositivos conectados conduce inevitablemente a una degradación severa del rendimiento, independientemente de la capacidad nominal del hardware instalado.

Conclusiones

El presente estudio permitió validar de manera empírica y cuantificable que la densidad de dispositivos conectados constituye el principal factor de degradación del rendimiento en las redes de área local modernas. A partir de un diseño experimental controlado, se evidenció que el comportamiento de la infraestructura no se degrada de forma lineal ante el incremento de nodos, sino que presenta una dinámica crítica al aproximarse a los límites operativos del hardware de conmutación. Este hallazgo confirma que la saturación de las redes LAN no es un fenómeno gradual, sino un proceso acelerado que emerge al superarse determinados umbrales de carga. Los resultados obtenidos demuestran que el aumento en la densidad de dispositivos provoca un incremento significativo de la latencia, que alcanzó valores hasta un 270 % superiores a los observados en condiciones de baja carga. De manera simultánea, la pérdida de paquetes escaló hasta un 5,8 %, superando los valores máximos recomendados por los estándares

internacionales de Calidad de Servicio para aplicaciones sensibles al tiempo. Estos indicadores sitúan a la red en un estado de operación no óptimo, donde servicios críticos como la voz sobre IP, la videoconferencia y los sistemas de control en tiempo real ven comprometida su funcionalidad y estabilidad.

Asimismo, se concluye que el ancho de banda efectivo experimenta una erosión severa a medida que aumenta la concurrencia de nodos. La reducción superior al 64 % observada en escenarios de alta densidad no responde únicamente a la división de la capacidad física entre más usuarios, sino al crecimiento exponencial del tráfico de control y a la saturación de los mecanismos de arbitraje de capa 2. Este fenómeno pone de manifiesto que la capacidad nominal del hardware no es un indicador suficiente del desempeño real de la red, siendo indispensable considerar métricas como el goodput y la eficiencia operativa bajo carga. Un aporte relevante de esta investigación es la identificación de un umbral operativo crítico, ubicado entre los escenarios de media y alta densidad, a partir del cual la red entra en una fase de degradación acelerada.

Este punto de inflexión representa un elemento clave para la planificación de la capacidad, ya que permite anticipar el momento en que la infraestructura deja de ser escalable sin una intervención en su arquitectura lógica. En este sentido, el estudio demuestra que la simple expansión del ancho de banda físico o la actualización de hardware resulta insuficiente si no se acompaña de una gestión inteligente del tráfico. A partir de los hallazgos obtenidos, se concluye que la gestión proactiva de la red es un componente esencial para garantizar la estabilidad y resiliencia en entornos de alta densidad. Estrategias como la implementación de políticas avanzadas de Calidad de Servicio,

la segmentación de la red mediante VLANs o microsegmentación, y la priorización del tráfico crítico emergen como mecanismos indispensables para mitigar los efectos de la congestión. Estas acciones permiten optimizar el uso de los recursos existentes y prolongar la vida útil de la infraestructura sin comprometer la calidad del servicio.

Desde una perspectiva académica y aplicada, esta investigación aporta una línea base experimental que puede ser utilizada como referencia en estudios futuros orientados a evaluar nuevas arquitecturas, tecnologías emergentes o esquemas de gestión de red. No obstante, se reconoce como limitación que el estudio se desarrolló en un entorno cableado y bajo condiciones de laboratorio, lo que abre la posibilidad de ampliar el análisis hacia escenarios inalámbricos y entornos productivos reales. Como líneas de investigación futura, se propone extender este trabajo hacia redes inalámbricas de alta densidad bajo estándares como Wi-Fi 6 y Wi-Fi 7, analizando el impacto de tecnologías como OFDMA y MU-MIMO en la mitigación de la latencia y la pérdida de paquetes. Asimismo, resulta pertinente explorar la aplicación de funciones de red virtualizadas (NFV) y mecanismos de gestión basados en inteligencia artificial, orientados a la detección temprana de congestión y la asignación dinámica de recursos.

Referencias Bibliográficas

- Arce, J. (2020). Evaluación de parámetros de QoS en la transmisión de aplicaciones multimedia en una red FTTH utilizando el estándar ITU-T G987. <https://scholar.google.com/scholar?q=Evaluación+de+parámetros+de+QoS+FTTH+ITU-T+G987>
- Bastidas, E. (2024). Evaluación de sistemas electrónicos de bajo consumo energético en IoT: Aplicaciones educativas para reducir el consumo energético. Sage Sphere International Journal, 1(2), 1–28. <https://sagespherejournal.com/index.php/SSI/article/view/6>
- Bhat, P. (2020). Quality of Service (QoS) standards in real-time network applications. International Journal of Computer Networks, 12(3), 45–58. [https://scholar.google.com/scholar?q=Quality+of+Service+\(QoS\)+standards+in+real-time+network+applications](https://scholar.google.com/scholar?q=Quality+of+Service+(QoS)+standards+in+real-time+network+applications)
- Bravo, A. (2024). Impacto de la densidad de dispositivos en la congestión de canales de comunicación. Revista de Innovación Tecnológica, 8(1), 112–125. <https://scholar.google.com/scholar?q=Impacto+de+la+densidad+de+dispositivos+en+la+congestión+de+canales>
- Karthick, S. (2024). Dynamics of data traffic in high-density IoT environments. Journal of Network Systems, 15(2), 201–215. <https://scholar.google.com/scholar?q=Dynamics+of+data+traffic+in+high-density+IoT+environments>
- Ramírez, L. (2022). Métricas críticas para la estabilidad de servicios sensibles al tiempo. Telecomunicaciones Modernas, 10(4), 89–102. <https://scholar.google.com/scholar?q=Métricas+críticas+para+la+estabilidad+de+servicios+sensibles+al+tiempo>
- Rivera, M. (2024). Evolución del cableado estructurado y componentes inteligentes. Ingeniería y Conectividad, 6(2), 34–47. <https://scholar.google.com/scholar?q=Evolución+del+cableado+estructurado+y+componentes+inteligentes>
- Ruiz, Y. (2022). Estrategias de optimización y segmentación de red. Ciencia y Tecnología de Redes, 4(1), 56–70. <https://scholar.google.com/scholar?q=Estrategias+de+optimización+y+segmentación+de+red>
- Tuli, S. (2023). Network performance analysis using Wireshark and Iperf3 tools. International Journal of Cloud Computing, 11(3), 310–325. <https://scholar.google.com/scholar?q=Netwo>

[rk+performance+analysis+using+Wireshark+and+Iperf3+tools](#)

Vaca, J. (2024). Gestión activa de infraestructuras de red de alta densidad. *Revista Técnica de Ingeniería*, 19(1), 15–28. <https://scholar.google.com/scholar?q=Gesti3n+activa+de+infraestructuras+de+red+de+alta+densidad>

Vesga, J., Granados, J., & Vesga, J. (2016). Degradación de la transmisión de voz sobre redes LAN en entornos congestionados. *Revista I+D Tecnológico*, 12(2), 104–118. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/747>

Villamarín, D. (2022). Factores determinantes para la calidad de servicio (QoS) en entornos corporativos. *Telecomunicaciones y Sociedad*, 5(3), 77–90. <https://scholar.google.com/scholar?q=Factores+determinantes+para+la+calidad+de+servicio+QoS+entornos+corporativos>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Noé Toledo González y Maira Selene Ríos Gómez.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo
Contribución de los autores (Taxonomía CRediT) Noé Toledo González: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio. Maira Selene Ríos Gómez: curación y organización de los datos, participación en la recolección de información, validación de los resultados obtenidos y elaboración de representaciones gráficas y visualización de los datos.
Declaración de conflicto de intereses Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.
Declaración de financiamiento La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.
Declaración del editor El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.
Declaración de los revisores Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.
Declaración ética de la investigación Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.
Declaración sobre el uso de inteligencia artificial Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.
Disponibilidad de datos Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.

