



ESTUDIO COMPARATIVO DE PROTOCOLOS DE RUTEO EN REDES MALLADAS USANDO GNS3

ROUTING PROTOCOLS COMPARATIVE STUDY
IN MESH NETWORKS USING GNS3



ESTUDIO COMPARATIVO DE PROTOCOLOS DE RUTEO EN REDES MALLADAS USANDO GNS3

ROUTING PROTOCOLS COMPARATIVE STUDY IN MESH NETWORKS USING GNS3

**Paúl Fernando Cando Evas¹,
Roberto Alejandro Larrea-Luzuriaga²**

¹ Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, paul.cando@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Ecuador, roberto.larrea@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

La implementación de redes malladas es una solución de altas prestaciones a nivel de enlaces redundantes. El enrutamiento dinámico es el responsable del cálculo de la ruta óptima en topologías de red de paquetes con numerosos enlaces. El proceso para encontrar la mejor ruta factible constituye el procesamiento de diferentes métricas del algoritmo de enrutamiento, en el cual los tiempos de convergencia pueden diferir dependiendo de la topología de la red. De esta manera se puede evaluar el funcionamiento y rendimiento del protocolo de enrutamiento. Este trabajo presenta un estudio comparativo de tres protocolos de enrutamiento siendo estos RIPv2, OSPF y EIGRP, configurados en topología de red en malla. Por medio del estudio se analiza el rendimiento de los tres protocolos de enrutamiento, utilizando un simulador de red GNS3. El software permite simular diferentes escenarios de red, incorporando en las simulaciones los sistemas operativos reales de los enrutadores (IOS). Se ha simulado una topología mallada con estos tres protocolos para observar y analizar el comportamiento de la red, el flujo de tráfico, el tiempo de actualización de las rutas y la convergencia de la red. El escenario de simulación está compuesto por 4 enrutadores conectados por interfaces FastEthernet. Los dispositivos equipos de red utilizados corresponden a enrutadores Cisco con sistema operativo versión 12.4(13b) para una plataforma de servicio de enrutador 2691 con Base IP. Para realizar las simulaciones, se utiliza una máquina virtual por medio de la utilización e integración de GNS3 con VirtualBox. La máquina virtual corresponde a un computador con un sistema operativo Windows 10, que se encuentra conectada a una interfaz de un enrutador de la red en topología en malla. Desde el computador se envía paquetes de datos en forma de ping, cuya data se registra y se monitorea por medio de la utilización de un software de gestión de redes. Cada enrutador tiene 3 interfaces de red que se conectan con los otros enrutadores creando una red mallada de enlaces redundantes para llegar a cada enrutador. Cada enrutador se configura con los protocolos de ruteo a analizar y evaluar ante posibles fallos. El análisis del funcionamiento de cada protocolo de ruteo analizado en el estudio y su accionar frente a fallos en la red, han permitido estimar el tiempo de convergencia de cada uno. Como se muestra en los resultados, RIP presenta el tiempo más bajo para inicializar la red, mientras que OSPF es el protocolo que presenta el mejor tiempo de convergencia tras el primer y segundo fallo de red. Por último, EIGRP presenta el menor número de interfaces afectadas durante el primer y segundo fallo de red.

Palabras claves: enrutamiento, protocolos de ruteo, redes malladas, tiempos de convergencia, gestión de redes, gns3.

ABSTRACT

The implementation of meshed networks is a high-performance solution at the level of redundant links. Dynamic routing is responsible for calculating the optimal route in packet network topologies with numerous links. The process of finding the best feasible route constitutes the processing of different metrics of the routing algorithm, in which convergence times may differ depending on the network topology. In this way, the operation and performance of the routing protocol can be evaluated. This paper presents a comparative study of three routing protocols, RIPv2, OSPF and EIGRP, configured in a mesh network topology. The study analyzes the performance of the three routing protocols using a GNS3 network simulator. The software allows simulating different network scenarios, incorporating in the simulations the real operating systems of the routers (IOS). A meshed topology has been simulated with these three protocols to observe and analyze network behavior, traffic flow, routing update time and network convergence. The simulation scenario is composed of 4 routers connected by Fast-Ethernet interfaces. The network equipment devices used correspond to Cisco routers with operating system version 12.4(13b) for a 2691 router service platform with IP Base. To perform the simulations, a virtual machine is used through the use and integration of GNS3 with VirtualBox. The virtual machine corresponds to a computer with a Windows 10 operating system, which is connected to a router interface of the network in a mesh topology. From the computer, data packets are sent in the form of a ping, whose data is recorded and monitored using network management software. Each router has 3 network interfaces that connect to the other routers creating a mesh network of redundant links to reach each router. Each router is configured with routing protocols to be analyzed and evaluated for possible failures. The analysis of the operation of each routing protocol analyzed in the study and its performance in the event of network failures has allowed us to estimate the convergence time of each one. As shown in the results, RIP presents the lowest time to initialize the network, while OSPF is the protocol that presents the best convergence time after the first and second network failure. Finally, EIGRP shows the lowest number of interfaces affecting during the first and second network failure.

Keywords: routing, routing protocols, mesh networks, convergence time, network management, gns3.

Recibido: 12/02/2023
Received: 12/02/2023

Aceptado: 05/04/2023
Accepted: 05/04/2023

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia las redes de datos constituyen un aspecto fundamental en el área de las telecomunicaciones, siendo de gran importancia el estudio de protocolos de enrutamiento. Software de administración de redes permite monitorear el funcionamiento de una red. En este estudio la topología a analizar corresponde a una red mallada frente al accionar de diferentes protocolos de ruteo dinámico configurados ante posibles fallos de red. De esta manera, el objetivo principal del estudio es analizar de qué manera funciona cada protocolo en este tipo de topología y evaluar que protocolo posee las mejores prestaciones.

El enrutamiento es el proceso a través del cual un enrutador determina la mejor ruta de un paquete de datos para llegar a un destino. Este paquete pasa por varios equipos de red por lo que la red de destino es diferente a la red de origen. Un enrutador con enrutamiento dinámico puede procesar múltiples redes y pasar las rutas entre enrutadores vecinos. El enrutamiento dinámico es el encargado de especificar el acceso a nuevos nodos en la red o adaptar y modificar el acceso a ciertas partes de una red datos interconectada debido a diferentes causas entre ellas a la caída de algún enlace o nodo buscando una ruta óptima alternativa [1].

Los protocolos de enrutamiento son algoritmos que permiten determinar y seleccionar la mejor ruta sobre la cual se enviará el tráfico de red de una red a otra. Para ello, estos algoritmos utilizan diferentes métricas asociada a los enlaces, como el ancho de banda, el retraso, la carga, la fiabilidad, el número de saltos o el coste, entre otros [2]. De esta manera, por medio del intercambio de información entre enrutadores y la topología de red existente, es posible determinar los mejores enlaces a utilizar para llegar a un destino específico.

Los protocolos de enrutamiento se subdividen en dos tipos, vector de distancia y estado de enlace. Por un lado, los algoritmos de vector distancia utilizan el algoritmo de Bellman-Ford. Busca la ruta de menor costo por el método indirecto de búsqueda. El vector distancia asociado a un nodo de red es un paquete de control que contiene la distancia a los nodos de la red conocida hasta el momento. Cada nodo envía a sus vecinos las distancias que conoce a través de este paquete. Los nodos vecinos examinan esta información y la comparan con la información que ya tienen actualizando su tabla de enrutamiento, si es necesario. Algunos ejemplos de protocolos de

vector de distancia son el Protocolo de información de enrutamiento RIPV2, el Protocolo de enrutamiento de puerta de enlace interior (IGRP) y el Protocolo de enrutamiento de puerta de enlace interior mejorado (EIGRP) [3]. Por otra parte, los algoritmos de estado de enlace se basan en que cada nodo conozca la topología de la red y los costos asociados con los enlaces. A partir de estos datos se puede generar un árbol de enlaces y tabla de enrutamiento, posterior a la aplicación del algoritmo de costo mínimo (algoritmo de Dijkstra) Open Shortest Path First (OSPF).

Además de los protocolos de encaminamiento, es importante establecer la topología de red más adecuada acorde a las aplicaciones o finalidad de la transmisión de datos. Las topologías de red pueden variar en función de la conexión física de los dispositivos en topologías simples como la de bus, estrella o anillo y estructuras más complejas como redes de malla. Además de estas topologías, se pueden combinar para agrupar nodos en clústeres [4] o en grupos [5]. Las redes con topologías en malla ofrecen un grado de redundancia ante una posible falla, de modo que, si falla un enlace, es posible mantener la comunicación entre todos los nodos de la red. Este hecho es fundamental en las redes troncales [6]. En una red principal (backbone) con topología en malla donde se configura un enrutamiento dinámico con valores por defecto, cada nodo de la malla, después de que la red ha convergido, tiene una base de datos con la información de las rutas de la red hacia cada nodo, donde habrá información de cómo llegar al destino por varias rutas de igual costo. Se conoce como redundancia.

El tiempo que tarda un protocolo de enrutamiento en calcular la ruta para llegar al destino, así como el tiempo de convergencia para iniciar la transmisión de datos después de una falla y el tiempo de recuperación son diferentes según el protocolo y el modo en que intercambia información sobre la topología de la red. Por esta razón, algunos protocolos tendrán mejor desempeño que otros.

En este artículo vamos a realizar un análisis comparativo con tres protocolos de enrutamiento, RIPV2, OSPF y EIGRP, para analizar y evaluar cuál ofrece el mejor rendimiento cuando se utiliza una topología en malla. Estos protocolos se utilizan en una topología de malla compuesta por 4 enrutadores y una computadora que monitorea todos los eventos. Las pruebas se realizan en términos de tiempo de convergencia cuando la red comienza a funcionar, tiempo de recuperación

después de una falla y respuesta de la red cuando uno o dos enlaces registran una falla.

El ambiente de pruebas corresponde a una red mallada, cuya configuración y habilitación se lo realizará sobre una herramienta de simulación de redes avanzadas llamada GNS3 [7]. El software de simulación, permite crear y diseñar topologías de red a ser evaluadas por medio de simulaciones que incorporen elementos reales como los diferentes modelos de equipos de enrutamiento y sistemas operativos de red, que permita obtener resultados semejantes a los que se obtuviera en una red implementada. GNS3 es ampliamente utilizado por más de 13 años en la construcción y diseño de redes inicialmente emulaba dispositivos Cisco que usaban software llamado Dynamips, ahora ha crecido y admite muchos dispositivos de diversos proveedores de red como, por ejemplo; conmutadores virtuales Cisco, Cisco ASA, conmutadores Cumulus Linux, Brocade vRouters, varios dispositivos Linux, HPE VSR entre otros.

Existen varios estudios comparativos donde se han estudiado topologías más complejas, pero no se ha encontrado estudios de protocolos de enrutamiento dinámico en topologías de malla. Sin embargo, existen propuestas interesantes basadas en topologías de malla como [8] donde los autores presentaron un conjunto de bancos de prueba para estudiar la interacción TCP/IP basado en el costo de congestión para evaluar la estabilidad y la optimización de topologías malladas y [9] donde describe un algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO) que utiliza una topología de vecindad de malla, que no requiere ningún parámetro de nicho. Por este motivo, se ha realizado la presente investigación.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

La red mallada del estudio está compuesta por cuatro enrutadores interconectados cada uno de ellos a los otros tres. En cada enrutador se encuentra configurados protocolos de ruteo dinámico, soportados por el IOS utilizado en la simulación.

En cada enrutador se ha configurado el direccionamiento IP de cada interfaz que interconecta a los otros enrutadores. Los protocolos de ruteo configurados son RIPV2, OSPF, EIGRP, además se utilizó una máquina virtual conectada a uno de los enrutadores con la cual se monitorea

todos los enlaces demostrando la conectividad a todos los puntos de la red y el correcto funcionamiento de la red con topología en malla.

Para realizar el estudio, se evalúa el rendimiento de cada protocolo configurado sobre una topología de red en malla compuesta por 4 enrutadores conectados por interfaces FastEthernet. Cada enrutador tiene 3 interfaces de red. Los dispositivos utilizados son enrutadores Cisco 2691 con sistemas operativos (IOS) versión 12.4(13b) IP Base. Para realizar las simulaciones, se conecta una computadora virtual (Windows_10) a la topología en malla, sobre la cual se ha instalado un software de gestión de red que permita registrar y monitorear eventos en la red. Se ha utilizado dos softwares de gestión llamados Wireshark y Solarwinds. El computador es el encargado de enviar paquetes ICMP de datos en forma de ping hacia todas las interfaces de los enrutadores tal como se muestra en la figura 1.

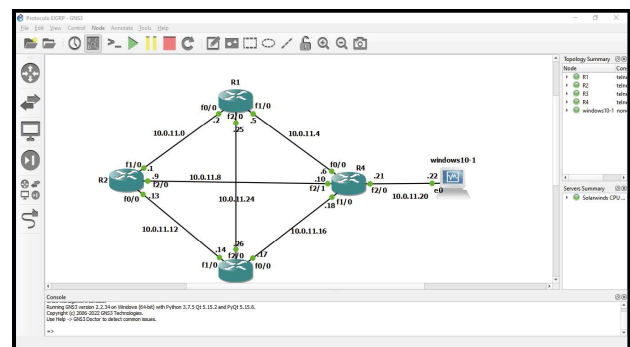


Figura 1. Red mallada

Para el direccionamiento de la red, se ha utilizado VLSM. Se ha definido 7 subredes con máscara de subred /30 a partir de la dirección de clase A 10.0.11.0/24 con mascara 255.255.255.0 y broadcast 10.0.11.255. La tabla 1 contiene los datos de cada una de las subredes configuradas.

Tabla 1. Direccionamiento de Red

Subred	Red	Máscara	Red	Máscara	Red
1	10.0.11.0/24	255.255.255.0	10.0.11.0	255.255.255.0	10.0.11.255
2	10.0.11.0/24	255.255.255.0	10.0.11.0	255.255.255.0	10.0.11.255
3	10.0.11.0/24	255.255.255.0	10.0.11.0	255.255.255.0	10.0.11.255
4	10.0.11.0/24	255.255.255.0	10.0.11.0	255.255.255.0	10.0.11.255
5	10.0.11.0/24	255.255.255.0	10.0.11.0	255.255.255.0	10.0.11.255
6	10.0.11.0/24	255.255.255.0	10.0.11.0	255.255.255.0	10.0.11.255
7	10.0.11.0/24	255.255.255.0	10.0.11.0	255.255.255.0	10.0.11.255

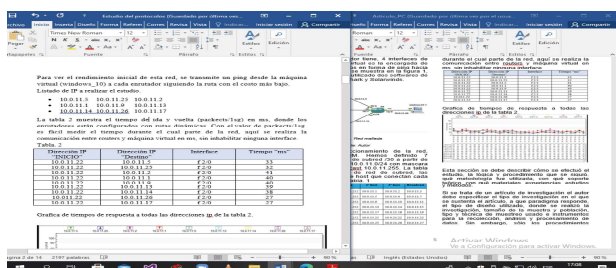
De manera inicial se evalúa el rendimiento de la red ejecutando un ping desde la máquina virtual a cada enrutador acorde a la mejor ruta calculada por cada protocolo de enrutamiento, o de menor coste.

Listado de direcciones IP configuradas en cada interfaz de los enrutadores del estudio.

10.0.11.5	10.0.11.25	10.0.11.2	R1
10.0.11.1	10.0.11.9	10.0.11.13	R2
10.0.11.14	10.0.11.26	10.0.11.17	R3

La tabla 2 muestra el tiempo de ida y vuelta (paquetes por segundo) en milisegundos (ms), donde los enrutadores están configurados con protocolos de enrutamiento dinámico. Con los valores obtenidos es fácil medir el tiempo, aquí se realiza la comunicación entre routers y máquina virtual en ms, sin inhabilitar ninguna interface.

Tabla 2. Tiempos de ida y vuelta medidos a cada interfaz de red



Grafica de tiempos de respuesta monitoreados por medio del software de gestión a todas las interfaces mostradas en la tabla 2.

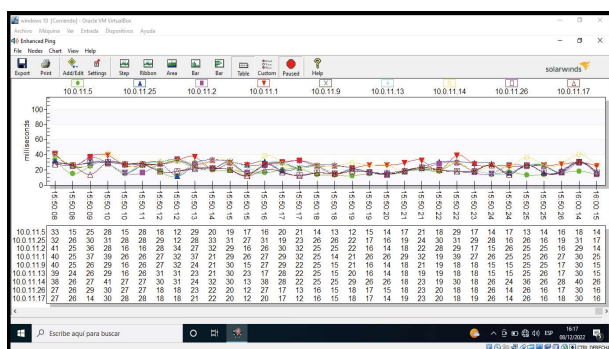


Figura 2. Grafica de pings continuos a todas las interfaces desde la máquina virtual sin el establecimiento de una falla en la red

Si se analizan los resultados, se observa que el mayor tiempo de respuesta lo registra la red más lejana a R1, es decir, la ruta hasta la red 10.0.11.0/30 por medio de la interfaz f2/0 del enrutador R4. Se observa también, que el tiempo mínimo de respuesta se establece para llegar al

enrutador R3 en 27ms, de las redes 10.0.11.16/30 y 10.0.11.24/30

2.1. ESTUDIO DE PROTOCOLOS

En esta sección se evalúan RIP V2, OSPF y EIGRP. Los protocolos se evalúan en términos de tiempo de recuperación después de una falla. Se analiza los diferentes estados que se establecen en una red que ejecuta un protocolo de enrutamiento tras sufrir un fallo, es decir los diferentes eventos como: actualización de mensajes, inicialización, falla, recuperación [10].

Al configurar los protocolos de enrutamiento con sus parámetros predeterminados, los enrutadores calculan 3 rutas óptimas para llegar a las redes no adyacentes de cada enrutador. Debido al establecimiento de una topología en malla, cada enrutador tiene tres rutas óptimas para llegar al punto más lejano a cada nodo. Para evaluar el desempeño de cada protocolo de enrutamiento, se requiere determinar el tiempo de aprendizaje y la convergencia de la red con topología en malla, en tres etapas diferentes: (1) al comienzo de la operación, (2) cuando se registra un enlace caído y (3) cuando se restablezca este enlace. Se ha establecido un punto de falla en el enlace entre el enrutador R1 y R4 para RIPV2, mientras que para OSPF y EIGRP se ha establecido dos puntos de falla de igual manera entre los mismos enrutadores. Cuando se inicia la el funcionamiento de la red en malla, los enrutadores deben calcular y aprender las tres rutas óptimas para llegar a las redes no adyacentes en ambas direcciones por medio de las interfaces de cada enrutador con el mismo costo. Para determinar los tiempos de recálculo de las rutas y la convergencia de la red en malla como resultado de un enlace caído, el punto de monitoreo se establece en el nodo más alejado del enrutador R2, es decir, en la máquina virtual que se utiliza para monitorear la actividad de la red. El punto de falla se establece en la interfaz FastEthernet F0/0 y FastEthernet F1/0 del enrutador R4. Después de generar el primer y segundo fallo, los enlaces se vuelven a conectar y restaurar. El tiempo transcurrido entre la generación del fallo y el restablecimiento de la comunicación nos dará el tiempo de inactividad de la malla considerado como el tiempo de convergencia que necesitarán los dispositivos para enrutar nuevamente los paquetes [10].

2.1.1. ESTUDIO DEL PROTOCOLO RIP V2

Para poder evaluar el desempeño de la red cuando se está ejecutando RIPv2, se ha generado una falla en la conexión entre el R1 y el R4. Para evaluar el tiempo de restauración se ha enviado un ping continuo entre la máquina virtual y cada enrutador. La Figura 3 muestra los tiempos de respuesta de cada ping establecido. Los enrutadores R4 y R1 se alcanzan a través del camino más corto, la desconexión del enlace se genera a las 70ms (fallo). A partir de este momento la red necesita alrededor de 13.ms para recuperar la comunicación con los enrutadores R4 y R1. Además, se observa que los enrutadores R2 y R3 no han perdido la conectividad con la máquina virtual, aunque se observa una afectación en los tiempos de respuesta al momento del fallo.

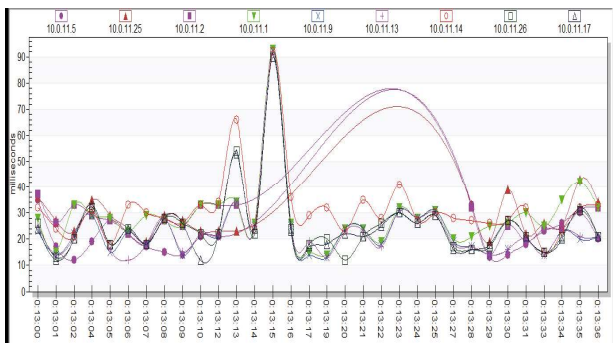


Figura 3. Gráficas de pings con fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R4

La gráfica 4 muestra el registro de los pings donde se puede visualizar la falla en el enrutador R4 interfaz f0/0.

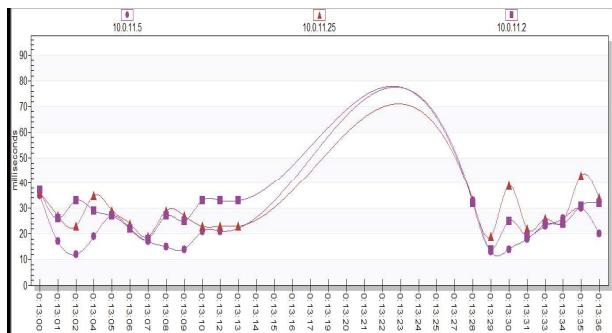


Figura 4. Gráfica de pings con fallos y restablecimiento

2.1.2. ESTUDIO DEL PROTOCOLO OSPF

Para evaluar el tiempo de restauración de OSPF, se ha ejecutado de igual manera un ping continuo entre la máquina virtual y cada enrutador. En este

caso se ha generado 1 fallo entre el enrutador R4 y R1 y de manera posterior un segundo fallo entre el enrutador R3 y R4. La graficas muestran el comportamiento de la conectividad, entre la máquina virtual y cada enrutador después de la primera y segunda falla. Se observa que la desconexión se genera al transcurso de 56.917ms la primera falla y a su vez la segunda falla se genera al transcurso de 82.111ms. A partir de este momento, la red necesita alrededor de 10ms para recuperar la comunicación con el enrutador R1 y alrededor de 9ms para recuperar la comunicación con el enrutador R3. Además, se observa que el enrutador R2 no han perdido conectividad con la máquina virtual. Sin embargo, en el primer fallo y el segundo fallo se evidencia que el ping a las interfaces 10.0.11.25 y 10.0.11.2 son afectadas y restauradas nuevamente.

En la figura 5 se muestran los pings afectados por el primer fallo.

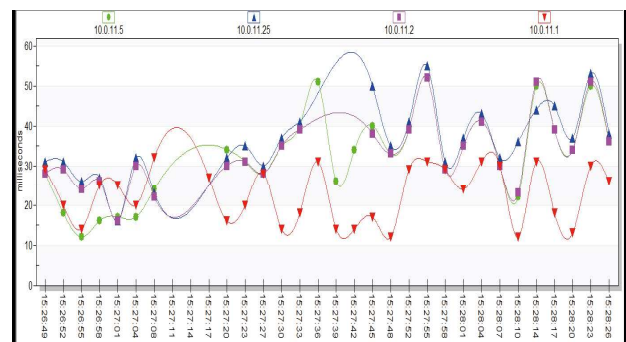


Figura 5. Gráfica de pings afectados en el primer fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R4

En la figura 6 se muestra los pings afectados por el segundo fallo.

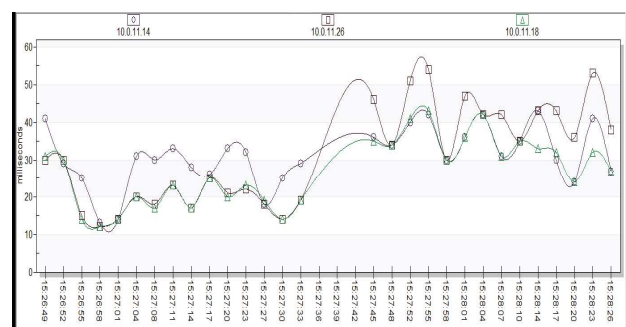


Figura 6. Gráfica de pings afectados en el segundo fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R3

En la figura 7 se muestra los pings afectados tanto por el primer y segundo fallo.

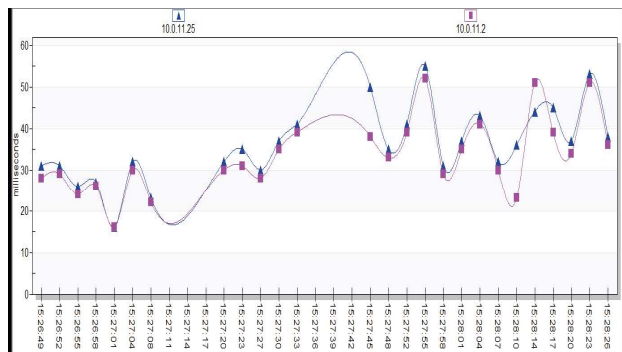


Figura 7. Gráfica de pings afectados tanto en el primer y segundo fallo

2.1.3. ESTUDIO DEL PROTOCOLO EIGRP

Para evaluar el desempeño del protocolo de ruteo EIGRP en la red mallada se ha generado una falla en la conexión entre el enrutador R4 y el R1 y además una segunda falla entre el enlace del enrutador R4 y R3.

Las gráficas registran el comportamiento de cada uno de los pings ejecutados. La primera falla se genera a los 45.909ms y la segunda falla a los 67.522ms. A partir de este momento, la red necesita alrededor de 22.000ms para recuperar la comunicación de la máquina virtual al enrutador R1, mientras que con enrutador R2 no se ha perdido la conectividad. El valor de tiempo de recuperación de conectividad con el enrutador R3 es de aproximadamente 19.000 ms.

El comportamiento de cada ping realizado desde la máquina virtual y los diferentes enrutadores ante el primer y segundo fallo se muestran en la figura 8.

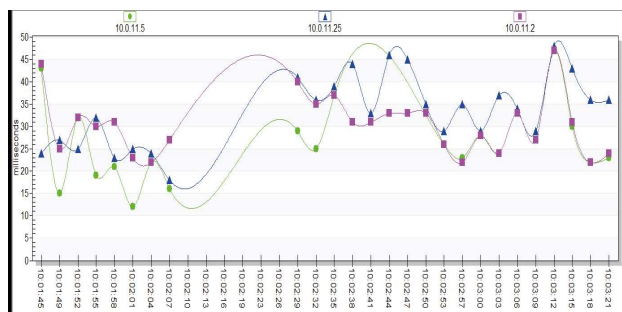


Figura 8. Gráfica de pings afectados tanto en el primer y segundo fallo

En la figura 9 se registran los pings afectados por el primer fallo.

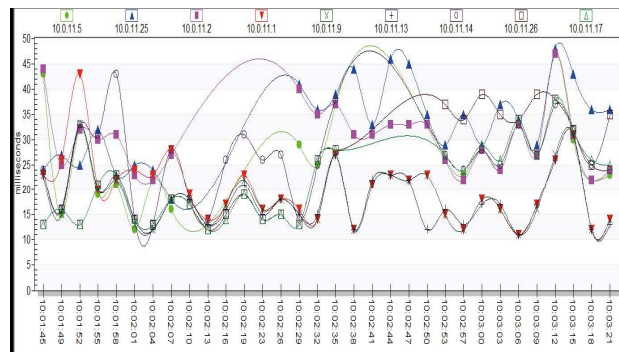


Figura 9. Gráfica de pings afectados en el primer fallo en la interfaz F0/0 del enrutador R4

En la figura 10 se registran los pings afectados por el segundo fallo.

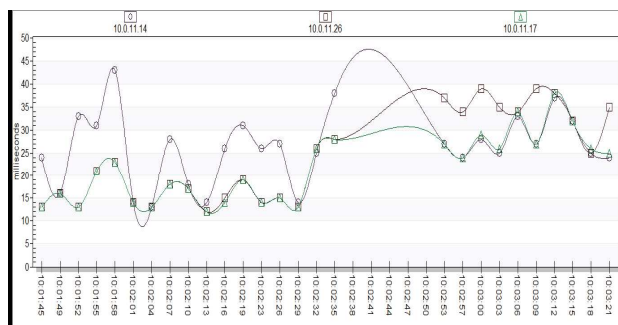


Figura 10. Gráfica de pings afectados en el segundo fallo en la interfaz F1/0 del enrutador R4

En la figura 11 se registran los pings afectados tanto en el primer y segundo fallo.

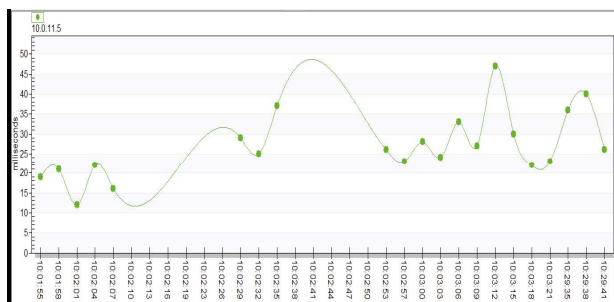


Figura 11. Gráfica de pings afectados tanto en el primer y segundo fallo

3. RESULTADOS

RIPV2

La Tabla 3 muestra los tiempos de respuesta para este protocolo, en las diferentes fases de su funcionamiento.

Tabla 3. Resultados RIPV2

Evento	Resultados RIP	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	30.950
Inicio de red	Inicio de rutas	35.692
	Convergencia de red	68.807
Falla	Fallo	70.006
	Convergencia de red posterior al fallo	83.931
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	85.151
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	93.276

OSPF

La

Tabla 4, muestra los tiempos de respuesta registrados para el protocolo OSPF, con el 1º fallo en las diferentes etapas.

Tabla 4. Resultados OSPF primer fallo

Evento	Resultados OSPF 1º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	11.422
Inicio de red	Inicio de rutas	31.806
	Convergencia de red	56.917
Falla	Fallo	60.003
	Convergencia de red posterior al fallo	66.193
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	69.513
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	82.111

La Tabla 5, muestra los tiempos de respuesta registrados para el protocolo OSPF, con el 2º fallo en las diferentes etapas.

Tabla 5. Resultados OSPF segundo fallo

Evento	Resultados OSPF 2º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	14.000
Inicio de red	Inicio de rutas	69.514
	Convergencia de red	82.071
Falla	Fallo	82.111
	Convergencia de red posterior al fallo	91.499
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	94.638
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	135.557

EIGRP

La Tabla 6, muestra los diferentes tiempos de respuesta del protocolo EIGRP en sus diferentes etapas ante el primer fallo.

Tabla 6. Resultados EIGRP primer fallo

Evento	Resultados EIGRP 1º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	13.36
Inicio de red	Inicio de rutas	24.221
	Convergencia de red	45.909
Falla	Fallo	48.948
	Convergencia de red posterior al fallo	64.408
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	67.493
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	73.709

La Tabla 7, presenta los distintos tiempos de respuesta del protocolo EIGRP en sus diferentes etapas ante el segundo fallo.

Tabla 7. Resultados EIGRP segundo fallo

Evento	Resultados EIGRP 2º fallo	
	Acción	Tiempo (ms)
Actualización de mensajes	- -	13.00
Inicio de red	Inicio de rutas	67.493
	Convergencia de red	73.709
Falla	Fallo	76.762

	Convergencia de red posterior al fallo	89.158
Recuperación	Recuperación (Restablecimiento del fallo)	92.251
	Convergencia de red posterior al restablecimiento del fallo	123.163

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

RIPV2

Al momento de realizar una falla entre el enrutador R1 y R4 se busca el camino más corto es decir consumir el menor costo, el tiempo que necesita para recuperar la comunicación es de 13ms.

OSPF

Para el estudio de OSPF, se realizó dos fallos, ante el primer fallo que se verifica el transcurso de tiempo para la restauración de dicho fallo a los 6ms y después la red recupera su convergencia, luego al segundo fallo determinamos el transcurso de tiempo en restablecerse, con un tiempo de alrededor de 9ms en restaurar su convergencia. Se observa que la conectividad a las interfaces 10.0.11.25 y 10.0.11.2 son las que son afectadas tanto por el primer y segundo fallo. Sin embargo, OSPF se encarga de restablecer la conectividad a las interfaces afectadas, restableciendo la convergencia de red de manera eficiente sin importar los fallos dados.

EIGRP

Este protocolo se dice posee buenas características para recuperarse ante fallos, al igual que al anterior protocolo se realizan dos fallos.

En el primer fallo el tiempo de convergencia de la red es de alrededor de 15ms, mientras que ante el segundo fallo el tiempo de convergencia fue de alrededor de 12ms. Sin embargo, con este protocolo de enrutamiento la afectación es menor tanto con el primer fallo como con el segundo fallo, siendo la interfaz 10.0.11.5.

5. CONCLUSIÓN

En el presente análisis comparativo, se ha evaluado el rendimiento de varios protocolos de enrutamiento dinámico (RIPV2, OSPF y EIGRP) en una red con topología en malla. Posterior a su evaluación, se debe resaltar varios aspectos de la topología en malla en función del protocolo de enrutamiento que se ejecuta. Por un lado, RIP presenta un buen tiempo de respuesta al inicio de la actividad de la red, sin embargo, consume un mayor tiempo en el restablecimiento de la red cuando la red se recupera de la falla, habiendo un mayor número de interfaces afectada ante un fallo.

Por un lado, OSPF tiene un mayor tiempo en la red arrancando, pero a diferencia de RIP, su desempeño mejora luego de la primera falla. También mejora su tiempo de convergencia. Las simulaciones muestran que luego de una falla los enrutadores en una topología de malla convergen en forma asíncrona, es decir, la conectividad con los otros enrutadores se va restableciendo de acuerdo al tiempo que cada enrutador necesita para calcular la nueva ruta óptima. A diferencia de RIPV2 que no cuenta con este eficiente restablecimiento de rutas. OSPF registró los mejores tiempos de convergencia de la red luego de una falla y una segunda falla. EIGRP tuvo la mejor recuperación de enlaces caídos frente el primer y segundo fallo afectándose tan solo una interfaz, a diferencia de OSPF en la cual se afectaron dos interfaces.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Sendra, P. Fernández, M. Quilez, and J. Lloret, "Study and Performance of Interior Gateway IP Routing Protocols", Integrated Management Coastal Research Institute, Polytechnic University of Valencia, Network Protocols and Algorithms, 2010, Vol. 2, No. 4, pp. 88-117.
- [2] J. Deng, S. Wu, and K. Sun, "Comparison of RIP, OSPF and EIGRP Routing Protocols based on OPNET," Simon Fraser University School of Engineering Science. ENSC 427: Communication Networks, 2014.

[3] M. Nguyen, K. Mirzahosseini, and S. Elmasry, "Analysis of RIP, OSPF, and EIGRP Routing Protocols using OPNET," Simon Fraser University School of Engineering Science ENSC 427: Communication Networks, 2013.

[4] M. Atto and C. Guy, "Routing Protocols for Structural Health Monitoring of Bridges Using Wireless Sensor Networks," Network protocols and Algorithms, 2015, Vol 7, No 1, pp.1-23.

[5] J. Lloret, S. Sendra, M. Garcia, and G. Lloret, "Group-based underwater wireless sensor network for marine fish farms," 2011 IEEE GLOBECOM Workshops, Houston, Texas, USA, December 5-9, 2011. pp.115,119.

[6] B. Meador. "A Survey of Computer Network Topology and Analysis Examples," Academic Report. In Washington University website. Available at http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-08/ftp/topology/#ring_network_topology

[7] C. Welsh, "GNS3 Network Simulation Guide," Packt Publishing, ISBN 13 9781782160809, October 2013

[8] J. He, M. Chiang and J. Rexford, "TCP/IP interaction based on congestion price: Stability and optimality." In proceedings of the IEEE 2006 International Conference on Communications (ICC 2006). June 11-15, 2006, Istanbul, Turkey. pp. 1032-1039

[9] X. Li, "Niching without niching parameters: particle swarm optimization using a ring topology," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2010, Vol. 14, No. 1, pp. 150-169.

[10] R. A. Larrea-luzuriaga, J. M. Jimenez, S. Sendra, and J. Lloret, "Comparative Study of Routing Protocols in Ring Topologies using GNS3," Elev. Int. Conf. Internet Monit. Prot., pp. 38-44, 2016.