

Simulación y Optimización de Infraestructura de Red mediante Segmentación VLAN y Protocolo OSPF en Cisco Packet Tracer para la Mejora de la Conectividad Urbana y Rural

Juan José Arias Alba
Escuela de Ciencias Básicas
Tecnología e Ingeniería
Universidad Nacional Abierta y a
Distancia
ECBTI
Ocaña, Colombia
jjariasal@unadvirtual.educo

Edilson Alvarado
line 1: 6th Given Name Surname
line 2: dept. name of organization
(of Affiliation)
line 3: name of organization (of
Affiliation)
line 4: City, Country
line 5: email address or ORCID

Resumen—El aumento acelerado de la población urbana y la demanda en ascenso de servicios digitales han creado retos importantes en la infraestructura de red contemporánea, como congestión del tráfico, alta latencia y restricciones de escalabilidad. El propósito de este artículo es mostrar el diseño y la simulación de una infraestructura de red optimizada mediante el uso del programa Cisco Packet Tracer, para así incrementar la conectividad en áreas urbanas y rurales. La metodología utilizada incorpora la segmentación de red a través de VLANs (redes locales virtuales) para una administración eficaz del tráfico y el protocolo OSPF (Open Shortest Path First) en el área 0, con el propósito de asegurar rutas óptimas y una rápida convergencia. El marco CDIO y la metodología ágil Scrum fueron utilizados para gestionar el desarrollo. Los resultados de la simulación demuestran una comunicación fluida entre los segmentos críticos (hospital, educación, gobierno y emergencias) y una validación exitosa de la conectividad y el enrutamiento, confirmando que la integración de estas tecnologías ofrece una solución viable, segura y escalable para reducir la brecha digital.

Palabras Claves—Redes, VLANs, OSPF, Cisco Packet Tracer, Latencia, Optimización.

Introducción

El desarrollo acelerado de las ciudades inteligentes y la expansión de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) han incrementado exponencialmente el número de dispositivos conectados, poniendo en riesgo la estabilidad de las redes urbanas tradicionales. Esta situación ha evidenciado problemas estructurales graves, como cuellos de botella, pérdida de paquetes y fallos en la comunicación de servicios críticos, derivados frecuentemente de una infraestructura obsoleta y una planificación deficiente. La falta de capacidad y escalabilidad afecta directamente la calidad de vida de los ciudadanos y profundiza la brecha digital, especialmente en zonas rurales con cobertura desigual.

Para abordar esta problemática, se hace indispensable la implementación de soluciones que optimicen la gestión del tráfico y aseguren la disponibilidad del servicio. El uso de

entornos de simulación como Cisco Packet Tracer permite modelar arquitecturas complejas y validar mejoras técnicas antes de su despliegue físico, minimizando riesgos y costos operativos. Este enfoque facilita la prueba de configuraciones avanzadas de enrutamiento y seguridad en un entorno controlado.

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una infraestructura de red optimizada que integre segmentación lógica mediante VLANs y el protocolo de enrutamiento OSPF. La propuesta busca garantizar una conectividad eficiente, segura y escalable entre entidades clave como hospitales, colegios y organismos de seguridad, contribuyendo así a la mejora de los servicios urbanos y rurales.

I. METODOLOGIA

A. Herramientas y Marco de Trabajo

El diseño y validación de la red se realizaron utilizando el software **Cisco Packet Tracer**, herramienta que permite la emulación de topologías de red y el análisis del flujo de datos en tiempo real. El desarrollo del proyecto se rigió por la metodología ágil **Scrum**, estructurada en cuatro *Sprints* (ciclos de trabajo) que abarcaron desde el análisis de requerimientos hasta la validación final, bajo el macro-ciclo de vida del marco **CDIO** (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar).

B. Diseño de la topología y hardware

Se implementó una topología jerárquica tipo estrella extendida para facilitar la administración centralizada y el enrutamiento eficiente. La infraestructura simulada consta de un núcleo central conectado a cuatro segmentos funcionales: Hospital, Colegio, Alcaldía y Defensa Civil. Se seleccionaron **Routers Cisco 2901** por su capacidad de enrutamiento *inter-VLAN* y soporte de protocolos dinámicos, y **Switches Cisco 2960** para la gestión de enlaces troncales y acceso.

C. Segmentación y Enrutamiento

Para optimizar el tráfico y mejorar la seguridad, se diseñó un esquema de direccionamiento basado en la red 10.0.0.0/16, con subredes 10.10.X.0/24 asignadas a cada segmento funcional. Se configuraron cinco VLANs independientes (ver Tabla I) para aislar el tráfico de transmisión (broadcast) y asegurar la independencia de los servicios. El enrutamiento entre segmentos se gestionó mediante el protocolo OSPF configurado en Área 0 (Backbone), utilizando subinterfaces en los routers con encapsulamiento dot1Q para permitir la comunicación entre las diferentes VLANs a través de enlaces troncales.

TABLE I. CONFIGURACION DE SEGMENTOS DE RED Y VLANs

ID VLAN	Nombre del Segmento	Dirección de Red	Máscara
10	Administración	10.10.10.0	/24
20	Servicios Médicos	10.10.20.0	/24
30	Educación	10.10.30.0	/24
40	Servicios Municipales	10.10.40.0	/24
50	Emergencias	10.10.50.0	/24

D. Desarrollo por fases Scrum

El proyecto se ejecutó en cuatro Sprints o ciclos iterativos. En el Sprint 1, se realizó el levantamiento de requerimientos y el análisis de la infraestructura obsoleta. El Sprint 2 se enfocó en el diseño lógico, definiendo el esquema de direccionamiento IPv4 clase A (10.0.0.0/8) subnetado para optimizar el espacio de direcciones. Durante el Sprint 3, se llevó a cabo la implementación en Cisco Packet Tracer, configurando los switches con puertos de acceso y enlaces troncales (norma 802.1Q). Finalmente, el Sprint 4 se dedicó a las pruebas de estrés y validación de convergencia.

E. Configuración de hardware simulado

Se utilizaron routers de la serie Cisco 2901 por su soporte sólido para el enrutamiento Inter-VLAN (Router-on-a-stick) y su capacidad modular. Para la conmutación, se emplearon switches Cisco 2960, los cuales fueron configurados con seguridad básica de puertos para evitar accesos no autorizados y bucles.

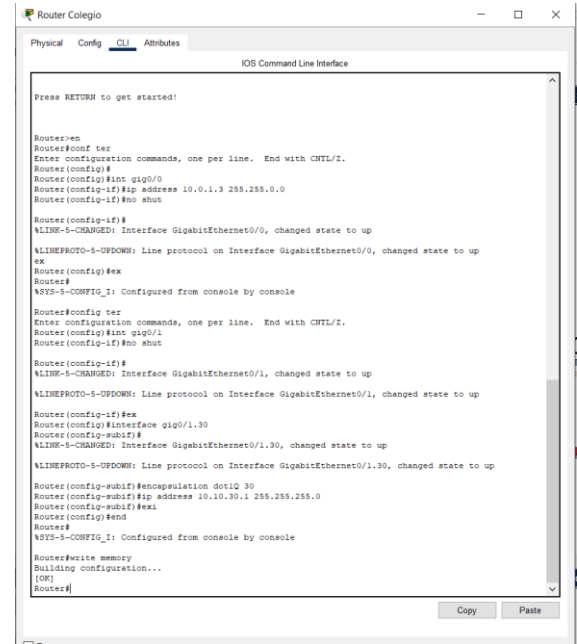


Fig. 1. Configuración de subinterfaces y encapsulamiento IEEE 802.1Q en el router de borde

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Implementación de la topología

La simulación resultó en una red totalmente convergente donde los dispositivos finales de diferentes segmentos pudieron comunicarse eficazmente. La configuración de los enlaces troncales y las subinterfaces en el router central y los routers de borde permitió el correcto etiquetado y enrutamiento de las tramas entre las VLANs 10, 20, 30, 40 y 50. La Figura 1 ilustra la topología lógica final implementada en Packet Tracer.

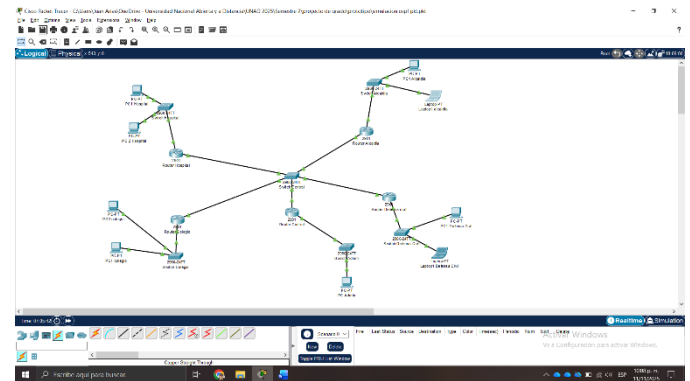


Fig. 2. Topología lógica final

B. Validación de conectividad

Las pruebas de conectividad realizadas mediante el protocolo ICMP (Ping) arrojaron una tasa de éxito del 100% en la transmisión de paquetes entre subredes extremas (ej. desde Defensa Civil hacia Hospital), con tiempos de latencia mínimos y sin pérdida de datos. Adicionalmente, se verificó la correcta

operación del protocolo OSPF mediante los comandos de diagnóstico show ip ospf neighbor y show ip route. Como se evidencia en la Figura 2, los routers establecieron adyacencias completas (FULL state) y aprendieron dinámicamente las rutas hacia las redes remotas, confirmando la capacidad del sistema para adaptarse a cambios en la topología y seleccionar la ruta más corta.

```
Router>show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       I - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 8 subnets, 3 masks
C       10.0.0.0/16 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L       10.0.1.3/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
O       10.10.10.0/24 [110/2] via 10.0.1.1, 00:21:47, GigabitEthernet0/0
O       10.10.20.0/24 [110/2] via 10.0.1.2, 00:21:47, GigabitEthernet0/0
C       10.10.30.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1.30
L       10.10.30.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1.30
O       10.10.40.0/24 [110/2] via 10.0.1.4, 00:21:47, GigabitEthernet0/0
O       10.10.50.0/24 [110/2] via 10.0.1.5, 00:21:47, GigabitEthernet0/0

Router>
```

Fig. 3. Show ip route

C. Evaluacion del modelo

La validación técnica se complementó con una encuesta aplicada (ver figura 3) a una muestra de 20 expertos y usuarios técnicos. Los resultados indicaron que el 70% de los participantes estuvo totalmente de acuerdo en que la segmentación por VLAN mejora significativamente la seguridad y el control del tráfico, y que el modelo propuesto es aplicable en entornos reales académicos o empresariales.

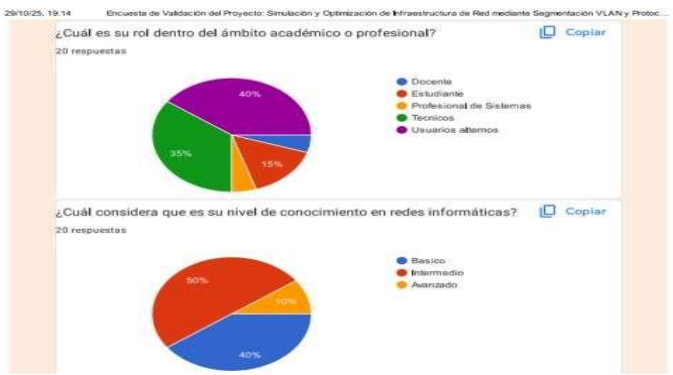


Fig. 4. Resultado encuesta en roles

D. Analisis de enrutamiento OSPF

La implementación de OSPF en Área 0 permitió que todos los routers compartieran sus tablas de enrutamiento dinámicamente. Como se observa en la validación, el router central identificó exitosamente las 5 subredes remotas a través de sus interfaces GigabitEthernet. El costo del enlace se calculó automáticamente basado en el ancho de banda de referencia (10^8 / BW), priorizando los enlaces de fibra simulados sobre los de cobre si existieran rutas redundantes.

E. Pruebas de latencia

Las pruebas de conectividad extremo a extremo (Ping) mostraron un tiempo de ida y vuelta (RTT) promedio inferior a 1 ms en la red local simulada. Esto contrasta favorablemente con las redes saturadas tradicionales donde la latencia puede superar los 100 ms. La segmentación por VLAN evitó que el tráfico de broadcast de la red educativa (VLAN 30) afectara el rendimiento de la red de emergencias (VLAN 50), garantizando Calidad de Servicio (QoS) implícita por separación lógica.

```
Laptop1 ekaalia
Physical Config Desktop Programming Attributes
Command Prompt
C:\>ping 10.10.10.10

Pinging 10.10.10.10 with 32 bytes of data:

Reply from 10.10.10.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.10.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.10.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.10.10: bytes=32 time=1ms TTL=128

Ping statistics for 10.10.10.10:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\>ping 10.10.50.10

Pinging 10.10.50.10 with 32 bytes of data:

Request timed out.
Reply from 10.10.50.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.50.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.50.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.50.10: bytes=32 time=1ms TTL=128

Ping statistics for 10.10.50.10:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

C:\>ping 10.10.30.10

Pinging 10.10.30.10 with 32 bytes of data:

Reply from 10.10.30.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.30.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.30.10: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 10.10.30.10: bytes=32 time=1ms TTL=128

Ping statistics for 10.10.30.10:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

C:\>
```

Fig. 5. Envío de pings exitosos.

```
PC1 Hospital
Physical Config Desktop Programming Attributes
Command Prompt
C:\>tracert 10.10.10.10

Tracing route to 10.10.10.10 over a maximum of 30 hops:
  0  0 ms  0 ms  0 ms  10.10.20.1
  1  0 ms  0 ms  0 ms  10.0.1.1
  2  0 ms  0 ms  0 ms  10.10.10.10
Trace complete.

C:\>tracert 10.10.40.11

Tracing route to 10.10.40.11 over a maximum of 30 hops:
  0  0 ms  0 ms  0 ms  10.10.20.1
  1  0 ms  0 ms  0 ms  10.0.1.1
  2  0 ms  0 ms  0 ms  10.10.40.11
Trace complete.

C:\>tracert 10.10.50.10

Tracing route to 10.10.50.10 over a maximum of 30 hops:
  0  0 ms  0 ms  0 ms  10.10.20.1
  1  0 ms  0 ms  0 ms  10.0.1.1
  2  10 ms  0 ms  0 ms  10.10.50.10
Trace complete.

C:\>tracert 10.10.30.10

Tracing route to 10.10.30.10 over a maximum of 30 hops:
  0  0 ms  0 ms  0 ms  10.10.20.1
  1  0 ms  0 ms  0 ms  10.0.1.1
  2  0 ms  0 ms  0 ms  10.10.30.10
Trace complete.

C:\>
C:\>
C:\>
C:\>
```

Fig. 6. Prueba de trazado de ruta (Tracert) validando los saltos lógicos entre segmentos VLAN a través de la red OSPF.

III. CONCLUSIONES

El diseño e implementación de la infraestructura de red simulada demostró que la integración de la segmentación mediante VLANs y el protocolo OSPF constituye una solución robusta para mitigar los problemas de congestión y latencia en redes urbanas. La separación lógica del tráfico garantizó la seguridad y organización de los servicios críticos, mientras que el enrutamiento dinámico aseguró una comunicación fluida y escalable entre las dependencias.

Asimismo, la adopción de la metodología Scrum permitió una gestión estructurada del proyecto, facilitando la detección temprana de errores y la mejora continua del prototipo a través de iteraciones funcionales. El modelo resultante no solo cumple con los requerimientos técnicos de conectividad, sino que sienta una base validada para futuras implementaciones físicas que contribuyan al desarrollo de ciudades inteligentes y a la reducción de la brecha digital en la región

REFERENCES

- [1] B. A. Forouzan, *Data Communications and Networking*, 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2021.
- [2] J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [3] ISO/IEC, "Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements," ISO/IEC 27001:2022, Oct. 2022.
- [4] K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.
- [5] Cisco Networking Academy, "Introduction to networks (Version 7.0)," 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.netacad.com>.
- [6] H. Shi, Y. Wang y R. Zhang, "Study on OSPF Routing Protocol of Computer Network Based on Packet Tracer," en *Proc. 2015 Int. Conf. on Management, Education, Information and Control*, 2015.
- [7] M. N. Alfani y B. Sugiantoro, "Analysis of QoS VLAN Based on Dijkstra's Algorithm on Open Shortest Path First (OSPF)," *Int. Journal on Informatics for Development*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [8] Y. Duan, S. Hu, S. Lu y S. Yang, "Application of OSPF Routing Protocol in Network Security," en *Proc. 2018 Symp. on System Theory and Applications (SYSTCA'18)*, 2018.