



ANEXOS

Anexo I

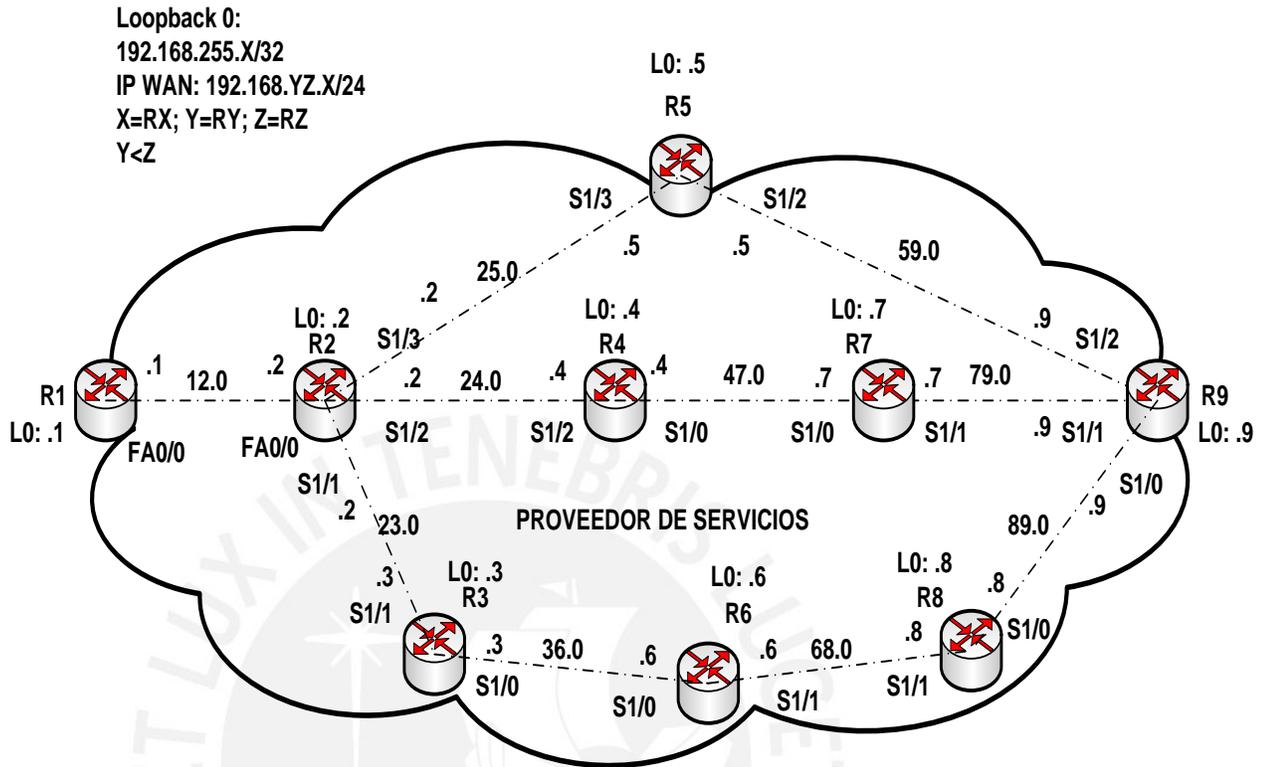


Figura N° 9: Simulación de MPLS TE sobre OSPF (OSPF TE).

Simulación realizada en Dynamips 0.2.8-RC2-x86, utilizando el IOS de CISCO versión 12.4(19). El objetivo de la presente simulación es aplicar TE para establecer una ruta entre las interfaces Loopbacks 0 de R1 y R9, con reserva de 500 Kb/s y siguiendo el trayecto R1-R2-R3-R6-R8-R9, se consideró todos los enlaces de la misma capacidad.

Descripción de direccionamiento IP y procedimiento establecido:

- 1.- En la Figura N° 9 se tiene 9 enrutadores: R1, R2,....., R9. En general nos referiremos a un enrutador como a RX, donde X es igual a 1, 2,.....,9. Cada enrutador RX posee una interface Loopback 0, con dirección igual a 192.168.255.X/32.
- 2.- La dirección de red para el enlace entre 2 enrutadores será 192.168.YZ.X/24, siendo Y el número del menor enrutador y Z el del mayor enrutador, es decir, la dirección de red entre los enrutadores R3 (Y=3) y R6 (Z=6) será igual a

192.168.36.0/24, teniendo como dirección en la interface local a 192.168.36.X/24, donde X representa el número del enrutador respecto al numeral 1.

3.- Direccionamiento IP y OSPF.

R1:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.1 255.255.255.255
exit
interface fa0/0
ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
speed 100
duplex full
exit
```

```
router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface fa0/0
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R2:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.2 255.255.255.255
exit
interface fa0/0
ip address 192.168.12.2 255.255.255.0
speed 100
duplex full
no shutdown
exit
interface s1/1
ip address 192.168.23.2 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
interface s1/2
ip address 192.168.24.2 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
interface s1/3
ip address 192.168.25.2 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
```

```
router ospf 1
```

```
passive-interface default
no passive-interface fa0/0
no passive-interface s1/1
no passive-interface s1/2
no passive-interface s1/3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R3:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.3 255.255.255.255
exit
interface s1/0
ip address 192.168.36.3 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
interface s1/1
ip address 192.168.23.3 255.255.255.0
no shutdown
exit
```

```
router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface s1/0
no passive-interface s1/1
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R4:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.4 255.255.255.255
exit
interface s1/0
ip address 192.168.47.4 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
interface s1/2
ip address 192.168.24.4 255.255.255.0
no shutdown
exit
```

```
router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface s1/0
```

```
no passive-interface s1/2
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R5:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.5 255.255.255.255
exit
interface s1/2
ip address 192.168.59.5 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
interface s1/3
ip address 192.168.25.5 255.255.255.0
no shutdown
exit
```

```
router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface s1/2
no passive-interface s1/3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R6:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.6 255.255.255.255
exit
interface s1/0
ip address 192.168.36.6 255.255.255.0
no shutdown
exit
interface s1/1
ip address 192.168.68.6 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
```

```
router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface s1/0
no passive-interface s1/1
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R7:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.7 255.255.255.255
exit
interface s1/0
ip address 192.168.47.7 255.255.255.0
no shutdown
exit
interface s1/1
ip address 192.168.79.7 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
```

```
router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface s1/0
no passive-interface s1/1
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R8:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.8 255.255.255.255
exit
interface s1/0
ip address 192.168.89.8 255.255.255.0
clock rate 64000
no shutdown
exit
interface s1/1
ip address 192.168.68.8 255.255.255.0
no shutdown
exit
```

```
router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface s1/0
no passive-interface s1/1
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit
```

R9:

```
interface loopback 0
ip address 192.168.255.9 255.255.255.255
```

```

exit
interface s1/0
ip address 192.168.89.9 255.255.255.0
no shutdown
exit
interface s1/1
ip address 192.168.79.9 255.255.255.0
no shutdown
exit
interface s1/2
ip address 192.168.59.9 255.255.255.0
no shutdown
exit

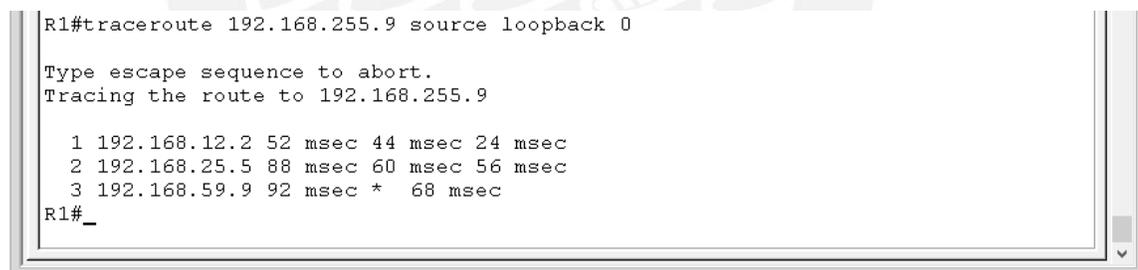
```

```

router ospf 1
passive-interface default
no passive-interface s1/0
no passive-interface s1/1
no passive-interface s1/2
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
exit

```

4.- Sin TE y considerando todos los enlaces de la misma capacidad, la ruta desde la Loopback 0 en R1 hasta la Loopback 0 en R9 seguirá R1-R2-R5-R9, tal como se muestra en la siguiente figura, siguiendo el criterio de la ruta con menor costo.



```

R1#traceroute 192.168.255.9 source loopback 0
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.255.9
 0 192.168.12.2 52 msec 44 msec 24 msec
 1 192.168.25.5 88 msec 60 msec 56 msec
 2 192.168.59.9 92 msec * 68 msec
R1#_

```

5.- Se convirtieron los enrutadores RX en enrutadores LSR (simulando una red MPLS).

R1:

```

interface fa0/0
mpls ip
exit

```

R2:

```

interface fa0/0
mpls ip
exit

```

```
interface s1/1
mpls ip
exit
interface s1/2
mpls ip
exit
interface s1/3
mpls ip
exit
```

R3:

```
interface s1/0
mpls ip
exit
interface s1/1
mpls ip
exit
```

R4:

```
interface s1/0
mpls ip
exit
interface s1/2
mpls ip
exit
```

R5:

```
interface s1/2
mpls ip
exit
interface s1/3
mpls ip
exit
```

R6:

```
interface s1/0
mpls ip
exit
interface s1/1
mpls ip
exit
```

R7:

```
interface s1/0
mpls ip
exit
interface s1/1
mpls ip
exit
```

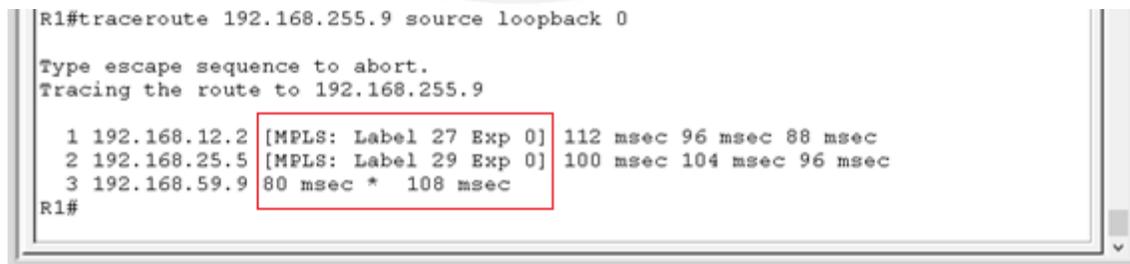
R8:

```
interface s1/0
mpls ip
exit
interface s1/1
mpls ip
exit
```

R9:

```
interface s1/0
mpls ip
exit
interface s1/1
mpls ip
exit
interface s1/2
mpls ip
exit
```

6.- Se verificó una red IP/MPLS (conmutando etiquetas MPLS). Se observa que se mantiene la ruta del camino con menor costo y la utilización de las etiquetas impuestas por MPLS, tal como se observa en la siguiente figura.



```
R1#traceroute 192.168.255.9 source loopback 0
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.255.9
 0 192.168.1.1 [MPLS: Label 27 Exp 0] 112 msec 96 msec 88 msec
 1 192.168.12.2 [MPLS: Label 29 Exp 0] 100 msec 104 msec 96 msec
 2 192.168.59.9 80 msec * 108 msec
R1#
```

7.- Con el comando: show ip ospf database opaque-area self-originate (*), se verificó que aún no existe información de TE para OSPF. Se habilitó MPLS TE para OSPF, se comprobó TE y se verificó la ruta sin TE.

```
R1#show ip ospf database opaque-area self-originate
      OSPF Router with ID (192.168.255.1) (Process ID 1)
R1#_
```

R1:

```
mpls traffic-eng tunnels
interface fa0/0
mpls traffic-eng tunnels
exit
```

```
router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 0
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R2:

```
mpls traffic-eng tunnels
interface fa0/0
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/1
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/2
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/3
mpls traffic-eng tunnels
exit
```

```
router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 0
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R3:

```
mpls traffic-eng tunnels
interface s1/0
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/1
mpls traffic-eng tunnels
exit
```

```
router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 0
```

```
mpls traffic-eng area 0  
exit
```

R4:

```
mpls traffic-eng tunnels  
interface s1/0  
mpls traffic-eng tunnels  
exit  
interface s1/2  
mpls traffic-eng tunnels  
exit
```

```
router ospf 1  
mpls traffic-eng router-id loopback 0  
mpls traffic-eng area 0  
exit
```

R5:

```
mpls traffic-eng tunnels  
interface s1/2  
mpls traffic-eng tunnels  
exit  
interface s1/3  
mpls traffic-eng tunnels  
exit
```

```
router ospf 1  
mpls traffic-eng router-id loopback 0  
mpls traffic-eng area 0  
exit
```

R6:

```
mpls traffic-eng tunnels  
interface s1/0  
mpls traffic-eng tunnels  
exit  
interface s1/1  
mpls traffic-eng tunnels  
exit
```

```
router ospf 1  
mpls traffic-eng router-id loopback 0  
mpls traffic-eng area 0  
exit
```

R7:

```
mpls traffic-eng tunnels
```

```
interface s1/0
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/1
mpls traffic-eng tunnels
exit

router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 0
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R8:

```
mpls traffic-eng tunnels
interface s1/0
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/1
mpls traffic-eng tunnels
exit

router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 0
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R9:

```
mpls traffic-eng tunnels
interface s1/0
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/1
mpls traffic-eng tunnels
exit
interface s1/2
mpls traffic-eng tunnels
exit

router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 0
mpls traffic-eng area 0
exit
```

Nuevamente se ejecutó el comando anterior (*) y se observa la presencia de un LSA del tipo 10 (LSA opaca), la cual lleva la información de TE en OSPF, asimismo se muestra el ID del enrutador que genera dicho LSA.

```
R1#show ip ospf database opaque-area self-originate
OSPF Router with ID (192.168.255.1) (Process ID 1)
Type-10 Opaque Link Area Link States (Area 0)
LS age: 203
Options: (No TOS-capability, DC)
LS Type: Opaque Area Link
Link State ID: 1.0.0.0
Opaque Type: 1
Opaque ID: 0
Advertising Router: 192.168.255.1
LS Seq Number: 80000001
Checksum: 0xDF6E
Length: 132
Fragment number : 0
MPLS TE router ID : 192.168.255.1
Link connected to Broadcast network
Link ID : 192.168.12.1
Interface Address : 192.168.12.1
Admin Metric : 1
--More--
```

```
Maximum bandwidth : 12500000
Maximum reservable bandwidth : 0
Number of Priority : 8
Priority 0 : 0          Priority 1 : 0
Priority 2 : 0          Priority 3 : 0
Priority 4 : 0          Priority 5 : 0
Priority 6 : 0          Priority 7 : 0
Affinity Bit : 0x0
IGP Metric : 1
Number of Links : 1
R1#
```

Aún no se ha utilizado la TE para manipular la ruta a seguir, motivo por el cual la ruta sigue siendo la del camino con menor costo.

```
R1#traceroute 192.168.255.9 source 192.168.255.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.255.9
 1 192.168.12.2 [MPLS: Label 27 Exp 0] 108 msec 136 msec 92 msec
 2 192.168.25.5 [MPLS: Label 29 Exp 0] 92 msec 92 msec 96 msec
 3 192.168.59.9 96 msec * 120 msec
R1#
```

8.- Se creó un TE TUNNEL en R1 con reserva 300 kb/s, estableciendo 300 y 500 Kb/s de reserva en las interfaces de R2, R3, R4, R6, R7, R8 y R9, de acuerdo con la siguiente configuración.

R1:

```
interface tunnel 1
ip unnumbered loopback 0
tunnel destination 192.168.255.9
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 4 4
tunnel mpls traffic-eng path-option 2 dynamic
exit
```

```
interface tunnel1
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 300
exit
```

```
interface fa0/0
ip rsvp bandwidth 500
exit
```

R2:

```
interface fa0/0
ip rsvp bandwidth 500
exit
interface s1/1
ip rsvp bandwidth 500
exit
interface s1/2
ip rsvp bandwidth 300
exit
```

R3:

```
interface s1/0
ip rsvp bandwidth 500
exit
interface s1/1
ip rsvp bandwidth 500
exit
```

R4:

```
interface s1/0
ip rsvp bandwidth 300
exit
interface s1/2
ip rsvp bandwidth 300
exit
```

R6:

```
interface s1/0
ip rsvp bandwidth 500
exit
interface s1/1
ip rsvp bandwidth 500
exit
```

R7:

```
interface s1/0
ip rsvp bandwidth 300
exit
interface s1/1
ip rsvp bandwidth 300
exit
```

R8:

```
interface s1/0
ip rsvp bandwidth 500
exit
interface s1/1
ip rsvp bandwidth 500
exit
```

R9:

```
interface tunnel 1
ip unnumbered loopback 0
tunnel destination 192.168.255.1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 4 4
tunnel mpls traffic-eng path-option 2 dynamic
exit
```

```
interface tunnel1
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 300
exit
interface s1/0
ip rsvp bandwidth 500
exit
interface s1/1
ip rsvp bandwidth 300
exit
```

9.- En R1 se verificó la señalización del túnel TE dada por RSVP TE, se indica una ruta válida, el estado de la señalización, así como la reserva del ancho de banda.

```

R1#show mpls traffic-eng tunnels tunnel 1

Name: R1_t1 (Tunnel1) Destination: 192.168.255.9
Status:
  Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected

  path option 2, type dynamic (Basis for Setup, path weight 193)

Config Parameters:
  Bandwidth: 300 kbps (Global) Priority: 4 4 Affinity: 0x0/0xFFFF
  Metric Type: TE (default)
  AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 300 bw-based
  auto-bw: disabled

InLabel : -
OutLabel : FastEthernet0/0, 30
RSVP Signalling Info:
  Src 192.168.255.1, Dst 192.168.255.9, Tun_Id 1, Tun_Instance 11
RSVP Path Info:
  My Address: 192.168.12.1
  Explicit Route: 192.168.12.2 192.168.24.4 192.168.47.7 192.168.79.9
                  192.168.255.9
  Record Route: NONE
  Tspec: ave rate=300 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=300 kbits

RSVP Resv Info:
  Record Route: NONE
  Fspec: ave rate=300 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=300 kbits
Shortest Unconstrained Path Info:
  Path Weight: 129 (TE)
  Explicit Route: 192.168.12.1 192.168.12.2 192.168.25.5 192.168.59.9
                  192.168.255.9

History:
Tunnel:
  Time since created: 3 minutes, 42 seconds
  Time since path change: 2 minutes, 18 seconds
Current LSP:
  Uptime: 2 minutes, 18 seconds
Prior LSP:
  ID: path option 2 [1]
  Removal Trigger: configuration changed
R1#
    
```

10.- Se verificó la ruta desde la interface Loopback 0 en R1 hasta la Loopback 0 en R9, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

```

R1#traceroute 192.168.255.9 source 192.168.255.1

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.255.9

 1 192.168.12.2 [MPLS: Label 30 Exp 0] 156 msec 172 msec 136 msec
 2 192.168.24.4 [MPLS: Label 32 Exp 0] 124 msec 152 msec 152 msec
 3 192.168.47.7 [MPLS: Label 32 Exp 0] 124 msec 200 msec 140 msec
 4 192.168.79.9 152 msec * 184 msec

R1#
    
```

Se observa la ruta R1-R2-R4-R7-R9. Al tener dos rutas que cumplen con la reserva del ancho de banda especificado en el túnel TE (R1-R2-R4-R7-R9 y R1-R2-R3-R6-R8-R9), el algoritmo escogerá la ruta con menor números de saltos.

11.- Se modificó la reserva del túnel 1 en R1 y R9 a 500 kb/s, verificando la ruta entre las mismas interfaces Loopbacks de acuerdo al numeral 10.

R1:

```
interface tunnel1
no tunnel mpls traffic-eng bandwidth 300
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 500
exit
```

R9:

```
interface tunnel1
no tunnel mpls traffic-eng bandwidth 300
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 500
exit
```

Se observa en este caso que solo la ruta R1-R2-R3-R6-R8-R9, es la única que cumple con las restricciones impuestas en el túnel TE, visualizado desde R1 y R9.

```
R1#traceroute 192.168.255.9 source 192.168.255.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.255.9
 1 192.168.12.2 [MPLS: Label 32 Exp 0] 136 msec 188 msec 144 msec
 2 192.168.23.3 [MPLS: Label 33 Exp 0] 172 msec 160 msec 192 msec
 3 192.168.36.6 [MPLS: Label 33 Exp 0] 152 msec 196 msec 144 msec
 4 192.168.68.8 [MPLS: Label 33 Exp 0] 136 msec 216 msec 172 msec
 5 192.168.89.9 172 msec * 180 msec
R1#
```

```
R9#traceroute 192.168.255.1 source 192.168.255.9
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.255.1
 1 192.168.89.8 [MPLS: Label 34 Exp 0] 188 msec 180 msec 172 msec
 2 192.168.68.6 [MPLS: Label 34 Exp 0] 164 msec 152 msec 144 msec
 3 192.168.36.3 [MPLS: Label 34 Exp 0] 144 msec 192 msec 148 msec
 4 192.168.23.2 [MPLS: Label 30 Exp 0] 152 msec 152 msec 172 msec
 5 192.168.12.1 172 msec * 180 msec
R9#_
```

De acuerdo a la topología del presente anexo, existen 3 rutas para la conectividad entre las interfaces Loopback 0 de R1 y R9, estas rutas tienen 3, 4 y 5 saltos. Con la aplicación de TE se estableció la ruta con el mayor número de saltos (5 saltos), ya que es la ruta que cumple con la reserva de 500 Kb/s requerida por el túnel TE, tal como se observó en los 2 últimos gráficos.

Anexo II

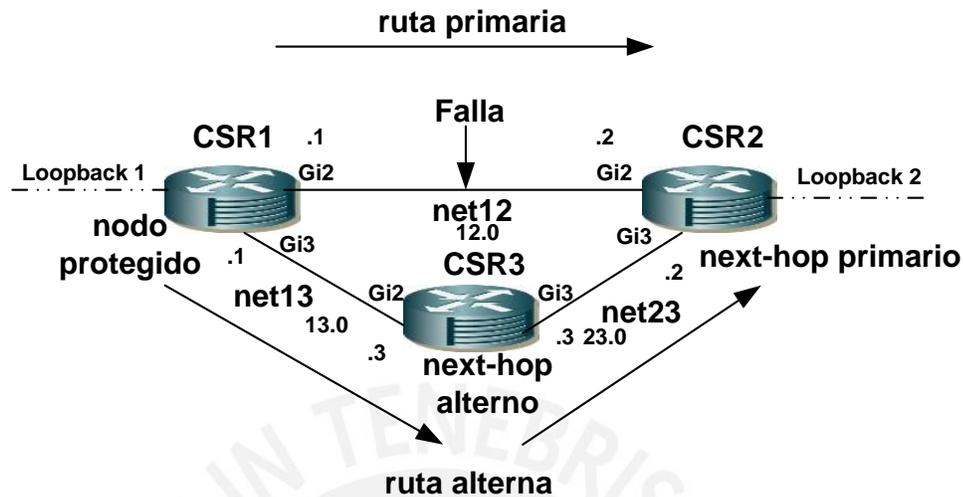


Figura N° 14: Simulación de OSPF Fast Reroute (IP FRR) [4,10,14].

Simulación realizada en ESXi 5.5 con vSphere 5.5, utilizando el IOS de CISCO versión 15.5(1)S. El objetivo de la presente simulación es aplicar IP FRR para precalcular e instalar una ruta de respaldo en la RIB de OSPF y en el CEF de los enrutadores CSR1 y CSR2, así como un next-hop de respaldo precalculado e instalado, siendo este respaldo el enrutador CSR3 para CSR1 y CSR2 de acuerdo a la presente topología.

1.- En la Figura N° 14, se tienen 3 enrutadores CSRs, se utilizó la dirección de red para los enlaces entre 2 CSRs igual a 192.168.XY.Z/24, donde X representa el menor de los 2 CSRs considerados, siendo Y el número del mayor de ellos.

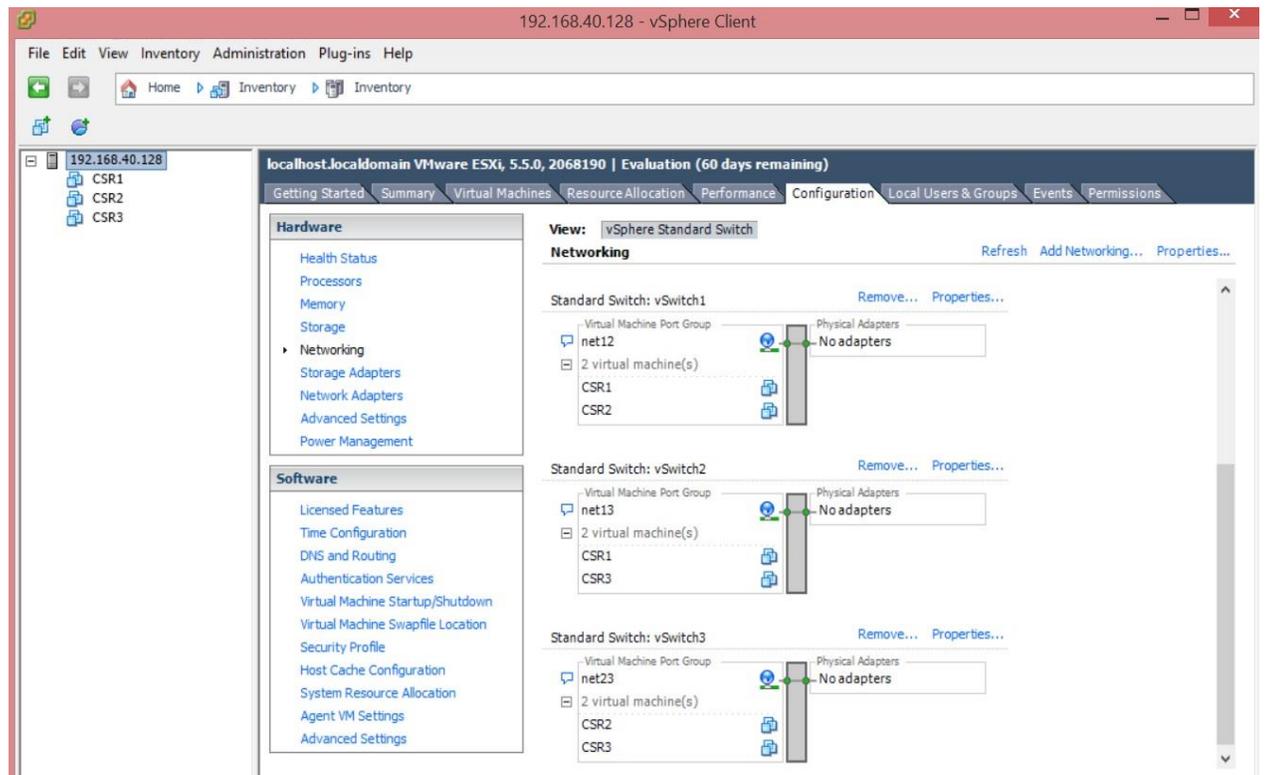
2.- Se utilizó como direccionamiento para la interface de cada enrutador, la dirección 192.168.XY.Z/24, donde Z representa el valor de CSR local (CSRZ, Z=1, 2 o 3).

3.- Utilizamos como dirección de red para las interface Loopback 1 y 2, en los enrutadores CSR1 y CSR2 respectivamente, la dirección 10.0.V.0/24, donde V representa el número de interface Loopback (1 para CSR1 y 2 para CSR2), teniendo como direccionamiento la dirección 10.0.V.W/24, donde W representa el número de interface Loopback (1 para CSR1 y 2 para CSR2).

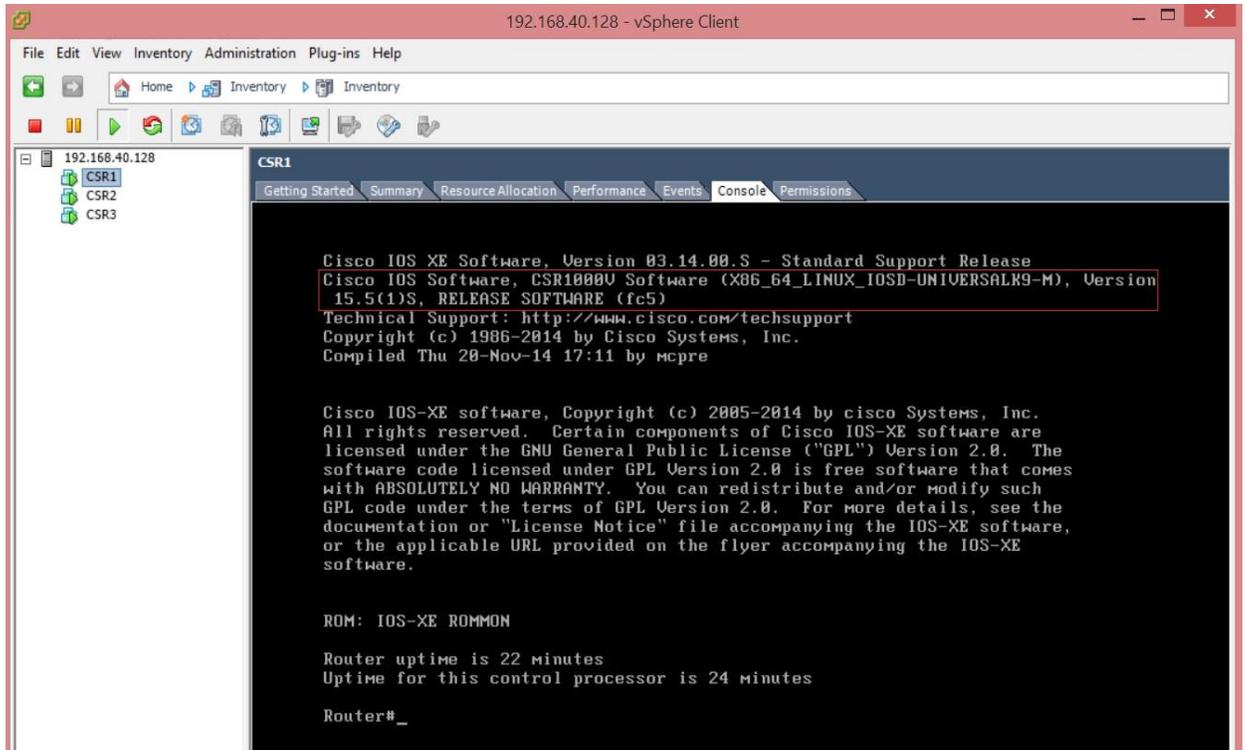
4.- Las etiquetas net12, net13 y net23 representan switches ethernet virtuales, los cuales conectarán a los enrutadores formando la topología de la Figura N° 14.

5.- Se verificó la topología de red utilizada y la versión del sistema operativo.

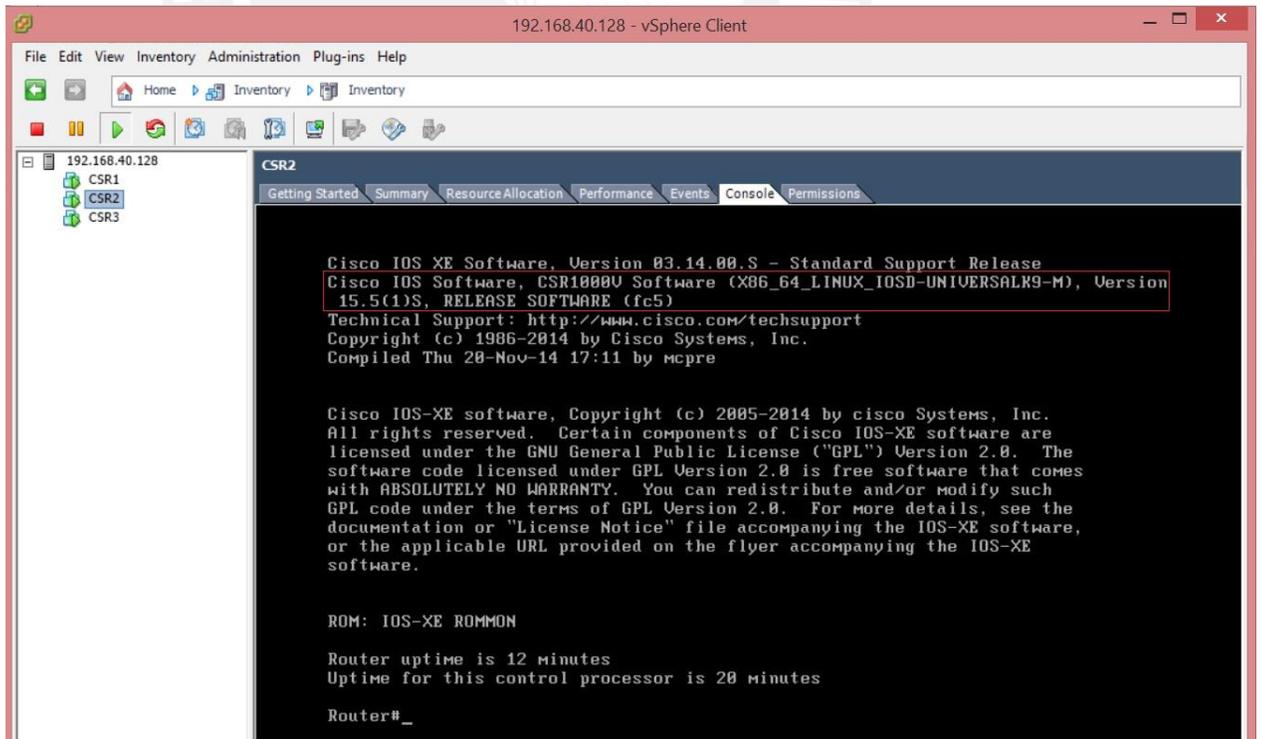
Se muestra que CSR1 y CSR2 están conectados al switch virtual net12; CSR1 y CSR3 están conectados al switch virtual net13; y CSR2 y CSR3 están conectados al switch virtual net23. En la siguiente figura se muestra la conectividad de los enrutadores para formar la topología propuesta.



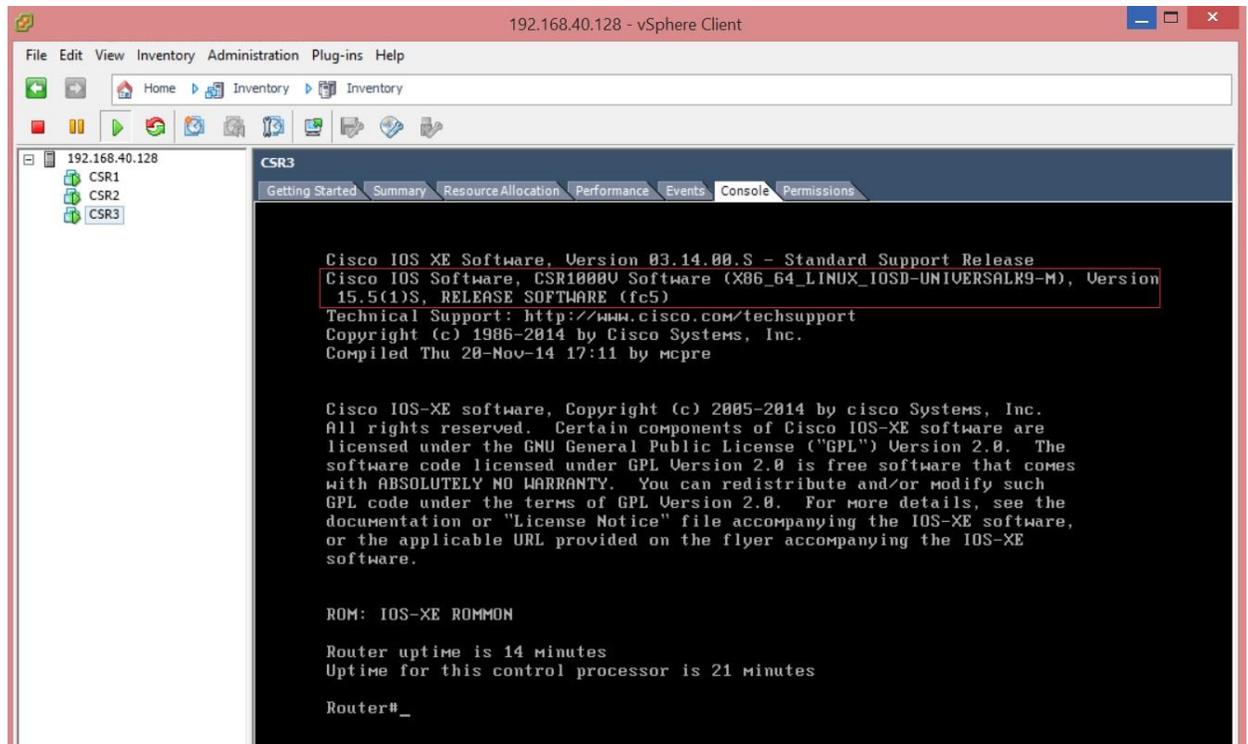
En la siguiente gráfica se muestra la versión 15.5(1)S del sistema operativo sobre el cual se realizaron las configuraciones del presente anexo, referido al enrutador CSR1. Se precisa que dicha versión se utilizó en los tres enrutadores en cuestión.



Se muestra la versión del IOS en el enrutador CSR2, véase 15.5(1)S en la figura.



Se muestra la versión del IOS en el enrutador CSR3, véase 15.5(1)S en la figura.



6.- Se configuró el direccionamiento IP y OSPF.

CSR1:

```

conf t
hostname CSR1
inter giga2
ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.13.3 255.255.255.0
no shut
exit
interface loopback 1
ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
exit

router ospf 1
router-id 0.0.0.1
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
redistribute connected subnet metric 120
exit

```

CSR2:

```
conf t
hostname CSR2
inter giga2
ip address 192.168.12.2 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.23.3 255.255.255.0
no shut
exit
interface loopback 2
ip address 10.0.2.2 255.255.255.0
exit
```

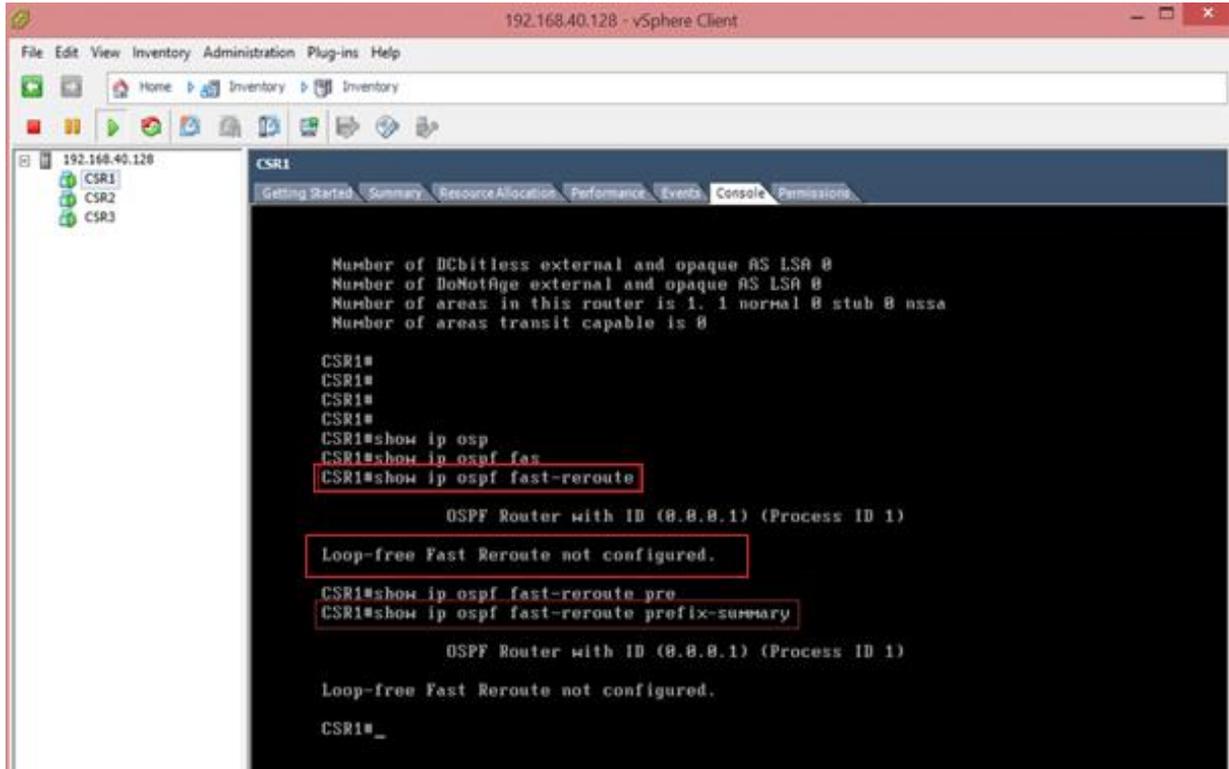
```
router ospf 1
router-id 0.0.0.2
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
redistribute connected subnet metric 120
exit
```

CSR3:

```
conf t
hostname CSR3
cdp run
inter giga2
ip address 192.168.13.3 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.23.3 255.255.255.0
no shut
exit
interface loopback 1
ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
exit
```

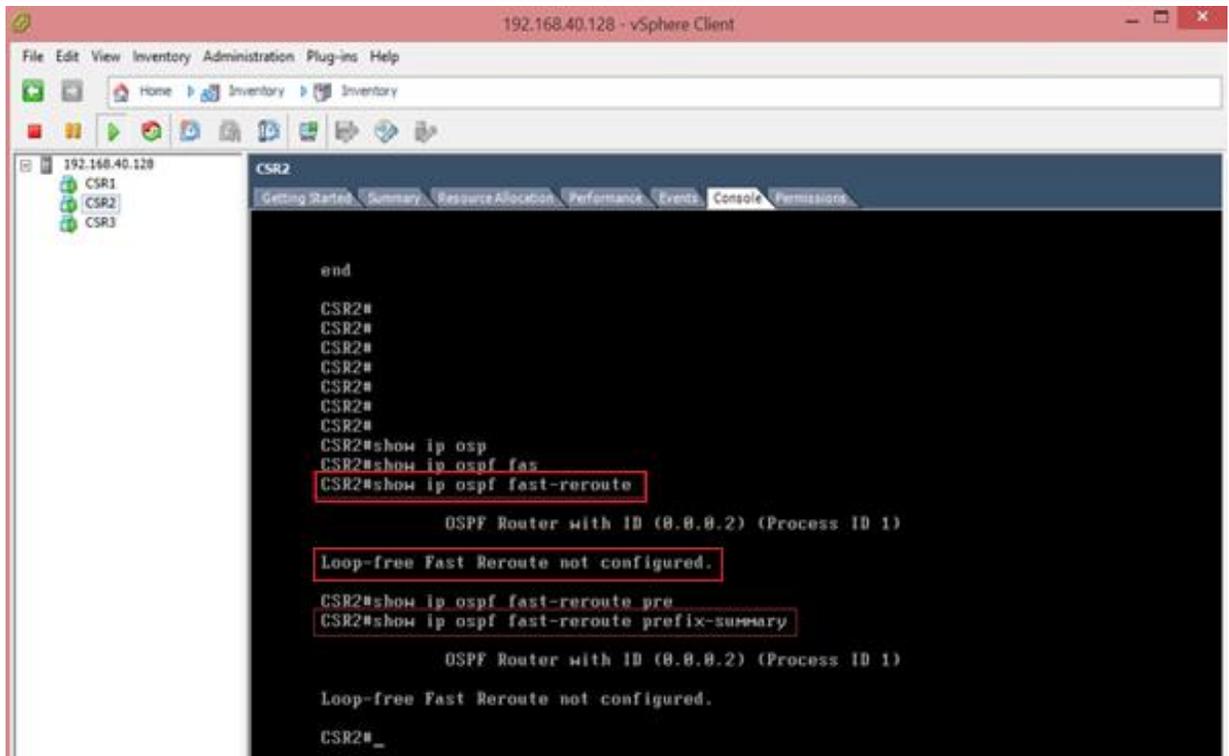
```
router ospf 1
router-id 0.0.0.3
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
redistribute connected subnet metric 120
exit
```

7.- IP FRR en CSR1 no está habilitado (véase Loop-free Fast Remote not configured).



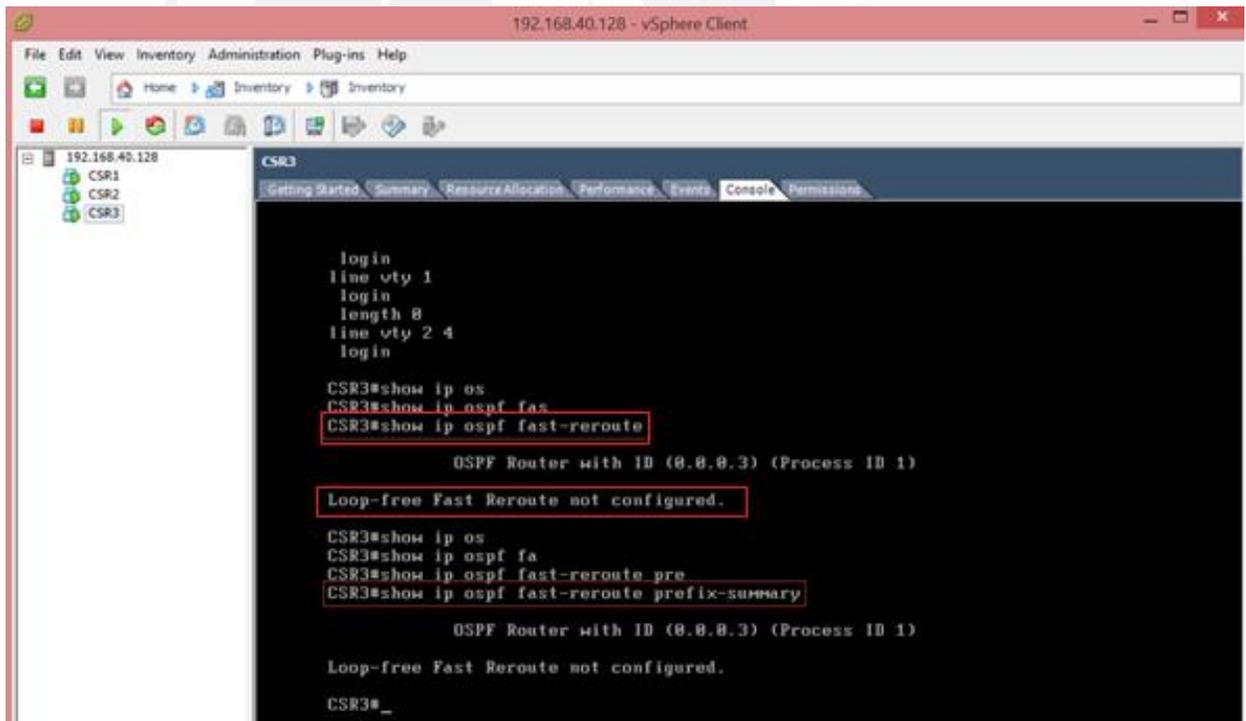
```
192.168.40.128 - vSphere Client
File Edit View Inventory Administration Plug-ins Help
Home Inventory
192.168.40.128
  CSR1
  CSR2
  CSR3
CSR1
Getting Started Summary Resource Allocation Performance Events Console Permissions
Number of DCbitless external and opaque AS LSA 0
Number of DoNotAge external and opaque AS LSA 0
Number of areas in this router is 1, 1 normal 0 stub 0 nssa
Number of areas transit capable is 0
CSR1#
CSR1#
CSR1#
CSR1#
CSR1#show ip ospf
CSR1#show ip ospf fas
CSR1#show ip ospf fast-reroute
OSPF Router with ID (0.0.0.1) (Process ID 1)
Loop-free Fast Reroute not configured.
CSR1#show ip ospf fast-reroute pre
CSR1#show ip ospf fast-reroute prefix-summary
OSPF Router with ID (0.0.0.1) (Process ID 1)
Loop-free Fast Reroute not configured.
CSR1#_
```

Análogamente se observa que el IP FRR no está habilitado en los enrutadores CSR2 y CSR3, tal como se muestra en los 2 siguientes gráficos respectivamente.



```

192.168.40.128 - vSphere Client
File Edit View Inventory Administration Plug-ins Help
Home Inventory
192.168.40.128
CSR1
CSR2
CSR3
CSR2
Getting Started Summary Resource Allocation Performance Events Console Permissions
end
CSR2#
CSR2#
CSR2#
CSR2#
CSR2#
CSR2#
CSR2#
CSR2#show ip osp
CSR2#show ip ospf fas
CSR2#show ip ospf fast-reroute
OSPF Router with ID (0.0.0.2) (Process ID 1)
Loop-free Fast Reroute not configured.
CSR2#show ip ospf fast-reroute pre
CSR2#show ip ospf fast-reroute prefix-summary
OSPF Router with ID (0.0.0.2) (Process ID 1)
Loop-free Fast Reroute not configured.
CSR2#_
    
```



```

192.168.40.128 - vSphere Client
File Edit View Inventory Administration Plug-ins Help
Home Inventory
192.168.40.128
CSR1
CSR2
CSR3
CSR3
Getting Started Summary Resource Allocation Performance Events Console Permissions
login
line vty 1
login
length 8
line vty 2 4
login
CSR3#show ip os
CSR3#show ip ospf fas
CSR3#show ip ospf fast-reroute
OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)
Loop-free Fast Reroute not configured.
CSR3#show ip os
CSR3#show ip ospf fa
CSR3#show ip ospf fast-reroute pre
CSR3#show ip ospf fast-reroute prefix-summary
OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)
Loop-free Fast Reroute not configured.
CSR3#_
    
```

8.- Desde CSR1 se visualiza la tabla CEF, para la red 10.0.2.0. La salida muestra un siguiente salto y ningún salto de respaldo instalado, de manera similar se verifica para la red 10.0.1.0 en CSR2, tal como se muestran en los siguientes 2 gráficos.

CSR1:

```
ip prefix-list reroute seq 5 permit 10.0.2.0/24
route-map fastreroute
match ip address prefix-list reroute
exit
```

```
router ospf 1
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority high
prefix-priority high route-map fastreroute
fast-reroute keep-all-paths
exit
```

```
inter giga2
ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable
exit
```

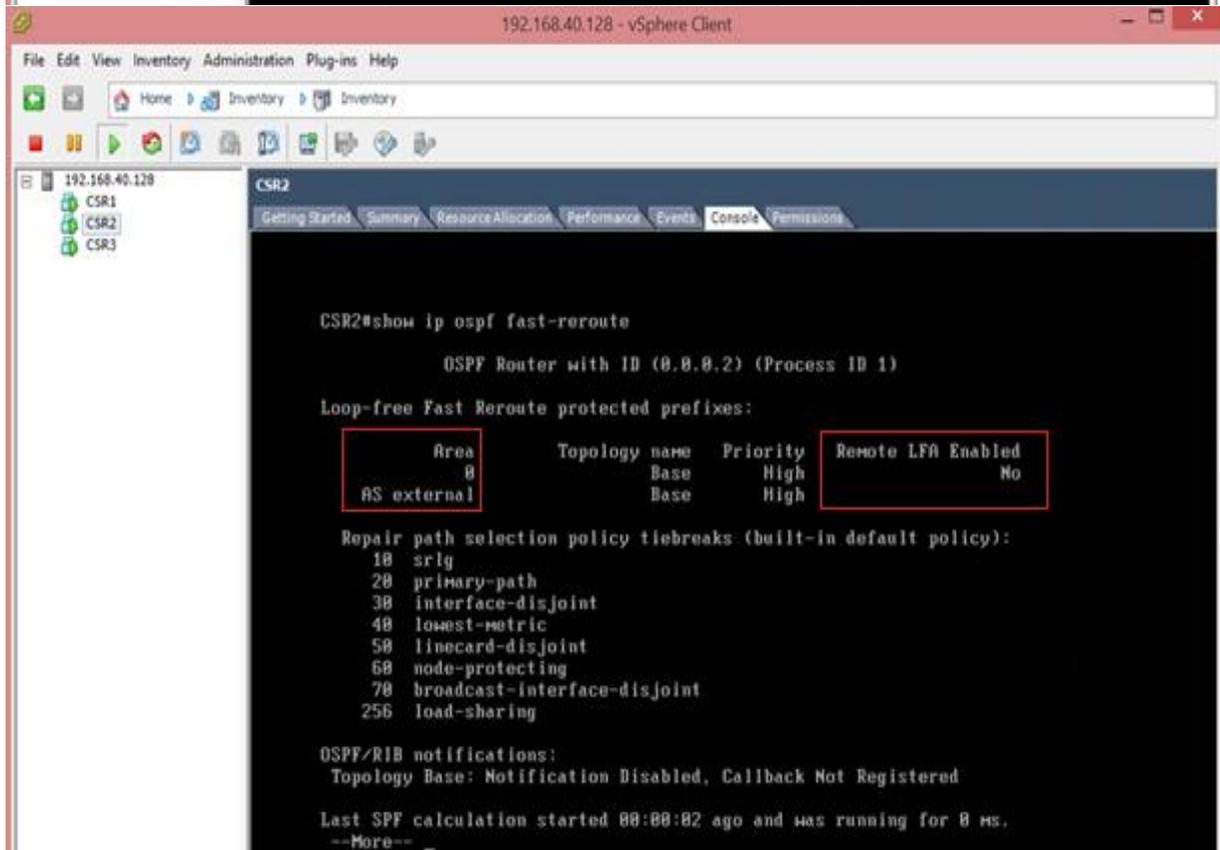
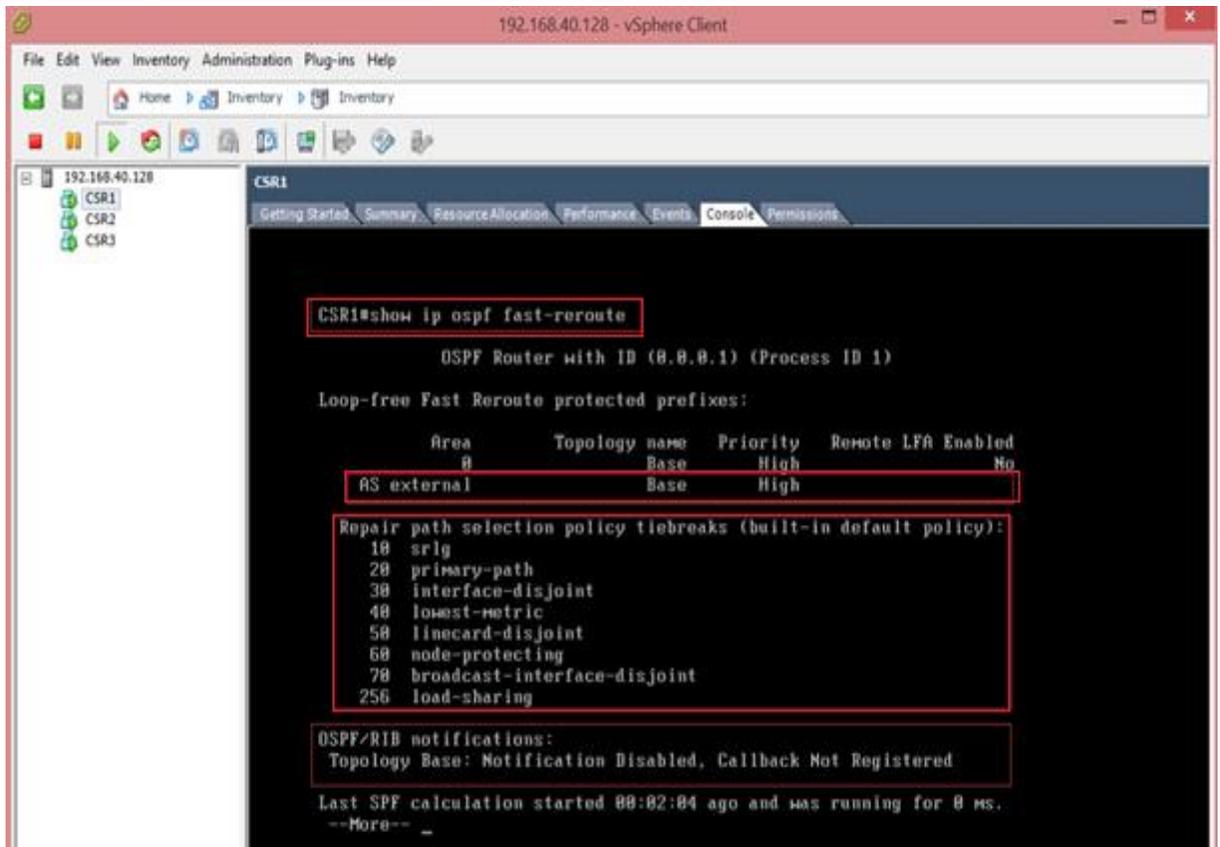
CSR2:

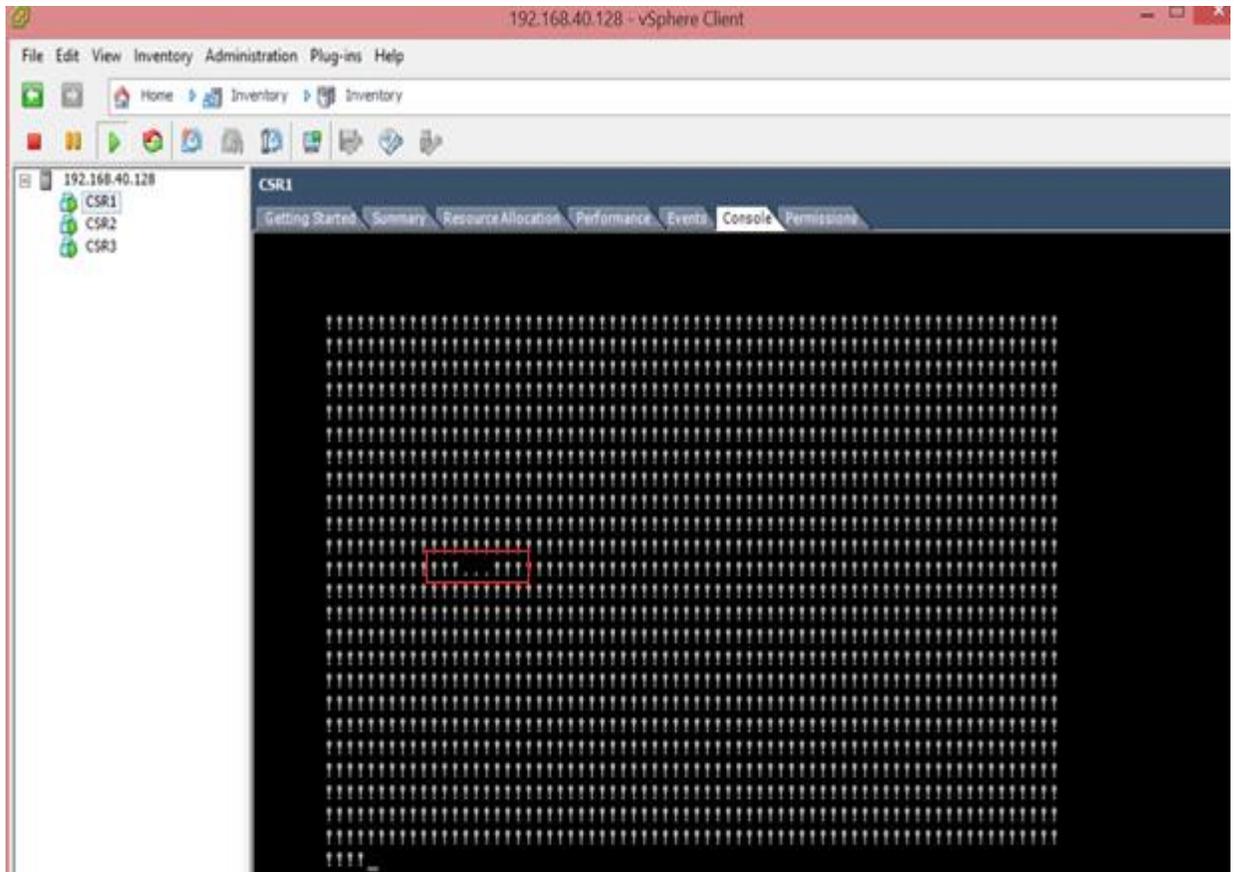
```
ip prefix-list reroute seq 5 permit 10.0.1.0/24
route-map fastreroute
match ip address prefix-list reroute
exit
router ospf 1
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority high
prefix-priority high route-map fastreroute
fast-reroute keep-all-paths
exit
```

```
inter giga3
ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable
exit
```

10.- En los siguientes 2 gráficos se visualiza el soporte de IP Fast Reroute en los enrutadores: CSR1 y CSR2, desde la salida del comando: show ip ospf fast-reroute.

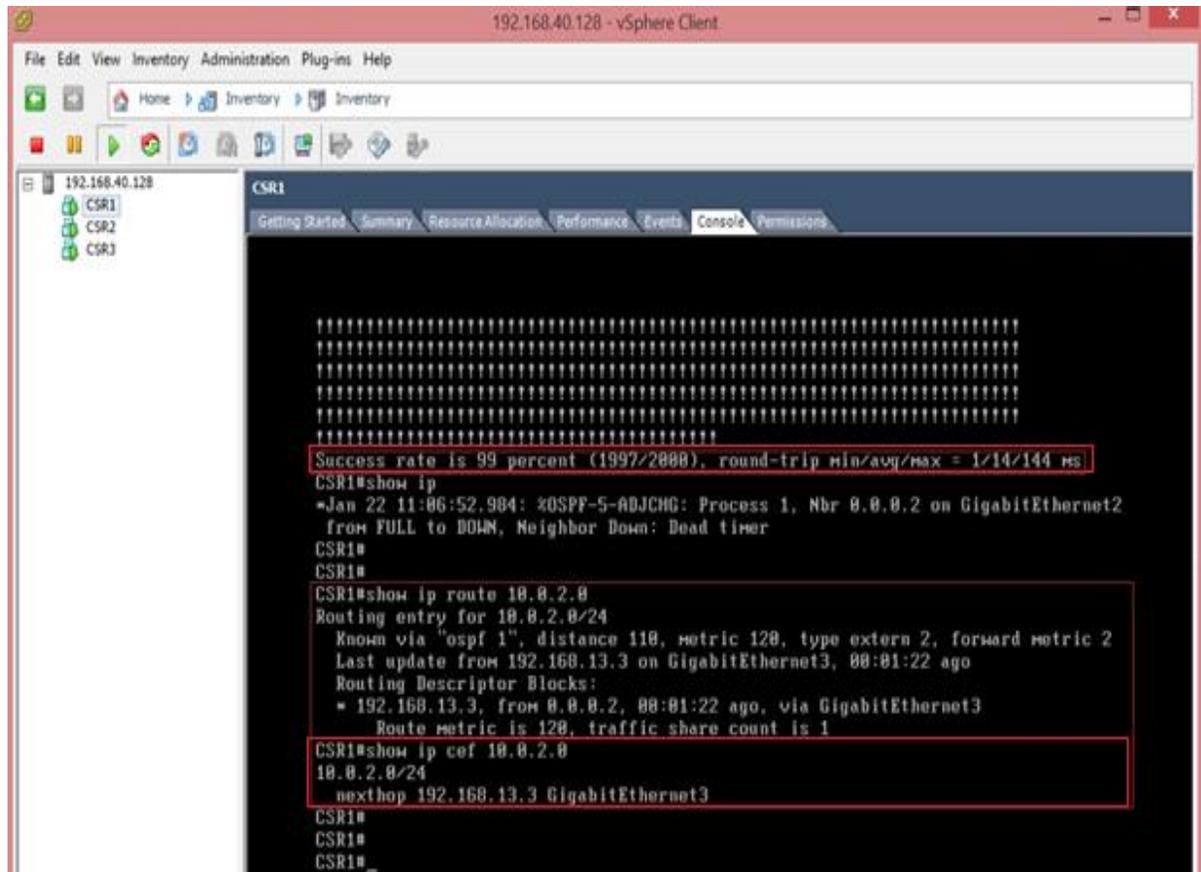
De acuerdo a las configuraciones realizadas, se tiene que solo los prefijos que coinciden con el ip prefix-list poseen alta prioridad y son los únicos que cuentan con soporte para IP FRR, tal como se observa en las siguientes 2 figuras.





Se reitera que el sistema operativo IOS de CISCO considera por defecto 2 segundos, antes de declarar un paquete como perdido. En el gráfico anterior se observa 3 paquetes perdidos, por consiguiente se estima un tiempo de reconvergencia de 7 segundos, luego de ocurrida la falla en el enlace entre los enrutadores CSR1 y CSR2.

Asimismo en el siguiente gráfico se observa que, para que CSR1 alcance la red 10.0.2.0/24 se tiene como único next-hop a 192.168.13.3, el cual es el next-hop de respaldo precalculado e instalado en el CEF de CSR1.



```

192.168.40.128 - vSphere Client
File Edit View Inventory Administration Plug-ins Help
Home > Inventory > Inventory
192.168.40.128
  CSR1
  CSR2
  CSR3
CSR1
Getting Started Summary Resource Allocation Performance Events Console Permissions
Success rate is 99 percent (1997/2000), round-trip min/avg/max = 1/14/144 ms
CSR1#show ip
*Jan 22 11:06:52.904: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.2 on GigabitEthernet2
From FULL to DOWN, Neighbor Down: Dead timer
CSR1#
CSR1#
CSR1#show ip route 10.0.2.0
Routing entry for 10.0.2.0/24
  Known via "ospf 1", distance 110, metric 120, type extern 2, forward metric 2
  Last update from 192.168.13.3 on GigabitEthernet3, 00:01:22 ago
  Routing Descriptor Blocks:
    * 192.168.13.3, from 0.0.0.2, 00:01:22 ago, via GigabitEthernet3
      Route metric is 120, traffic share count is 1
CSR1#show ip cef 10.0.2.0
10.0.2.0/24
  nexthop 192.168.13.3 GigabitEthernet3
CSR1#
CSR1#
CSR1#
    
```

Lo cual implica que utilizando IP FRR precalcula e instala un next-hop de respaldo para acelerar la convergencia luego de presentarse una falla en un enlace determinado. No siendo suficiente para lograr el tiempo de respuesta propuesto en el presente trabajo y de acuerdo a la topología de la Figura N° 14, no existe la posibilidad de un loop durante la reconvergencia.

Asimismo, de tener una topología distinta a la propuesta en el presente anexo, se evaluaría la utilización de una variante del IP FRR, siendo esta variante el IP FRR con la opción Remote LFA Enabled habilitada.

Anexo III

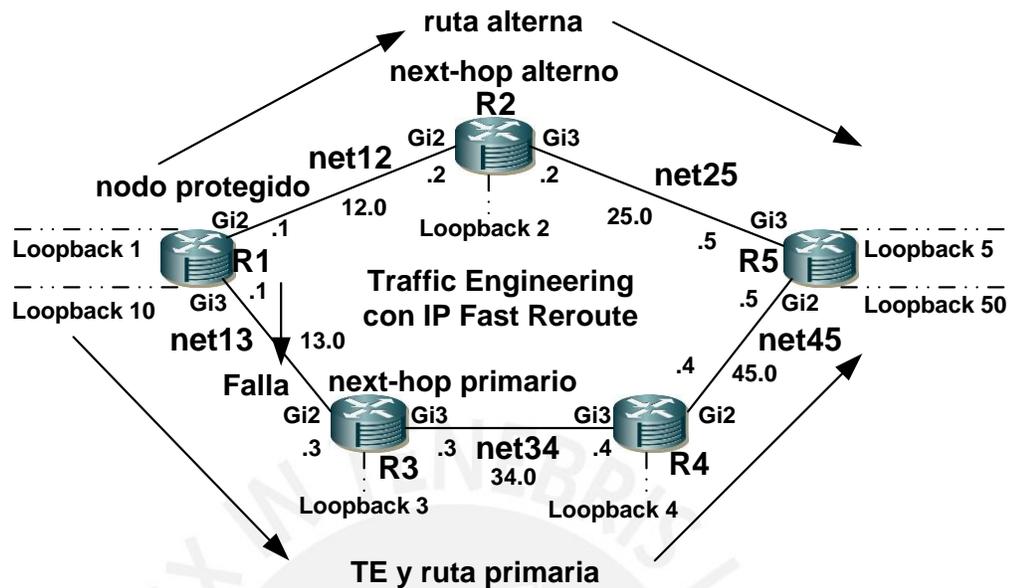


Figura N°18: Simulación de TE/IP FRR y Optimizaciones [3,4].

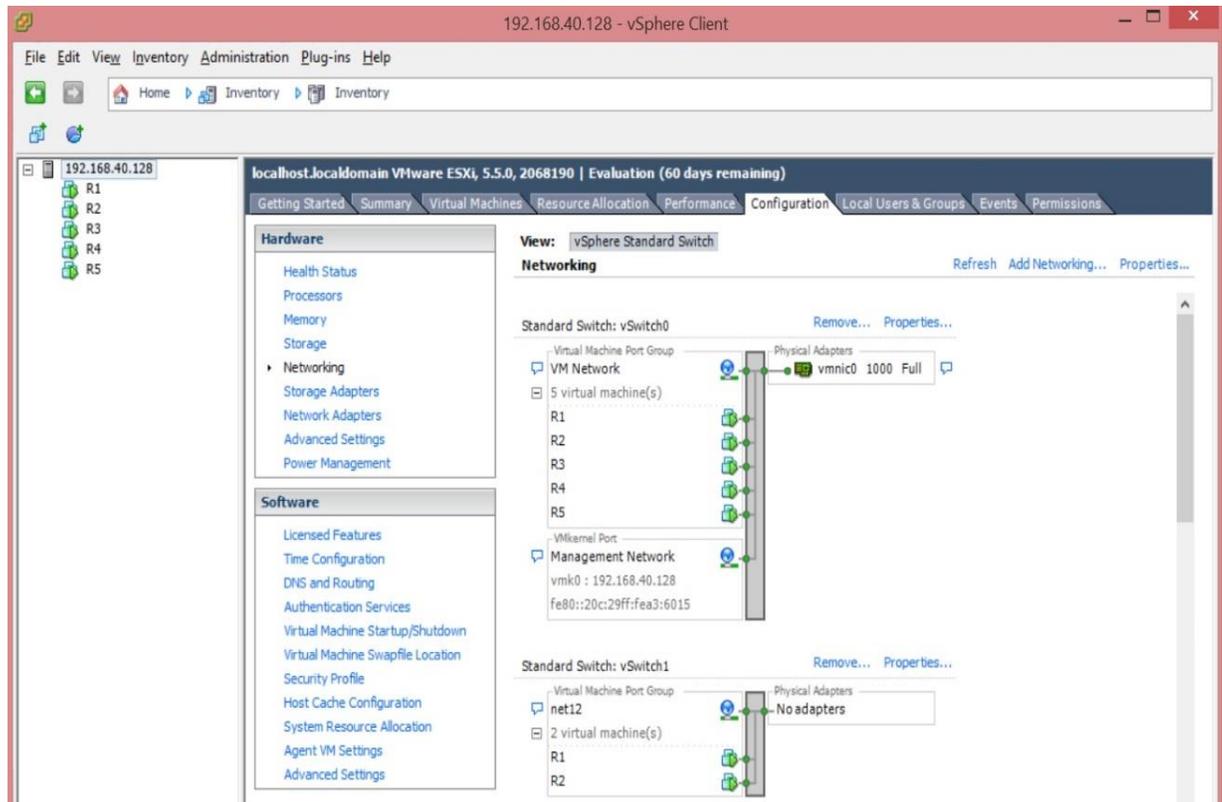
Simulación realizada en ESXi 5.5 con vSphere 5.5, utilizando el IOS de CISCO versión 15.5(1)S. El objetivo de la presente simulación es aplicar TE/IP FRR y Optimizaciones para establecer una ruta en base a una restricción, instalar un next-hop de respaldo y lograr la reconvergencia en un tiempo menor a 5 segundos, luego de ocurrir una falla del enlace entre dos enrutadores en la ruta establecida por TE.

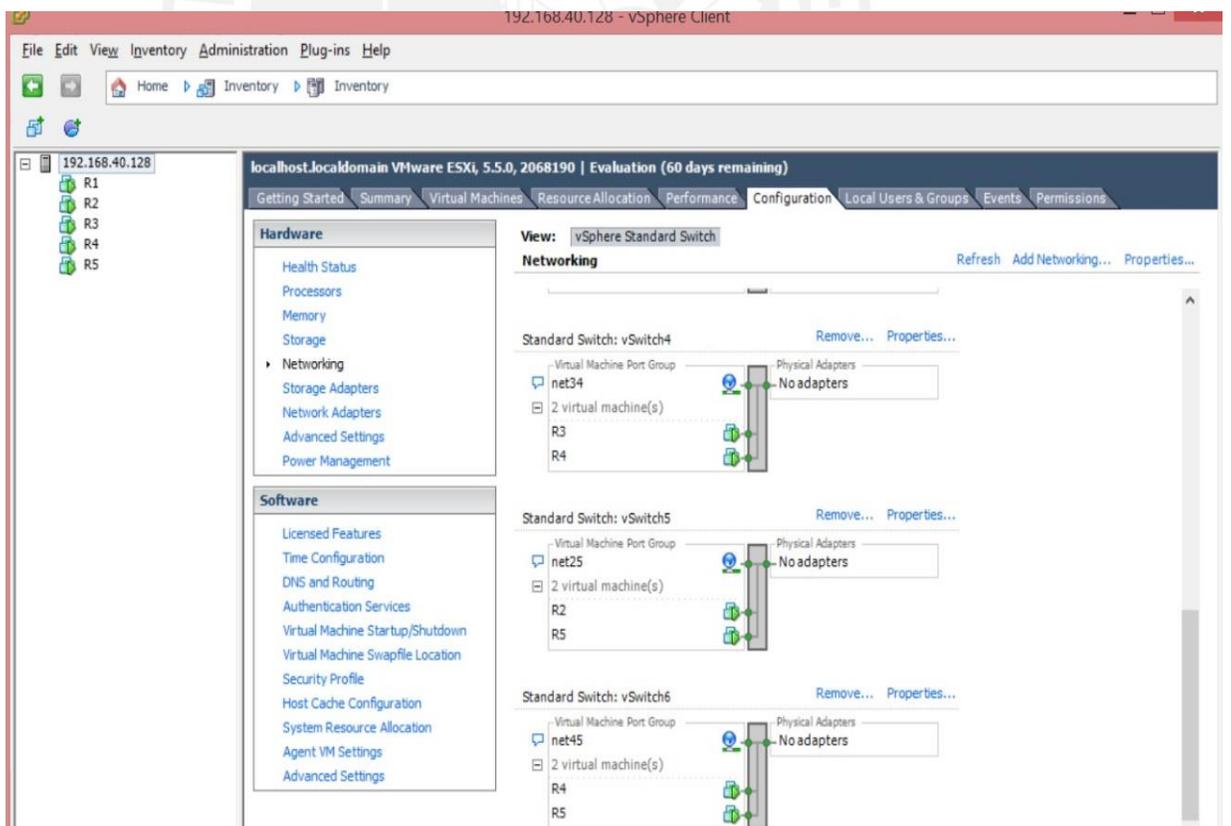
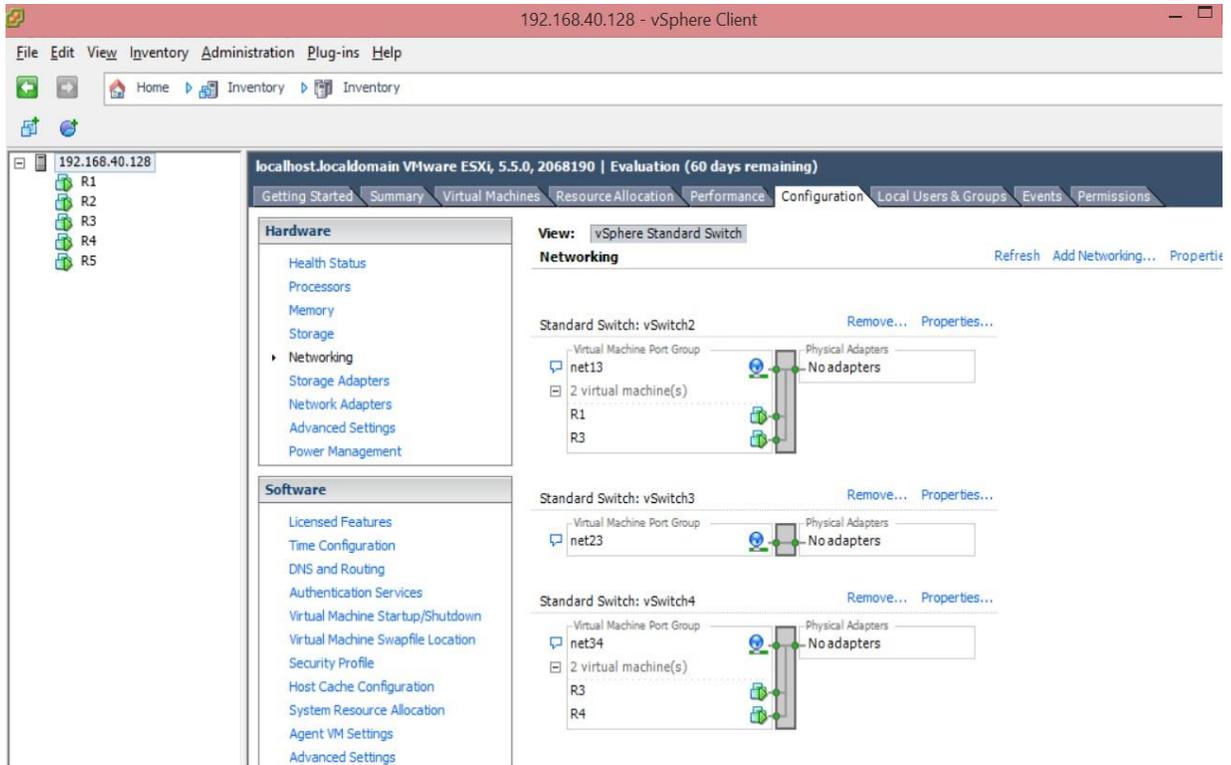
1.- Entre dos enrutadores se utilizó switches virtuales netAB, donde A representa el número del menor enrutador y B el número del mayor enrutador.

2.- La dirección de red entre dos enrutadores será igual a 192.168.XY.0/24, donde X representa el número del menor enrutador, siendo Y el número del mayor de ellos. Asimismo, cada enrutador tiene una interface Loopback W, donde W indica el número del enrutador en cuestión. Adicionalmente, los enrutadores R1 y R5, tienen las interfaces Loopback 10 y 50 respectivamente, las cuales simularán a los usuarios para las pruebas de conectividad, teniendo como objetivo restablecer la conectividad en un tiempo que no supere los 5 segundos, luego de ocurrir la falla del enlace entre R1 y R3; extendiéndose la falla hacia cualquier enlace en la ruta establecida por TE.

3.- Se muestra la topología propuesta y la conectividad entre los enrutadores, teniendo que R1 y R2 están conectados a net12; R1 y R3 están conectados a net13; R3 y R4 están conectados a net34; R2 y R5 están conectados a net25; R4 y R5 están conectados a net45. La interfaces de los enrutadores son GigabitEthernet (1000 Mb/s).

En las siguientes 3 figuras se muestran las conexiones para la construcción de la topología propuesta en el presente anexo.





4.- Se configuró el direccionamiento IP y se habilitó OSPF.

R1:

```
interface loopback 1
ip address 192.168.255.1 255.255.255.255
exit
interface loopback 10
ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
exit
inter giga2
ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.13.1 255.255.255.0
no shut
exit
```

```
router ospf 1
router-id 0.0.0.1
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
exit
```

R2:

```
interface loopback 2
ip address 192.168.255.2 255.255.255.255
exit
inter giga2
ip address 192.168.12.2 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.25.2 255.255.255.0
no shut
exit
```

```
router ospf 1
router-id 0.0.0.2
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
exit
```

R3:

```
interface loopback 3
ip address 192.168.255.3 255.255.255.255
exit
inter giga2
ip address 192.168.13.3 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.34.3 255.255.255.0
no shut
exit
```

```
router ospf 1
router-id 0.0.0.3
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
exit
```

R4:

```
interface loopback 4
ip address 192.168.255.4 255.255.255.255
exit
inter giga2
ip address 192.168.45.4 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.34.4 255.255.255.0
no shut
exit
```

```
router ospf 1
router-id 0.0.0.4
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
exit
```

R5:

```
interface loopback 5
ip address 192.168.255.5 255.255.255.255
exit
interface loopback 50
ip address 192.168.50.5 255.255.255.0
```

```
inter giga2
ip address 192.168.45.5 255.255.255.0
no shut
exit
inter giga3
ip address 192.168.25.5 255.255.255.0
no shut
exit
```

```
router ospf 1
router-id 0.0.0.5
passive-interface default
no passive-interface giga2
no passive-interface giga3
network 192.168.0.0 0.0.255.255. area 0
exit
```

5.- Se habilita MPLS.

R1:

```
inter range giga2 - 3
mpls ip
exit
```

R2:

```
inter range giga2 - 3
mpls ip
exit
```

R3:

```
inter range giga2 - 3
mpls ip
exit
```

R4:

```
inter range giga2 - 3
mpls ip
exit
```

R5:

```
inter range giga2 - 3
mpls ip
exit
```

6.- Se habilita TE (OSPF TE).

R1:

```
mpls traffic-eng tunnels
inter range giga2 - 3
mpls traffic-eng tunnels
exit
```

```
router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 1
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R2:

```
mpls traffic-eng tunnels
inter range giga2 - 3
mpls traffic-eng tunnels
exit
```

```
router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 2
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R3:

```
mpls traffic-eng tunnels
inter range giga2 - 3
mpls traffic-eng tunnels
exit
```

```
router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 3
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R4:

```
mpls traffic-eng tunnels
inter range giga2 - 3
mpls traffic-eng tunnels
exit
```

```
router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 4
mpls traffic-eng area 0
exit
```

R5:

```

mpls traffic-eng tunnels
inter range giga2 - 3
mpls traffic-eng tunnels
exit

```

```

router ospf 1
mpls traffic-eng router-id loopback 5
mpls traffic-eng area 0
exit

```

7.- Se creó dos TE TUNNEL (túnel 1 en R1 y túnel 5 en R5) y se estableció un requerimiento de 30 Mb/s para la ruta a seguir entre los enrutadores R1-R5 y R5-R1.

R1:

```

interface tunnel 1
ip unnumbered loopback 1
tunnel destination 192.168.255.5
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 7 7
tunnel mpls traffic-eng path-option 7 dynamic
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 30000
exit

```

R5:

```

interface tunnel 5
ip unnumbered loopback 5
tunnel destination 192.168.255.1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 7 7
tunnel mpls traffic-eng path-option 7 dynamic
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 30000
exit

```

R1:

```

inter giga3
ip rsvp bandwidth 30000
exit

```

R3:

```

inter range giga2 - 3
ip rsvp bandwidth 30000
exit
R4:

```

```
inter range giga2 - 3
ip rsvp bandwidth 30000
exit
```

R5:

```
inter giga2
ip rsvp bandwidth 30000
exit
```

8.- Al configurar IP FRR se tiene un next-hop de respaldo instalado en la CEF de R3.

R1:

```
ip prefix-list reroute seq 5 permit 192.168.50.0/24
route-map fastreroute
match ip address prefix-list reroute
exit
```

```
router ospf 1
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority high
prefix-priority high route-map fastreroute
fast-reroute keep-all-paths
fast-reroute per-prefix remote-lfa tunnel mpls-ldp
fast-reroute per-prefix remote-lfa maximum-cost 10
exit
```

```
inter giga3
ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable
exit
```

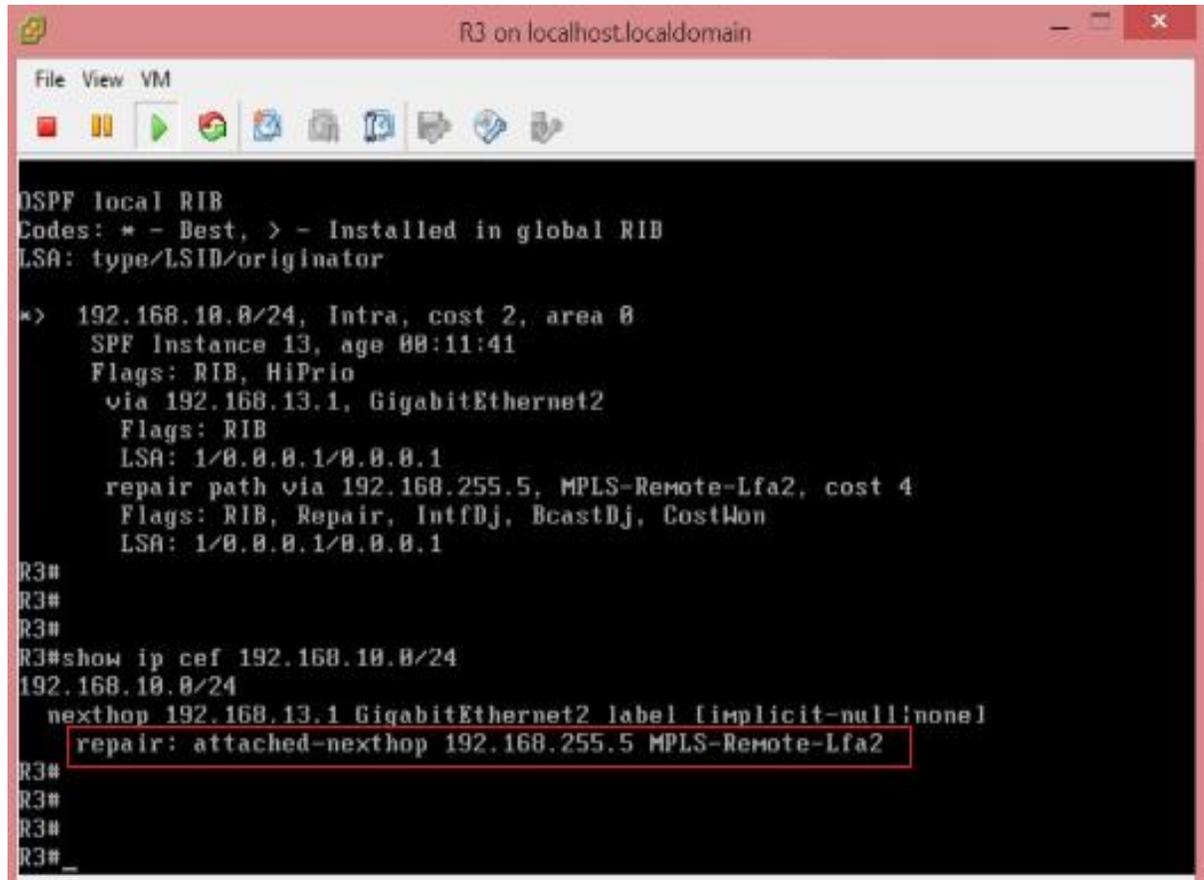
R3:

```
ip prefix-list reroute seq 5 permit 192.168.10.0/24
route-map fastreroute
match ip address prefix-list reroute
exit
```

```
router ospf 1
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority high
prefix-priority high route-map fastreroute
fast-reroute keep-all-paths
fast-reroute per-prefix remote-lfa tunnel mpls-ldp
fast-reroute per-prefix remote-lfa maximum-cost 10
exit
```

```
inter giga3
ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable
exit
```

En la FIB del CEF en R3 se tiene un respaldo del siguiente salto (192.168.13.1), el cual se ha establecido por señalización mediante LDP en la red MPLS. Adicionalmente la RIB de OSPF muestra un respaldo, véase attached-nextthop 192.168.255.5.



```
R3 on localhost.localdomain
File View VM
OSPF local RIB
Codes: * - Best, > - Installed in global RIB
LSA: type/LSID/originator
* > 192.168.10.0/24, Intra, cost 2, area 0
  SPF Instance 13, age 00:11:41
  Flags: RIB, HiPrio
  via 192.168.13.1, GigabitEthernet2
  Flags: RIB
  LSA: 1/0.0.0.1/0.0.0.1
  repair path via 192.168.255.5, MPLS-Remote-Lfa2, cost 4
  Flags: RIB, Repair, IntfDj, BcastDj, CostWon
  LSA: 1/0.0.0.1/0.0.0.1
R3#
R3#
R3#
R3#show ip cef 192.168.10.0/24
192.168.10.0/24
  nexthop 192.168.13.1 GigabitEthernet2 label [implicit-null:none]
  repair: attached-nextthop 192.168.255.5 MPLS-Remote-Lfa2
R3#
R3#
R3#
R3#_
```

Asimismo en las siguientes 2 gráficas se verifica que el primer saldo para la ruta instalada de respaldo es el enrutador R4 en su interface con dirección 192.168.34.4, con terminación en la Loopback 5 del enrutador R5 identificado con ID de TE igual a 0.0.0.5, véase Termination IP address: 192.168.255.5 y señalización MPLS-LDP.

```

R3 on localhost.localdomain
File View VM
R3#
R3#
R3#show ip ospf fast-reroute re
R3#show ip ospf fast-reroute remote-lfa tu
R3#show ip ospf fast-reroute remote-lfa tunnels

      OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)

          Area with ID (0)

          Base Topology (MTID 0)

Interface MPLS-Remote-Lfa2
  Tunnel type: MPLS-LDP
  Tailend router ID: 0.0.0.5
  Termination IP address: 192.168.255.5
  Outgoing interface: GigabitEthernet3
  First hop gateway: 192.168.34.4
  Tunnel metric: 2
  Protects:
    192.168.13.1 GigabitEthernet2, total metric 4
R3#
R3#_
    
```

```

R3 on localhost.localdomain
File View VM
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#bfd
R3(config-router)#bfd all
R3(config-router)#bfd all-interfaces
R3(config-router)#
R3(config-router)#
R3(config-router)#
R3(config-router)#
R3#
*Jan 27 08:09:33.799: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R3#
R3#
R3#
R3#
R3#show ip interface brief
Interface                IP-Address      OK? Method Status      Protocol
GigabitEthernet1         unassigned      YES unset  administratively down  down
GigabitEthernet2         192.168.13.3    YES manual  up          up
GigabitEthernet3         192.168.34.3    YES manual  up          up
Loopback3                 192.168.255.3  YES manual  up          up
MPLS-Remote-Lfa2         192.168.34.3    YES unset  up          up
R3#
R3#_
    
```

9.- En las siguientes 2 gráficas se muestra la ruta entre las interfaces Loopback 10 y 50 de R1 y R5 respectivamente. Luego se simuló la falla del enlace entre R1 y R3, para lo cual se colocó en shutdown la interface Gi2 en R3 y se estimó el tiempo de reconvergencia. Asimismo se observa que se tiene enrutamiento simétrico.

```

R1 on localhost.localdomain
File View VM
R1#show ip cef 192.168.50.0
192.168.50.0/24
  nexthop 192.168.255.5 Tunnel1
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#ping 192.168.50.5 source 192.168.10.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.50.5, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.10.1
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 2/8/27 ms
R1#
R1#
R1#trac
R1#traceroute 192.168.50.5 so
R1#traceroute 192.168.50.5 source 192.168.10.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.50.5
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.13.3 I MPLS: Label 27 Exp 01 5 msec 3 msec 2 msec
 2 192.168.34.4 I MPLS: Label 26 Exp 01 6 msec 3 msec 2 msec
 3 192.168.45.5 2 msec 2 msec *
R1#
    
```

```

R5 on localhost.localdomain
File View VM
line con 0
 stopbits 1
line vty 0 4
 login
R5#
R5#
R5#
R5#
R5#ping 192.168.10.1 source 192.168.50.5
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.1, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.50.5
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/11/33 ms
R5#
R5#trac 192.168.10.1 source 192.168.50.5
R5#traceroute 192.168.10.1 source 192.168.50.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.10.1
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.45.4 I MPLS: Label 28 Exp 01 59 msec 2 msec 1 msec
 2 192.168.34.3 I MPLS: Label 32 Exp 01 7 msec 5 msec 1 msec
 3 192.168.13.1 3 msec 4 msec *
R5#
    
```

Haciendo las pruebas de conectividad desde R1 hacia R5 (entre las interfaces Loopbacks) y de R5 hacia R1, estimamos que el tiempo de reconvergencia es similar al logrado en la simulación del Anexo II, es decir un tiempo estimado de 7 segundo, que es el que corresponde a 3 paquetes perdidos (véase las siguientes 3 figuras).

Por ello se realizó optimizaciones sobre el protocolo de enrutamiento en la topología de red para lograr el objetivo propuesto.

```
R3#
R3#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#inter giga 2
R3(config-if)#shu
R3(config-if)#shutdown
R3(config-if)#
*Jan 26 20:14:34.209: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.1 on GigabitEthernet2
 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*Jan 26 20:14:34.214: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.1:0 (1) is DOWN (I
 interface not operational)
*Jan 26 20:14:36.173: %LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet2, changed state
 to administratively down
*Jan 26 20:14:37.175: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEth
 ernet2, changed state to down_
```

```
R1 on localhost.localdomain
File View VM
changed state to down
*Jan 26 20:19:41.861: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.3 on GigabitEthernet3
 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Dead timer expired
*Jan 26 20:19:58.688: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.3:0 (2) is UP
*Jan 26 20:19:58.278: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.3 on GigabitEthernet3
 from LOADING to FULL, Loading Done
*Jan 26 20:19:58.889: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel1, c
  hanged state to up
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#ping 192.168.58.5 source 192.168.10.1 repeat 300
Type escape sequence to abort.
Sending 300, 100-byte ICMP Echos to 192.168.58.5, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.10.1
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
*Jan 26 20:25:17.356: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.3:0 (2) is DOWN (R
  eceived error notification from peer: Holddown time expired)!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
Success rate is 99 percent (297/300), round-trip min/avg/max = 1/18/65 ms
R1#_
```

Asimismo luego de la reconvergencia, se sigue la ruta R1-R2-R5 (desde R1) o R5-R2-R1 (desde R5) tal como se observa desde R5 en el siguiente gráfico.

```

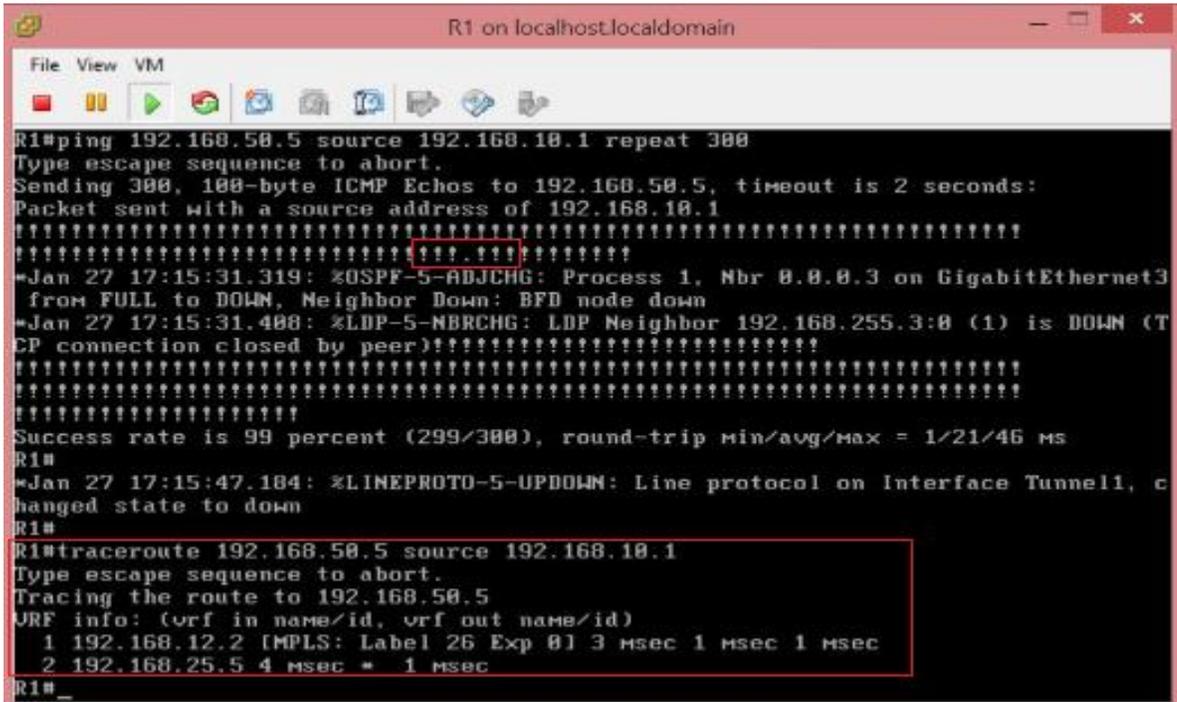
R5 on localhost.localdomain
File View VM
URF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.45.4 [MPLS: Label 28 Exp 0] 59 msec 2 msec 1 msec
 2 192.168.34.3 [MPLS: Label 32 Exp 0] 7 msec 5 msec 1 msec
 3 192.168.13.1 3 msec 4 msec *
R5#
R5#
R5#ping 192.168.10.1 source 192.168.50.5 rep
R5#ping 192.168.10.1 source 192.168.50.5 repeat 200
Type escape sequence to abort.
Sending 200, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.1, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.50.5
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
Success rate is 90 percent (197/200), round-trip min/avg/max = 1/20/610 ms
R5#
R5#traceroute 192.168.10.1 source 192.168.50.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to
*Jan 26 20:14:51.005: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel15, c
hanged state to down192.168.10.1
URF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.25.2 [MPLS: Label 19 Exp 0] 2 msec 2 msec 1 msec
 2 192.168.12.1 2 msec 2 msec *
R5#
    
```

10.- Se configuró las optimizaciones en los temporizadores de operación de OSPF, así como la detección rápida de adyacencia BFD, tal como se muestra en las siguientes 2 gráficas, adicionalmente se establece todas las interface GigabitEthernets de los enrutadores, como redes punto a punto para OSPF, evitando generar LSA-2.

```

R3 on localhost.localdomain
File View VM
R3#show run | sec ospf
ip ospf network point-to-point
ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable
ip ospf network point-to-point
router ospf 1
router-id 0.0.0.3
prefix-priority high route-map fastreroute
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority high
fast-reroute per-prefix remote-lfa tunnel mpls-ldp
fast-reroute per-prefix remote-lfa maximum-cost 10
fast-reroute keep-all-paths
timers throttle spf 50 100 50000
timers throttle lsa 20 20 1000
timers lsa arrival 20
timers pacing flood 15
timers pacing retransmission 5
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet2
no passive-interface GigabitEthernet3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
bfd all-interfaces
mpls traffic-eng router-id Loopback3
mpls traffic-eng area 0
R3#
R3#_
    
```


Luego de recuperar la conectividad, se observa la reconvergencia en la ruta R1-R2-R5 desde R1, así como 1 paquete perdido.



```

R1 on localhost.localdomain
File View VM
R1#ping 192.168.50.5 source 192.168.10.1 repeat 300
Type escape sequence to abort.
Sending 300, 100-byte ICMP Echos to 192.168.50.5, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.10.1
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
*Jan 27 17:15:31.319: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.3 on GigabitEthernet3
from FULL to DOWN, Neighbor Down: BFD node down
*Jan 27 17:15:31.408: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.3:0 (1) is DOWN (T
CP connection closed by peer)!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
Success rate is 99 percent (299/300), round-trip min/avg/max = 1/21/46 ms
R1#
*Jan 27 17:15:47.184: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel1, c
hanged state to down
R1#
R1#tracert 192.168.50.5 source 192.168.10.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.50.5
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 0 192.168.10.1 [MPLS: Label 26 Exp 0] 3 msec 1 msec 1 msec
 1 192.168.12.2 [MPLS: Label 26 Exp 0] 3 msec 1 msec 1 msec
 2 192.168.25.5 4 msec * 1 msec
R1#_
    
```

12.- Se estimó un tiempo de 3 segundos, para la reconvergencia en la red IP propuesta, luego de simular una falla del enlace entre los enrutadores R1 y R3, restableciéndose la conectividad entre las interfaces Loopbacks 10 y 50 de R1 y R5 respectivamente. Es decir al tener 1 paquete perdido, se estima un tiempo de reconvergencia de 3 segundos.

13.- Cabe mencionar que el primer valor del parámetro SPF (timers throttle spf), indica el tiempo de espera para iniciar el primer recalculation del algoritmo SPF luego de recibir un LSA que notifica un cambio en la topología. En ese sentido, veamos lo que ocurre al variar dicho parámetro.

14.- Se configura: timer throttle spf 1200 2400 30000. Se muestra la configuración realizada en R2, de manera similar se extiende a los enrutadores R1, R3, R4 y R5.

En la siguiente figura se muestran las optimizaciones de los temporizadores de OSPF para el enrutador R2, reiterando que se extiende la misma configuración para los enrutadores R1, R3, R4 y R5.

```

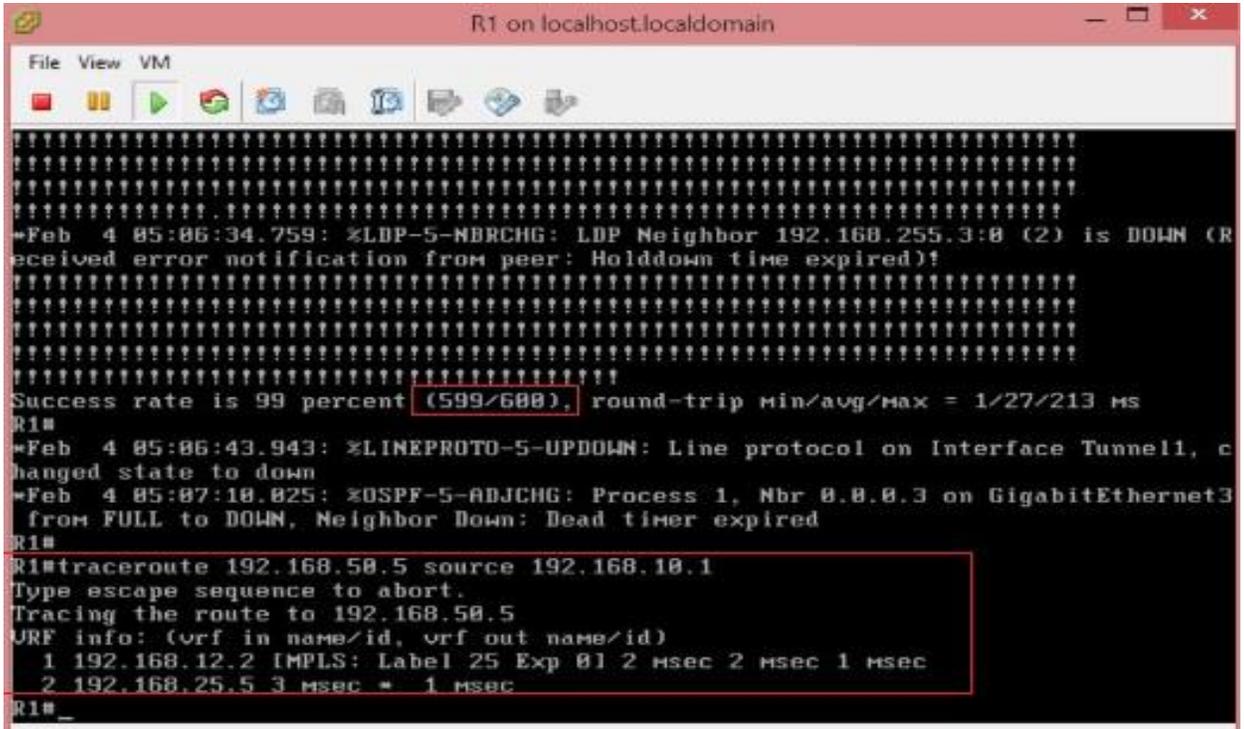
R2 on localhost.localdomain
File View VM
R2(config-router)#timers th
R2(config-router)#timers throttle sp
R2(config-router)#timers throttle spf 1200 2400 30000
R2(config-router)#
R2(config-router)#
R2(config-router)#
R2(config-router)#do sh run | sec ospf
ip ospf network point-to-point
ip ospf network point-to-point
router ospf 1
router-id 0.0.0.2
timers throttle spf 1200 2400 30000
timers throttle lsa 20 20 4000
timers lsa arrival 20
timers pacing flood 15
timers pacing retransmission 5
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet2
no passive-interface GigabitEthernet3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
mpls traffic-eng router-id Loopback2
mpls traffic-eng area 0
R2(config-router)#
R2(config-router)#_
    
```

Nuevamente se realiza la prueba del numeral 11 verificando el restablecimiento de la conectividad entre las interfaces Loopbacks 10 y 50. Se simula la falla del enlace R1 y R3 colocando en shutdown la interface Gi2 en R3, tal como se observa en la gráfica.

```

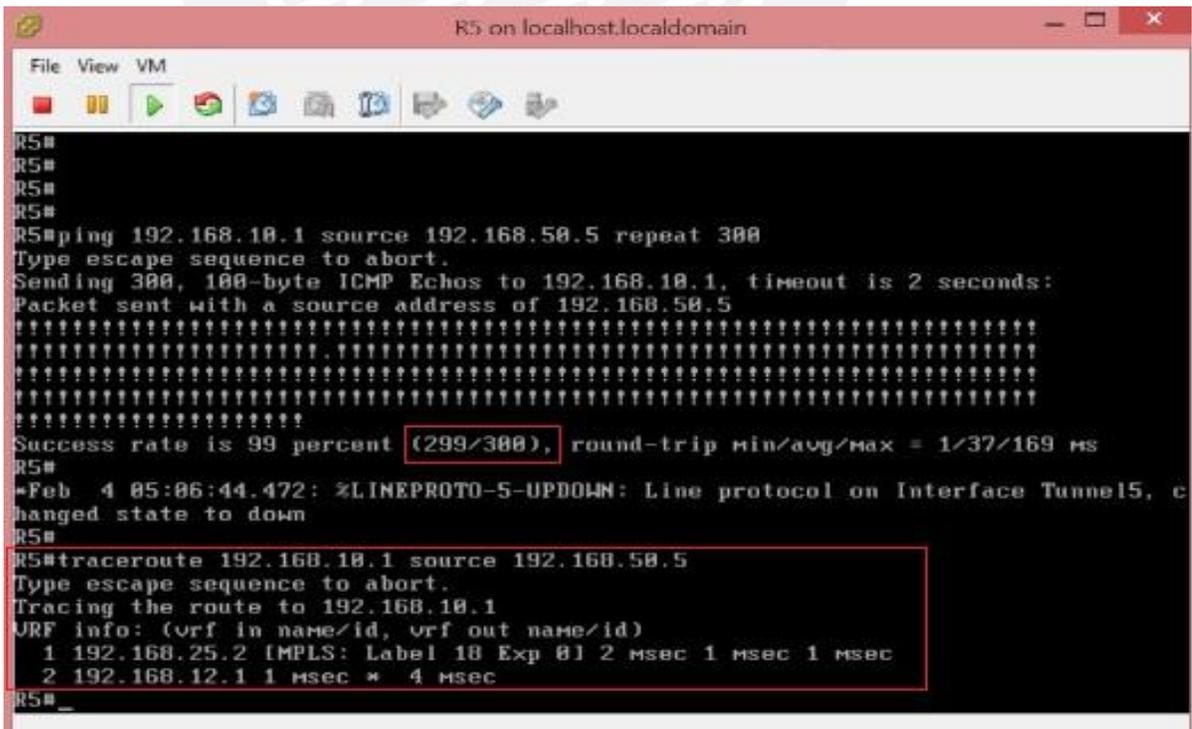
R3 on localhost.localdomain
File View VM
R3#
R3#
R3#
R3#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#inter giga 2
R3(config-if)#do show ip interface brief
Interface          IP-Address      OK? Method Status          Protocol
GigabitEthernet1   unassigned      YES NVRAM   administratively down  down
GigabitEthernet2   192.168.13.3    YES NVRAM   up              up
GigabitEthernet3   192.168.34.3    YES NVRAM   up              up
Loopback3          192.168.255.3   YES NVRAM   up              up
MPLS-Remote-Lfa15  192.168.34.3    YES unset   up              up
R3(config-if)#
R3(config-if)#
R3(config-if)#sh
R3(config-if)#
*Feb  4 05:06:32.063: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.1 on GigabitEthernet2
from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*Feb  4 05:06:32.067: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.1:0 (1) is DOWN (I
interface not operational)
*Feb  4 05:06:34.043: %LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet2, changed state
to administratively down
*Feb  4 05:06:35.043: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEth
ernet2, changed state to down_
    
```


En las siguientes 2 gráficas de observa la reconvergencia en la ruta R1-R2-R5 (desde R1) y la reconvergencia en la ruta R5-R2-R21 (desde R5). Se reitera que al tener 1 paquete perdido se estimó un tiempo de reconvergencia de 3 segundos.



```

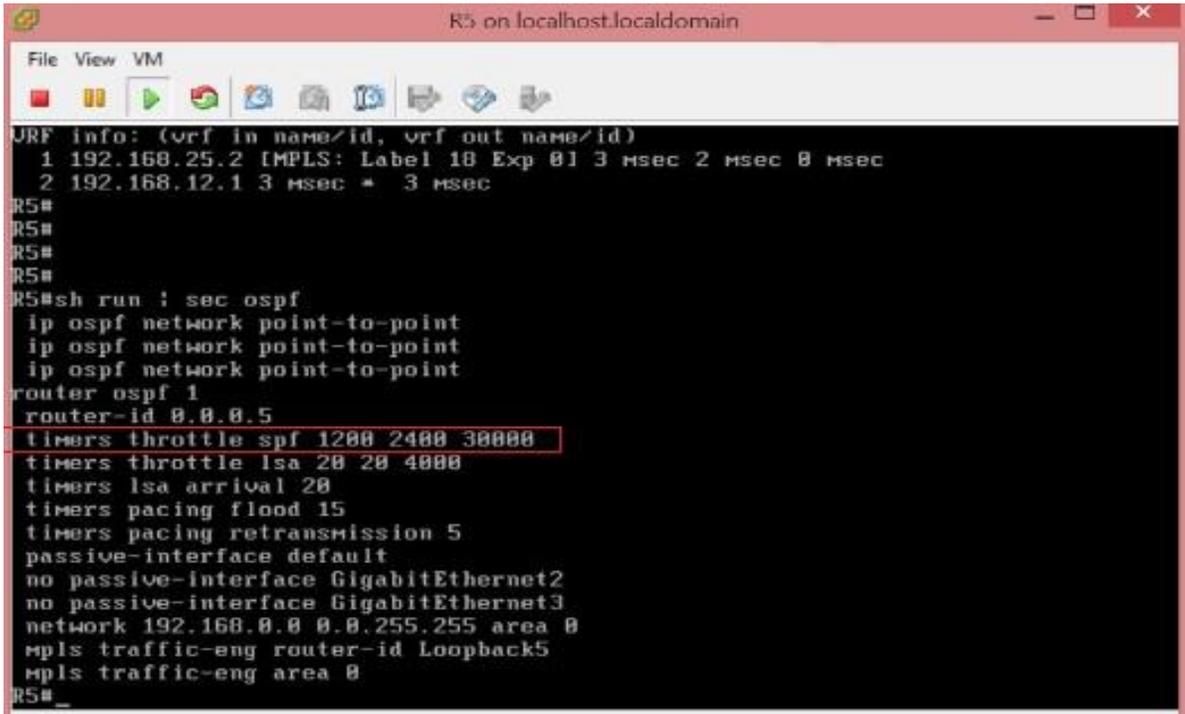
R1 on localhost.localdomain
File View VM
*****
*****
*****
*Feb 4 05:06:34.759: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.3:0 (2) is DOWN (R
eceived error notification from peer: Holddown time expired)!
*****
*****
*****
Success rate is 99 percent (599/600), round-trip min/avg/max = 1/27/213 ms
R1#
*Feb 4 05:06:43.943: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel1, c
hanged state to down
*Feb 4 05:07:18.025: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.3 on GigabitEthernet3
from FULL to DOWN, Neighbor Down: Dead timer expired
R1#
R1#traceroute 192.168.50.5 source 192.168.10.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.50.5
URF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.12.2 IMPLS: Label 25 Exp 01 2 msec 2 msec 1 msec
 2 192.168.25.5 3 msec * 1 msec
R1#
    
```



```

R5 on localhost.localdomain
File View VM
R5#
R5#
R5#
R5#ping 192.168.10.1 source 192.168.50.5 repeat 300
Type escape sequence to abort.
Sending 300, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.1, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.50.5
*****
*****
*****
Success rate is 99 percent (299/300), round-trip min/avg/max = 1/37/169 ms
R5#
*Feb 4 05:06:44.472: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel15, c
hanged state to down
R5#
R5#traceroute 192.168.10.1 source 192.168.50.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.10.1
URF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.25.2 IMPLS: Label 18 Exp 01 2 msec 1 msec 1 msec
 2 192.168.12.1 1 msec * 4 msec
R5#
    
```

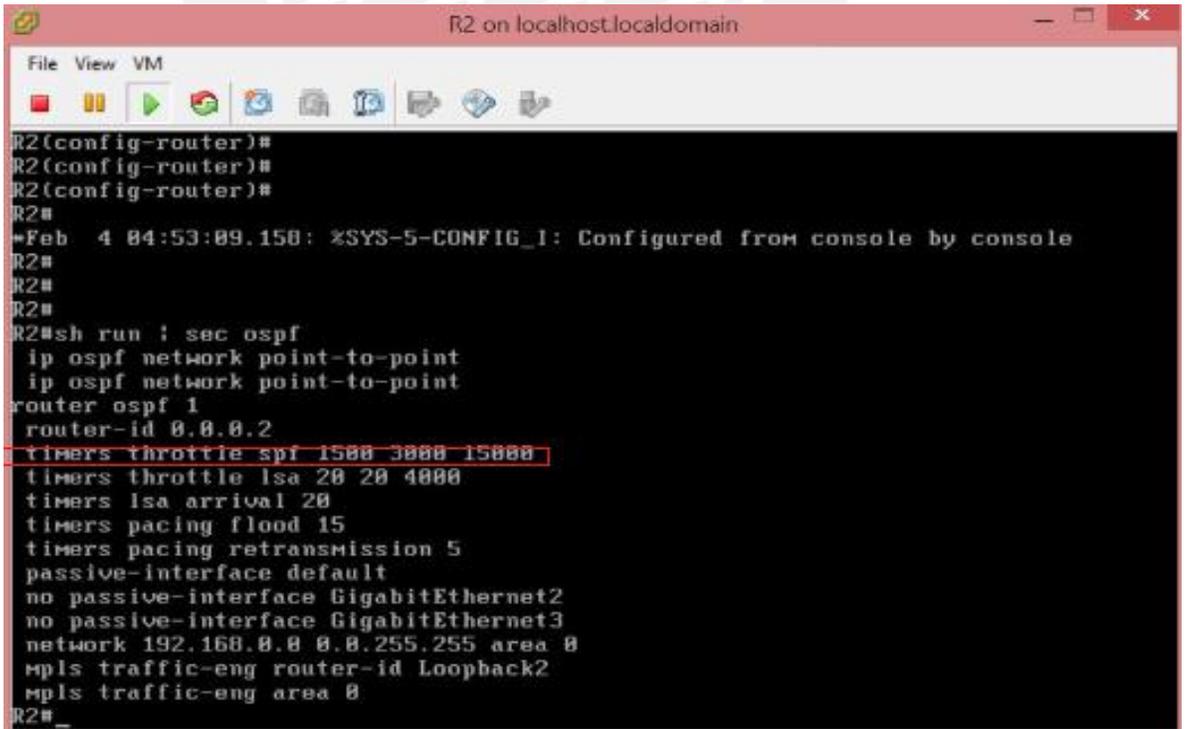

En R5 se observa los parámetros de operación para los temporizadores: timers throttle spf, los cuales fueron utilizados para la prueba anterior.



```

R5#
R5#
R5#
R5#
R5#sh run : sec ospf
ip ospf network point-to-point
ip ospf network point-to-point
ip ospf network point-to-point
router ospf 1
router-id 0.0.0.5
timers throttle spf 1200 2400 30000
timers throttle lsa 20 20 4000
timers lsa arrival 20
timers pacing flood 15
timers pacing retransmission 5
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet2
no passive-interface GigabitEthernet3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
mpls traffic-eng router-id Loopback5
mpls traffic-eng area 0
R5#
  
```

15.- Se varía los parámetros de SPF a: timers throttle spf 1500 3000 15000 y se repite la prueba realizada en el numeral 11.



```

R2(config-router)#
R2(config-router)#
R2(config-router)#
R2#
*Feb  4 04:53:09.150: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R2#
R2#
R2#
R2#sh run : sec ospf
ip ospf network point-to-point
ip ospf network point-to-point
router ospf 1
router-id 0.0.0.2
timers throttle spf 1500 3000 15000
timers throttle lsa 20 20 4000
timers lsa arrival 20
timers pacing flood 15
timers pacing retransmission 5
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet2
no passive-interface GigabitEthernet3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
mpls traffic-eng router-id Loopback2
mpls traffic-eng area 0
R2#
  
```

En las siguientes 2 gráficas se tienen 2 paquetes perdidos, tanto en las pruebas de conectividad desde R1 a R5 y desde R5 a R1, con lo cual estimamos un tiempo de reconvergencia de 5 segundos.

```

R5 on localhost.localdomain
File View VM
Success rate is 100 percent (300/300), round-trip min/avg/max = 27/37/55 ms
R5#
R5#traceroute 192.168.10.1 source 192.168.50.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.10.1
 0RF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
  1 192.168.45.4 [MPLS: Label 29 Exp 0] 2 msec 1 msec 7 msec
  2 192.168.34.3 [MPLS: Label 30 Exp 0] 30 msec 29 msec 31 msec
  3 192.168.13.1 17 msec * 2 msec
R5#
R5#ping 192.168.10.1 source 192.168.50.5 repeat 300
Type escape sequence to abort.
Sending 300, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.1, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.50.5
.....
Success rate is 99 percent (298/300), round-trip min/avg/max = 27/37/60 ms
R5#
*Feb  4 04:56:44.434: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel5, c
hanged state to down_
    
```

```

R1 on localhost.localdomain
File View VM
 2 192.168.34.4 [MPLS: Label 30 Exp 0] 30 msec 29 msec 34 msec
 3 192.168.45.5 18 msec * 3 msec
R1#
R1#
R1#ping 192.168.50.5 source 192.168.10.1 repeat 600
Type escape sequence to abort.
Sending 600, 100-byte ICMP Echos to 192.168.50.5, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.10.1
.....
*Feb  4 04:56:28.687: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.3:0 (2) is DOWN (R
eceived error notification from peer: Holddown time expired)!
.....
Success rate is 99 percent (598/600), round-trip min/avg/max = 1/27/58 ms
R1#
*Feb  4 04:56:42.308: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel1, c
hanged state to down
*Feb  4 04:57:03.768: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.3 on GigabitEthernet3
from FULL to DOWN, Neighbor Down: Dead timer expired_
    
```

16.- Se varía los parámetros de SPF a: timers throttle spf 2000 4000 10000 y repetimos la prueba realizada en el numeral 11, tal como se muestran en las siguientes 2 gráficas.

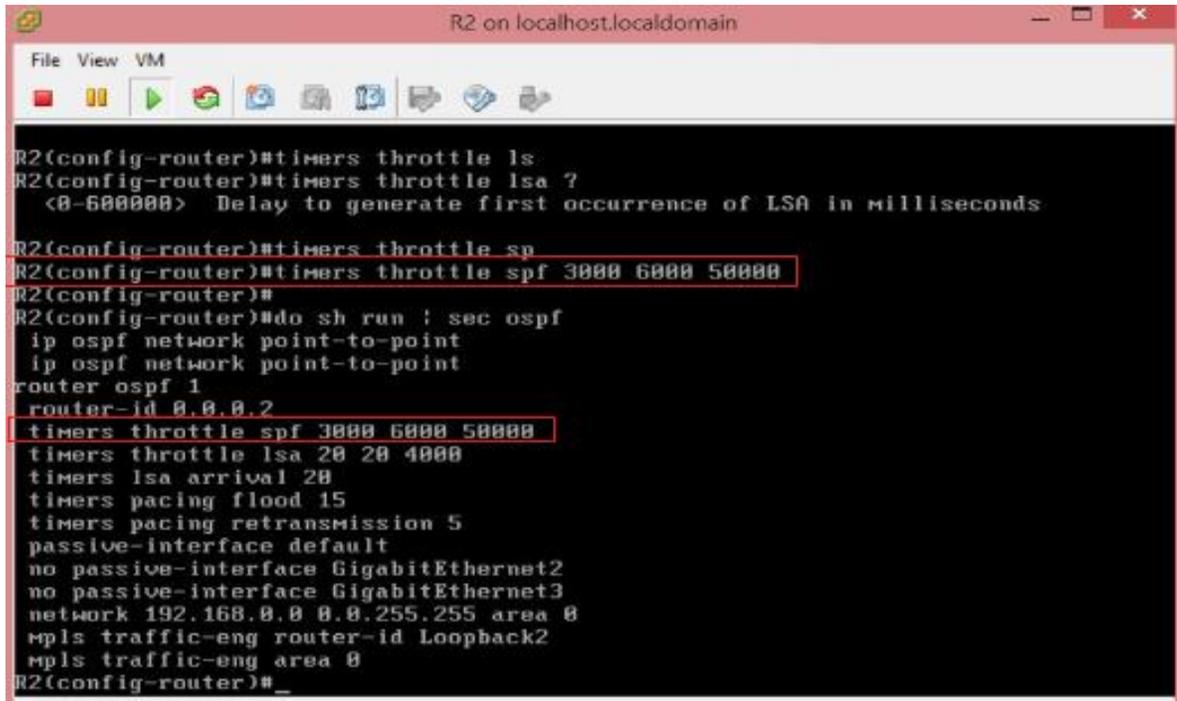
```

R2 on localhost.localdomain
File View VM
R2#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#tim
R2(config-router)#timers th
R2(config-router)#timers throttle spf
R2(config-router)#timers throttle spf 2000 4000 10000
R2(config-router)#do sh run | sec ospf
ip ospf network point-to-point
ip ospf network point-to-point
router ospf 1
router-id 0.0.0.2
timers throttle spf 2000 4000 10000
timers throttle lsa 20 20 4000
timers lsa arrival 20
timers pacing flood 15
timers pacing retransmission 5
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet2
no passive-interface GigabitEthernet3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
mpls traffic-eng router-id Loopback2
mpls traffic-eng area 0
R2(config-router)#
R2(config-router)#_
    
```

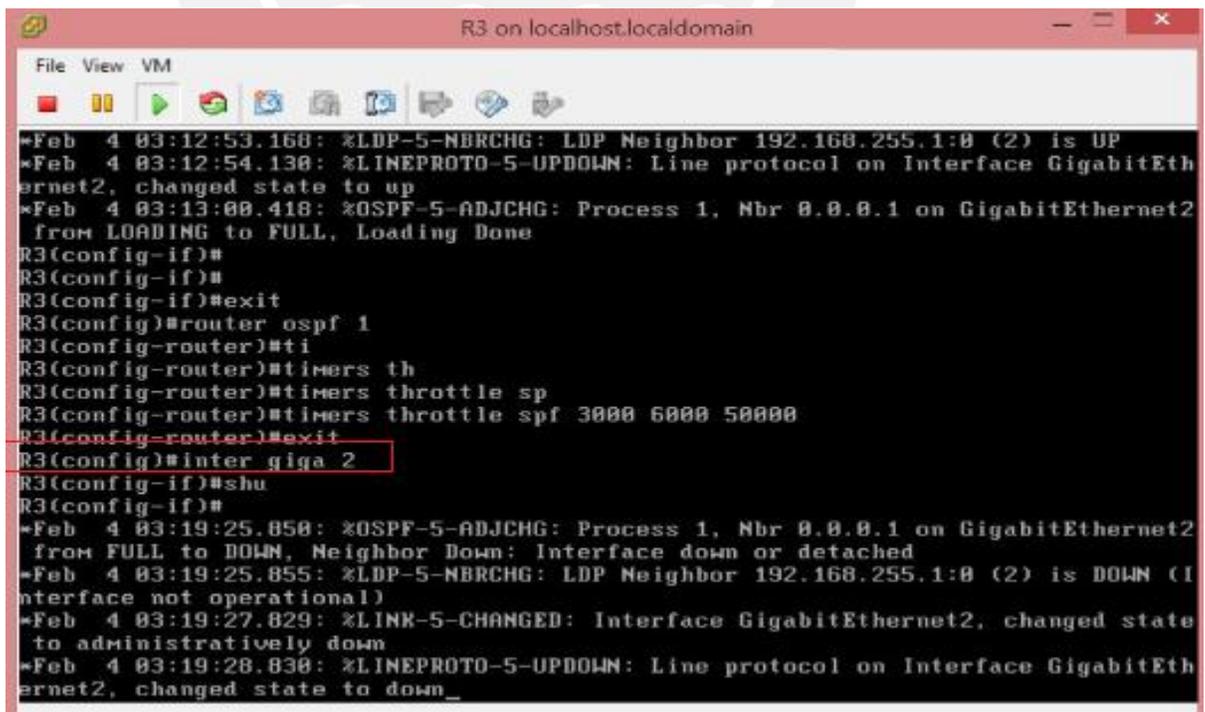
```

R3 on localhost.localdomain
File View VM
R3(config-router)#
R3(config-router)#do show ip interface brief
% Invalid input detected at '^' marker.
R3(config-router)#do show ip interface brief
Interface IP-Address OK? Method Status Protocol
GigabitEthernet1 unassigned YES NURAM administratively down down
GigabitEthernet2 192.168.13.3 YES NURAM up up
GigabitEthernet3 192.168.34.3 YES NURAM up up
Loopback3 192.168.255.3 YES NURAM up up
MPLS-Remote-Lfai1 192.168.34.3 YES unset up up
R3(config-router)#exit
R3(config)#inter giga 2
R3(config-if)#shu
R3(config-if)#shutdown
R3(config-if)#
*Feb 4 04:15:39.491: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.1 on GigabitEthernet2
from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*Feb 4 04:15:39.494: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.1:0 (1) is DOWN (I
nterface not operational)
*Feb 4 04:15:41.471: %LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet2, changed state
to administratively down
*Feb 4 04:15:42.472: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEth
ernet2, changed state to down_
    
```


17.- Se varía los parámetros de SPF a: timers throttle spf 3000 6000 50000 y se repite la prueba realizada en el numeral 11, tal como se muestran en las siguientes 2 gráficas.

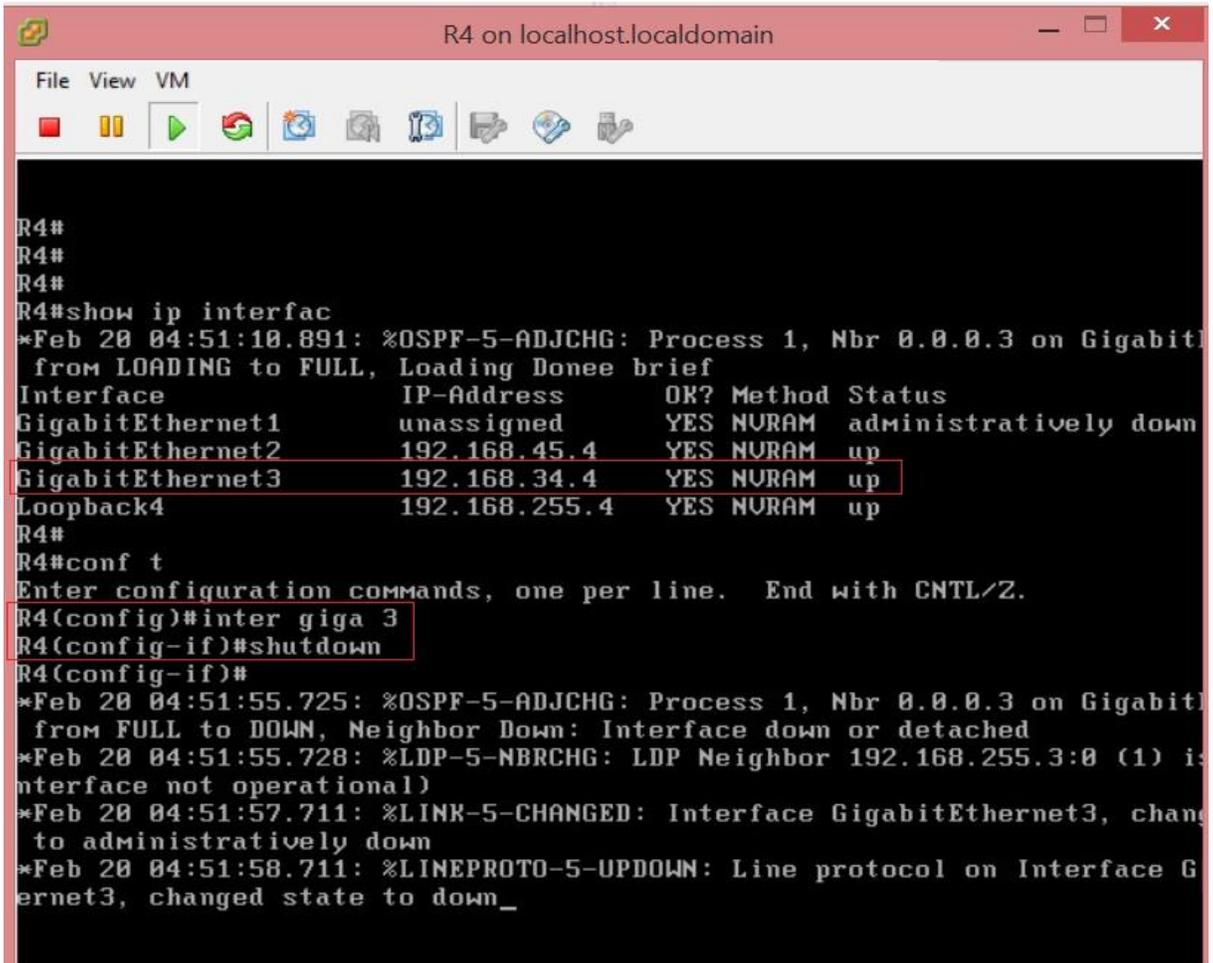


```
R2 on localhost.localdomain
File View VM
R2(config-router)#timers throttle ls
R2(config-router)#timers throttle lsa ?
<0-600000> Delay to generate first occurrence of LSA in milliseconds
R2(config-router)#timers throttle sp
R2(config-router)#timers throttle spf 3000 6000 50000
R2(config-router)#
R2(config-router)#do sh run | sec ospf
ip ospf network point-to-point
ip ospf network point-to-point
router ospf 1
router-id 0.0.0.2
timers throttle spf 3000 6000 50000
timers throttle lsa 20 20 4000
timers lsa arrival 20
timers pacing flood 15
timers pacing retransmission 5
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet2
no passive-interface GigabitEthernet3
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
mpls traffic-eng router-id Loopback2
mpls traffic-eng area 0
R2(config-router)#_
```



```
R3 on localhost.localdomain
File View VM
*Feb 4 03:12:53.160: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.1:0 (2) is UP
*Feb 4 03:12:54.130: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet2, changed state to up
*Feb 4 03:13:00.418: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.1 on GigabitEthernet2 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-if)#
R3(config-if)#
R3(config-if)#exit
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#ti
R3(config-router)#timers th
R3(config-router)#timers throttle sp
R3(config-router)#timers throttle spf 3000 6000 50000
R3(config-router)#exit
R3(config)#inter giga 2
R3(config-if)#shu
R3(config-if)#
*Feb 4 03:19:25.850: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.1 on GigabitEthernet2 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*Feb 4 03:19:25.855: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.1:0 (2) is DOWN (Interface not operational)
*Feb 4 03:19:27.829: %LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet2, changed state to administratively down
*Feb 4 03:19:28.830: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet2, changed state to down_
R3(config-if)#_
```


19.- En general, veamos lo que ocurre al simular una falla en el enlace de 2 enrutadores en la ruta establecida R1-R3-R4-R5. Tal como se ha visto, se simuló una falla en el enlace entre R1 y R3, ahora se simula una falla en el enlace entre R3 y R4, para lo cual se coloca en shutdown la interface Gi3 de R4 tal como se muestra en la siguiente gráfica. Se prueba de conectividad entre las interfaces Loopback 10 y 50 de R1 y R5 respectivamente, siguiendo las pruebas señaladas en el numeral 11 de la presente simulación.



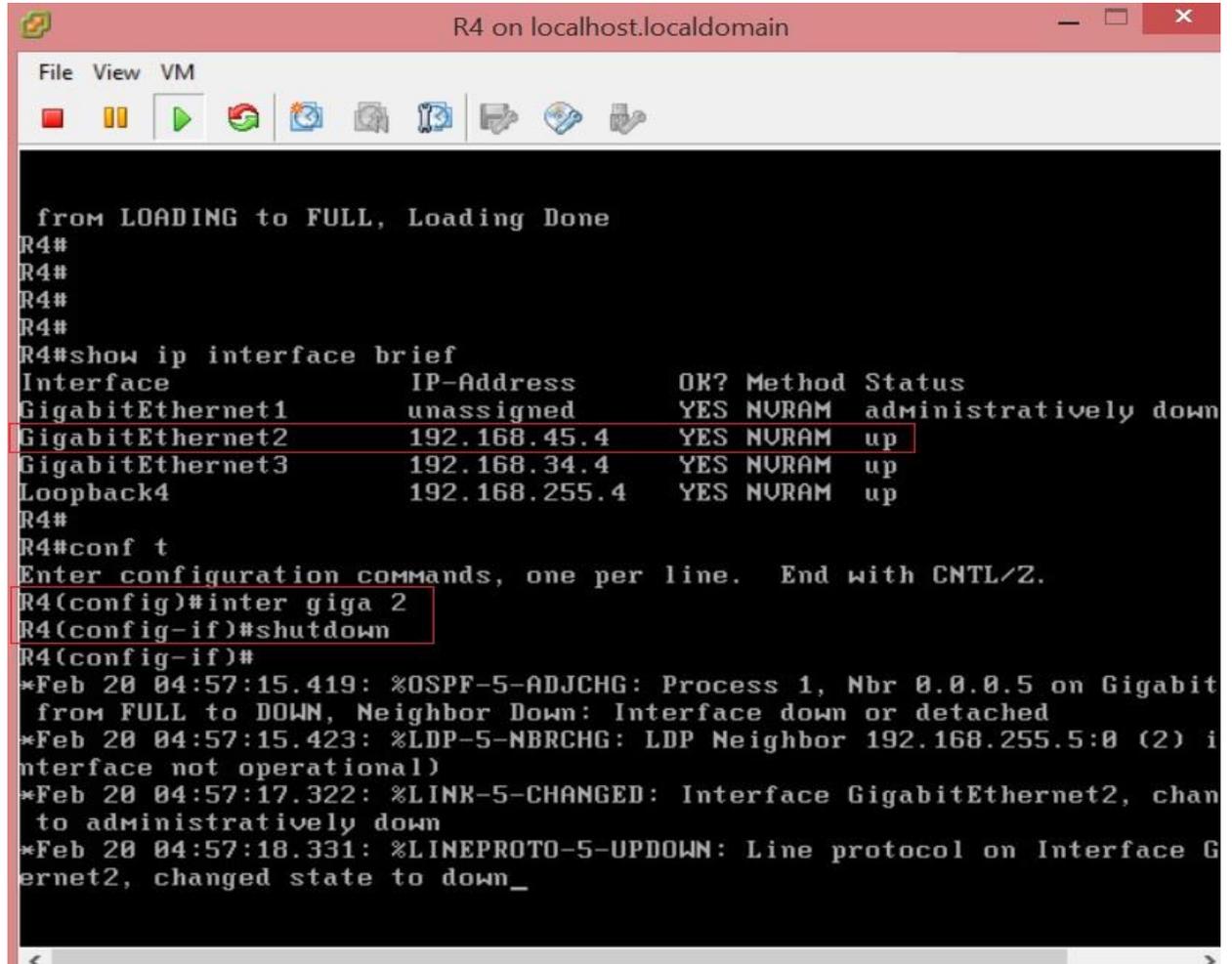
```

R4#
R4#
R4#
R4#show ip interfac
*Feb 20 04:51:10.891: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.3 on GigabitE
  from LOADING to FULL, Loading Donee brief
Interface      IP-Address      OK? Method Status
GigabitEthernet1  unassigned      YES NURAM  administratively down
GigabitEthernet2  192.168.45.4    YES NURAM  up
GigabitEthernet3  192.168.34.4    YES NURAM  up
Loopback4       192.168.255.4   YES NURAM  up
R4#
R4#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R4(config)#inter giga 3
R4(config-if)#shutdown
R4(config-if)#
*Feb 20 04:51:55.725: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.3 on GigabitE
  from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*Feb 20 04:51:55.728: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.3:0 (1) is
  nterface not operational)
*Feb 20 04:51:57.711: %LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet3, chang
  to administratively down
*Feb 20 04:51:58.711: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface G
  ernet3, changed state to down_

```

20.- En las siguientes 2 gráfica se observan 1 paquete perdido, estimando un tiempo de reconvergencia de 3 segundos, se visualiza la reconvergencia en la ruta R1-R2-R5, desde el enrutador R1 a R5. Asimismo se observa la reconvergencia en la ruta R5-R2-R1 desde R5 a R1 (véase las 2 gráficos siguientes).

21.- De manera similar, se simula una falla en el enlace entre R4 y R5, colocando la interface Gi2 en R4 en shutdown, tal como se muestra en la siguiente figura y realizando la prueba de conectividad de conectividad señalada en el numeral 11.



```

from LOADING to FULL, Loading Done
R4#
R4#
R4#
R4#
R4#show ip interface brief
Interface                IP-Address      OK? Method Status
GigabitEthernet1        unassigned     YES NURAM administratively down
GigabitEthernet2        192.168.45.4   YES NURAM up
GigabitEthernet3        192.168.34.4   YES NURAM up
Loopback4                192.168.255.4 YES NURAM up
R4#
R4#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#inter giga 2
R4(config-if)#shutdown
R4(config-if)#
*Feb 20 04:57:15.419: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 0.0.0.5 on Gigabit
  from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*Feb 20 04:57:15.423: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.255.5:0 (2) i
  nterface not operational)
*Feb 20 04:57:17.322: %LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet2, chan
  to administratively down
*Feb 20 04:57:18.331: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface G
  ernet2, changed state to down_
  
```

22.- Se observa en los siguientes 2 gráficos que nuevamente se pierde 1 paquete, estimando un tiempo de reconvergencia de 3 segundos, se visualiza la reconvergencia en la ruta R1-R2-R5, desde el enrutador R1 a R5. Asimismo se observa la reconvergencia en la ruta R5-R2-R1 desde R5 a R1 (véase las 2 gráficos siguientes).

23.- De acuerdo a las simulaciones realizadas en el presente anexo, se estimó un tiempo de reconvergencia de 3 segundos, luego de ocurrido una falla del enlace entre 2 enrutadores de la ruta establecida R1-R3-R4-R5.

24.- La ruta establecida R1-R3-R4-R5 (desde R1 a R5) o R5-R4-R3-R1 (desde R5 a R1) se logró con OSPF TE, para lo cual se utilizó una red MPLS (MPLS TE), precisando que al utilizar OSPF la ruta a seguir será R1-R2-R5, la cual difiere a la ruta ofrecida por OSPF TE (R1-R3-R4-R5).

25.- Con IP FRR se instala una ruta y un next-hop de respaldo en la RIB y en la tabla CEF de un enrutador acelerando el tiempo de reconvergencia a 7 segundos luego de ocurrir un cambio en la topología de una red.

26.- En general el tiempo de reconvergencia estimado en el presente documento, se logra con la modificación del temporizador para el primer cálculo del algoritmo SPF luego de recibido un cambio en la topología y con la utilización de un valor fijo para el primer temporizador del timers throttle lsa.

27.- La utilización del primer temporizador del timers throttle lsa igual a 20 ms, anula el uso del BFD, es decir el BFD no tiene injerencia en la estimación del tiempo de reconvergencia luego de ocurrir una falla del enlace entre 2 enrutadores en la ruta establecida.