



Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y
Agrimensura Escuela de Ingeniería Electrónica

Cátedra: Redes Avanzadas de Telecomunicaciones

TRABAJO PRÁCTICO

“Implementación de una red MPLS 1”

Año 2024



1) **Objetivos:**

Consiste en crear una red que utilice MPLS (MultiProtocol Label Switching) que es un protocolo de conmutación por etiquetas definido para funcionar sobre múltiples protocolos como SONet (fibra óptica), Frame Relay, ATM, Ethernet, etc.

NOTA: Si bien se brindará información sobre redes ATM y Frame Relay (ambas orientadas a la conexión), cabe destacar, que MPLS reemplazó a ambas, como la tecnología preferida para llevar datos de alta velocidad y voz digital en una sola conexión.

Introducción teórica

MPLS es un estándar IP de conmutación de paquetes del IETF (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet), que trata de proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión. En el enrutamiento IP sin conexión tradicional, la dirección de destino junto a otros parámetros de la cabecera, es examinada cada vez que el paquete atraviesa un router. La ruta del paquete se adapta en función del estado de las tablas de enrutamiento de cada nodo, pero, como la ruta no puede predecirse, es difícil reservar recursos que garanticen la QoS (calidad de servicio); además, las búsquedas en tablas de enrutamiento hacen que cada nodo pierda cierto tiempo, que se incrementa en función de la longitud de la tabla.

MPLS aprovecha lo mejor de la capa 2 (modelo OSI), la rápida conmutación, sin perder de vista la capa 3, para no perder sus posibilidades. Esto se consigue separando de verdad la función de conmutación de la de enrutamiento. MPLS hace más viable la ingeniería de tráfico, permite enrutamiento rápido (porque en realidad hace conmutación, pero con información de enrutado), permite que los equipos de reenvío sean más baratos si sólo deben entender paquetes etiquetados, permite ofrecer QoS basándose en diferentes CoS (clases de servicio) y también hace más fáciles y flexibles las VPN (redes privadas virtuales).

Formato y ubicación de etiquetas:

MPLS utiliza los campos para etiquetas de ATM o Frame Relay, o añade una cabecera para el resto de protocolos entre la del nivel 3 y la del nivel 2. La diferencia con IP sobre ATM es que no tenemos una red diferente que nos proporciona conexión entre routers IP, sino que los niveles están integrados, y las funciones de enrutamiento y reenvío separadas pero coordinadas. Hay una parte de control, que se encarga de las decisiones de enrutamiento, pero no construye una tabla en la que consultar la dirección IP de los paquetes que lleguen, sino que informa a la parte de reenvío, que construye una tabla con etiquetas; así no es necesario mirar la cabecera de la capa 3, y decidir para cada paquete, porque la decisión ya está tomada para cada etiqueta. El único router que tiene que hacer funciones de enrutamiento es el primero, que tiene que decidir que etiqueta coloca a cada paquete. Todos los paquetes que llevan la misma etiqueta forman un grupo que se denomina Forwarding Equivalent Class (FEC), que se explicará más adelante. La etiqueta es un identificador de conexión que sólo tiene significado local y que establece una correspondencia entre el tráfico y un FEC específico.

Formato de etiqueta:



Fig. 4: Formato de etiqueta MPLS.

El encabezado MPLS genérico tiene una longitud de 4 bytes y cuatro campos. El más importante es el campo *Etiqueta* (Label), que contiene el índice. El campo QoS (quality of service o calidad de servicio) indica la clase de servicio. El campo S se relaciona con el apilamiento de múltiples etiquetas. El campo TtL (time to live) indica cuántas veces se puede reenviar el paquete. El valor de este campo es decrementado en cada router, y si llega a 0, el paquete es descartado. Esta característica evita los ciclos infinitos en el caso de inestabilidad del enrutamiento.

Ahora la ubicamos dentro de los distintos protocolos de capa 2:

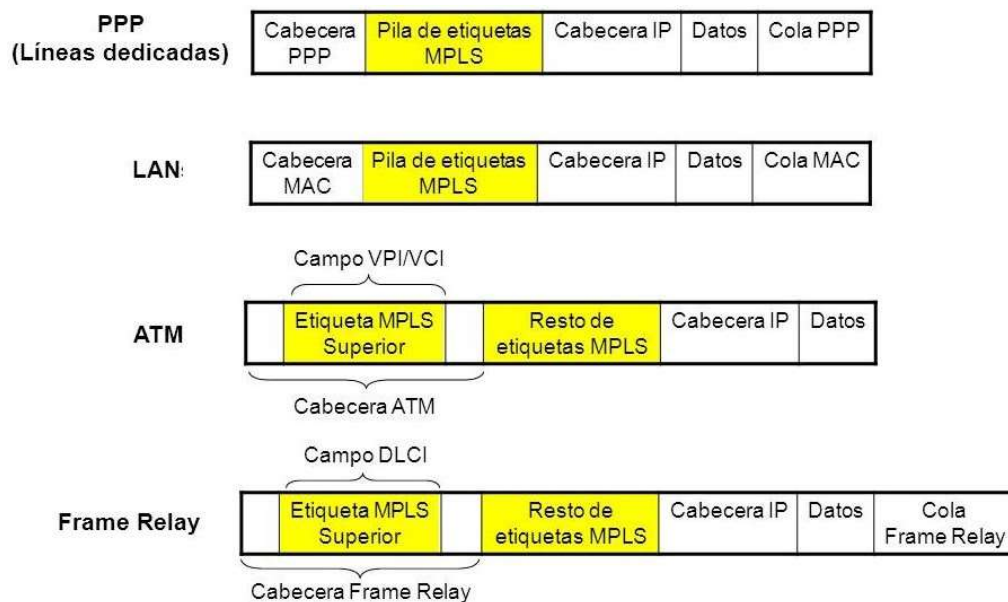


Fig. 5: Inserción de etiqueta MPLS en distintos protocolos de capa 2.

Componentes y Terminología de una red MPLS

- LER (Label Edge Router o enrutador frontera de etiquetado): elemento que inicia o termina el túnel (extrae e introduce cabeceras). Es decir, el elemento de entrada/salida a la red MPLS. Existen tanto, enrutadores de entrada como de salida de la red. Ambos suelen denominarse *router* frontera ya que se encuentran en los extremos de la red MPLS.
- LSR (Label Switching Router o enrutador de conmutación de etiquetas)
- LSP (Label Switched Path o intercambio de rutas por etiqueta) nombre genérico de un camino MPLS (para cierto tráfico o FEC), es decir, del túnel MPLS establecido entre los extremos. A tener en cuenta que un LSP es unidireccional.

- LDP (Label Distribution Protocol o protocolo de distribución de etiquetas): un protocolo para la distribución de etiquetas MPLS entre los equipos de la red.
- FEC (Forwarding Equivalence Class o clase de equivalencia de reenvío): nombre que se le da al tráfico que se encamina bajo una etiqueta. Subconjunto de paquetes tratados del mismo modo por el conmutador.

Nota: La clasificación del tráfico en FECs, se puede efectuar en base a diferentes criterios, como por ejemplo: Interfaz de entrada, dirección IP de origen o destino (dirección de host o de red), número de puerto de origen o destino en la cabecera de transporte, campo protocolo de IP (TCP, UDP, ICMP, etc.), valor del campo DS (Differentiated Services, calidad de servicio) de la cabecera IP, etc.

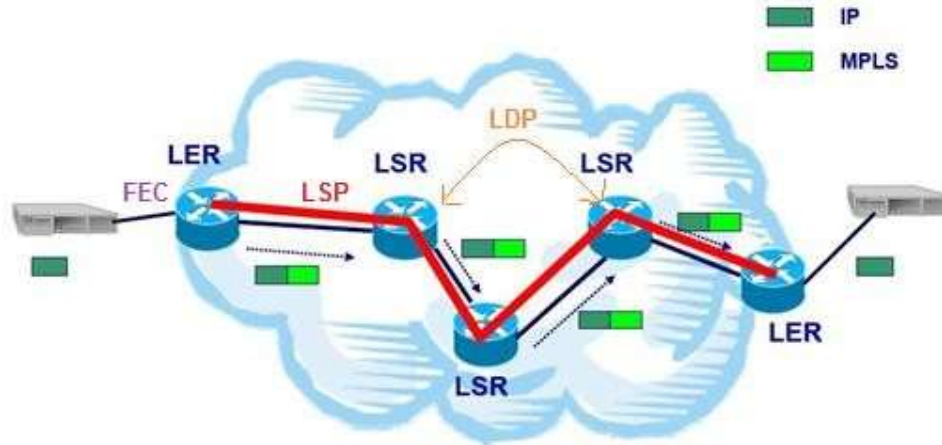


Fig. 6: Red MPLS.

Funcionamiento de la red:

Los puntos de entrada en la red MPLS, como ya se comentó, son llamados *Enrutadores de borde de Etiqueta* (LER), es decir enrutadores que son interfaces entre la red MPLS y otras redes, y los enrutadores que efectúan la conmutación basados únicamente en etiquetas se llaman *Enrutadores Conmutadores de Etiqueta* (LSR). Cabe notar que un LER es simplemente un LSR que cuenta con la habilidad de rutear paquetes en redes externas a MPLS.

Las etiquetas son distribuidas usando el Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP). Es precisamente mediante el protocolo LDP que los enrutadores de etiquetas intercambian información acerca de la posibilidad de alcanzar otros enrutadores, y las etiquetas que son necesarias para ello.

El operador de una red MPLS puede establecer *Caminos Conmutados mediante Etiquetas* (LSP), es decir, el operador establece caminos para transportar Redes Privadas Virtuales de tipo IP (IP VPN), pero estos caminos pueden tener otros usos. En muchos aspectos las redes MPLS se parecen a las redes ATM y Frame Relay, con la diferencia de que la red MPLS es independiente del transporte en capa 2 (en el modelo OSI).

En MPLS el camino que se sigue está prefijado desde el origen (se conocen todos los saltos de antemano): se pueden utilizar etiquetas para identificar cada comunicación y en cada salto se puede cambiar de etiqueta (mismo principio de funcionamiento que VPI/VCI en ATM, o que DLCI en Frame Relay).

- Paquetes destinados a diferentes IPs pueden usar el mismo camino LSP (pertenecer al mismo FEC).
- Las etiquetas con el mismo destino y tratamiento se agrupan en una misma etiqueta: los nodos mantienen mucha menos información de estado que por ejemplo ATM. Las etiquetas se pueden apilar, de modo que se puede encaminar de manera jerárquica.

Cuando un paquete no etiquetado entra a un enrutador de ingreso y necesita utilizar un túnel MPLS, el enrutador primero determinará la Clase Equivalente de Envío (FEC), luego inserta una o más etiquetas en el encabezado MPLS recién creado. Acto seguido el paquete salta al enrutador siguiente según lo indica el túnel.

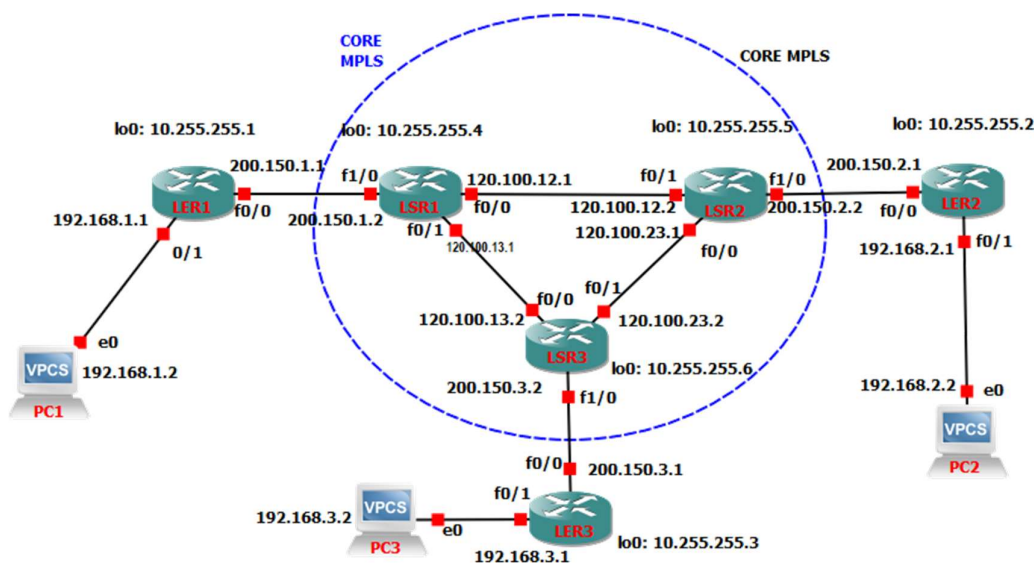
Cuando un paquete etiquetado es recibido por un enrutador MPLS, la etiqueta que se encuentra en el tope de la pila será examinada, pero no así el contenido del paquete, de hecho, los enrutadores de tránsito usualmente no necesitan examinar ninguna información por debajo de la mencionada etiqueta. El paquete es enviado basándose en el contenido de su etiqueta, lo cual permite un enrutamiento independiente del protocolo.

En el enrutador de regreso donde la última etiqueta es retirada, sólo queda la carga útil, que puede ser un paquete IP o cualquier otro protocolo. Por tanto, el enrutador de regreso debe forzosamente tener información de enrutamiento para dicho paquete debido a que la información para el envío de la carga no se encuentra en la tabla de etiquetas MPLS.

2) Desarrollo

Este trabajo consta de una red basada en un core (backbone) MPLS con routers LSR y routers de frontera o de borde LER que son las puertas de entrada a la nube MPLS. Ha llegado el momento de armar la configuración, para ello serán necesarios seis routers Cisco C2691, tres VPC's.

i) Se realizarán las conexiones tal como lo indica el esquema siguiente:





Y se lo configurará con las acciones y tabla que siguen:

i) Colocar nombres a los Routers

ii) Colocar IP a las interfaces y host

iii) Configurar interfaces loopback

iv) Configurar enrutamiento OSPF

v) Configurar MPLS

Para realizar este ítem los pasos a seguir son:

A) Configurar el router para MPLS forwarding

```
LSR1(config)#interface f0/0 LSR1(config-if)#mpls ip.
```

Es decir, el protocolo MPLS se debe configurar en cada interface de los routers. Un router podría tener una interface que conecta con una red que usa MPLS y otra interface hacia otra red sin MPLS.

B) Habilitar el protocolo LDP.

LDP es un protocolo definido para distribuir etiquetas. Es el conjunto de procedimientos y mensajes mediante los cuales los routers con conmutación de etiquetas (LSR) establecen trayectos con conmutación de etiqueta (LSP) a través de una red, mediante el mapeo que realizan con la información de enrutamiento de la capa de red, directamente a las rutas conmutadas de la capa de enlace de datos.

```
mpls label protocol ldp
```

En los routers cisco se puede utilizar la versión propietaria de este protocolo:

```
mpls label protocol tdp
```

Aunque no la usaremos en este caso.

Definir la ID única del router de conmutación de etiquetas

```
mpls ldp router-id loopback
```

Si la interface de loopback no se definió se puede usar otra interface:

```
mpls ldp router-id f0/0
```

Aunque no la usaremos en este caso.



Para conocer cuál es la ID se puede usar el comando:

```
LSR1#show mpls ldp discovery
```

C) Comandos para verificar el protocolo MPLS

`show mpls interfaces` (verifica que la interface se ha configurado con LDP)

`show mpls ldp discovery` (verifica que la interface está levantada y enviando mensajes HELLO de protocolo LDP)

`show mpls ldp neighbor` (Muestra el estado de la sesión LDP)

NOTA: El paso anterior se debe realizar para todas los routers que utilizaran MPLS

3) Ensayos

Una vez realizadas las interconexiones de routers y hosts, podemos llevar a cabo distintas pruebas:

1) Probar conectividad haciendo Ping desde cada Host (VPCs) hacia los otros:

```
PC1> ping 192.168.3.2
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=1 ttl=60 time=124.468 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=2 ttl=60 time=124.048 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=3 ttl=60 time=122.504 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=4 ttl=60 time=123.350 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=5 ttl=60 time=117.951 ms

PC1> ping 192.168.2.2
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=1 ttl=60 time=123.952 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=2 ttl=60 time=109.753 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=3 ttl=60 time=109.887 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=4 ttl=60 time=123.819 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=5 ttl=60 time=123.348 ms
```

```
PC2> ping 192.168.1.2
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=1 ttl=60 time=123.175 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=2 ttl=60 time=108.010 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=3 ttl=60 time=123.473 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=4 ttl=60 time=122.181 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=5 ttl=60 time=123.239 ms

PC2> ping 192.168.3.2
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=1 ttl=60 time=125.740 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=2 ttl=60 time=123.609 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=3 ttl=60 time=103.079 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=4 ttl=60 time=121.905 ms
84 bytes from 192.168.3.2 icmp_seq=5 ttl=60 time=123.864 ms
```

```
PC3> ping 192.168.2.2
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=1 ttl=60 time=122.940 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=2 ttl=60 time=122.783 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=3 ttl=60 time=122.992 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=4 ttl=60 time=122.851 ms
84 bytes from 192.168.2.2 icmp_seq=5 ttl=60 time=123.501 ms

PC3> ping 192.168.1.2
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=1 ttl=60 time=122.587 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=2 ttl=60 time=123.120 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=3 ttl=60 time=123.177 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=4 ttl=60 time=123.919 ms
84 bytes from 192.168.1.2 icmp_seq=5 ttl=60 time=125.399 ms
```



2) Comprobar que todos routers tengan el protocolo MPLS en todas las interfaces:

```
LSR1#show mpls interfaces
```

En el caso de los LSR, el protocolo se encuentra configurado en todas las interfaces mientras que, en los LER, solo se configuró en la interfaz de la red MPLS. Se muestran ambos casos a continuación:

```
LSR2#show mpls interfaces
Interface          IP          Tunnel  BGP Static Operational
FastEthernet0/0    Yes (ldp)   No      No  No   Yes
FastEthernet0/1    Yes (ldp)   No      No  No   Yes
FastEthernet1/0    Yes (ldp)   No      No  No   Yes
```

```
LER2#show mpls interfaces
Interface          IP          Tunnel  BGP Static Operational
FastEthernet0/0    Yes (ldp)   No      No  No   Yes
```

3) Asegurarse que los protocolos LDP se están ejecutando

```
LSR1#show mpls ldp neighbor
```

```
LSR1#show mpls ldp neighbor
Peer LDP Ident: 10.255.255.1:0; Local LDP Ident 10.255.255.4:0
TCP connection: 10.255.255.1.646 - 10.255.255.4.48315
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 51/52; Downstream
Up time: 00:30:02
LDP discovery sources:
  FastEthernet1/0, Src IP addr: 200.150.1.1
Addresses bound to peer LDP Ident:
  200.150.1.1  192.168.1.1  10.255.255.1
Peer LDP Ident: 10.255.255.5:0; Local LDP Ident 10.255.255.4:0
TCP connection: 10.255.255.5.21316 - 10.255.255.4.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 50/51; Downstream
Up time: 00:28:49
LDP discovery sources:
  FastEthernet0/0, Src IP addr: 120.100.12.2
Addresses bound to peer LDP Ident:
  120.100.23.1  120.100.12.2  200.150.2.2  10.255.255.5
Peer LDP Ident: 10.255.255.6:0; Local LDP Ident 10.255.255.4:0
TCP connection: 10.255.255.6.48517 - 10.255.255.4.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 48/49; Downstream
Up time: 00:27:35
LDP discovery sources:
  FastEthernet0/1, Src IP addr: 120.100.13.2
Addresses bound to peer LDP Ident:
  120.100.13.2  120.100.23.2  200.150.3.2  10.255.255.6
```

Con este comando podemos ver las adyacencias LDP. En el caso del LSR1 tiene 3 adyacencias. Se puede visualizar una adyacencia en la interfaz FastEthernet1/0 con la IP 200.150.1.1 correspondiente a la adyacencia con LER1. También se ven las dos adyacencias con los otros dos LSR en las interfaces correspondientes. Además, este comando nos permite ver el estado de la adyacencia.



4) Obtener la tabla de ruteo

`LER2#show mpls forwarding-table`

Copiar la tabla obtenida y explicar que nos muestra este comando

```
LER2#show mpls forwarding-table
```

Local Label	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Outgoing interface	Next Hop
16	16	10.255.255.4/32	0	Fa0/0	200.150.2.2
17	17	10.255.255.1/32	0	Fa0/0	200.150.2.2
18	18	192.168.1.0/24	0	Fa0/0	200.150.2.2
19	Pop Label	120.100.23.0/30	0	Fa0/0	200.150.2.2
20	19	120.100.13.0/30	0	Fa0/0	200.150.2.2
21	20	200.150.1.0/30	0	Fa0/0	200.150.2.2
22	Pop Label	120.100.12.0/30	0	Fa0/0	200.150.2.2
23	No Label	10.255.255.5/32	0	Fa0/0	200.150.2.2
24	23	10.255.255.6/32	0	Fa0/0	200.150.2.2
25	24	200.150.3.0/30	0	Fa0/0	200.150.2.2
26	25	10.255.255.3/32	0	Fa0/0	200.150.2.2
27	26	192.168.3.0/24	0	Fa0/0	200.150.2.2

Con este comando podemos ver la tabla de reenvío MPLS. Cada entrada de esta tabla muestra como se manejan los paquetes etiquetados en la red MPLS para dicho equipo. Etiqueta local y remota, la interfaz a través de la cuál reenvía el paquete, la dirección de próximo salto.

5) Verificación efectiva de la conmutación por etiquetas

5.1) Empezar ejecutando un traceroute desde la PC2 a la PC3:

`PC2> trace 192.168.3.2`

Copiar el resultado

```
PC2> trace 192.168.3.2
trace to 192.168.3.2, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
 1 192.168.2.1 15.193 ms 16.239 ms 16.138 ms
 2 200.150.2.2 107.709 ms 107.706 ms 109.385 ms
 3 120.100.23.2 75.993 ms 75.517 ms 76.673 ms
 4 200.150.3.1 108.897 ms 107.154 ms 107.833 ms
 5 *192.168.3.2 121.706 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)
```

5.2) Ahora ejecute un traceroute desde LER2 a la loopback del LER3

`LER2#traceroute 10.255.255.3`

5.2.1) Copiar el resultado. ¿Qué información extra introduce el protocolo MPLS?

```
LER2#traceroute 10.255.255.3

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.255.255.3

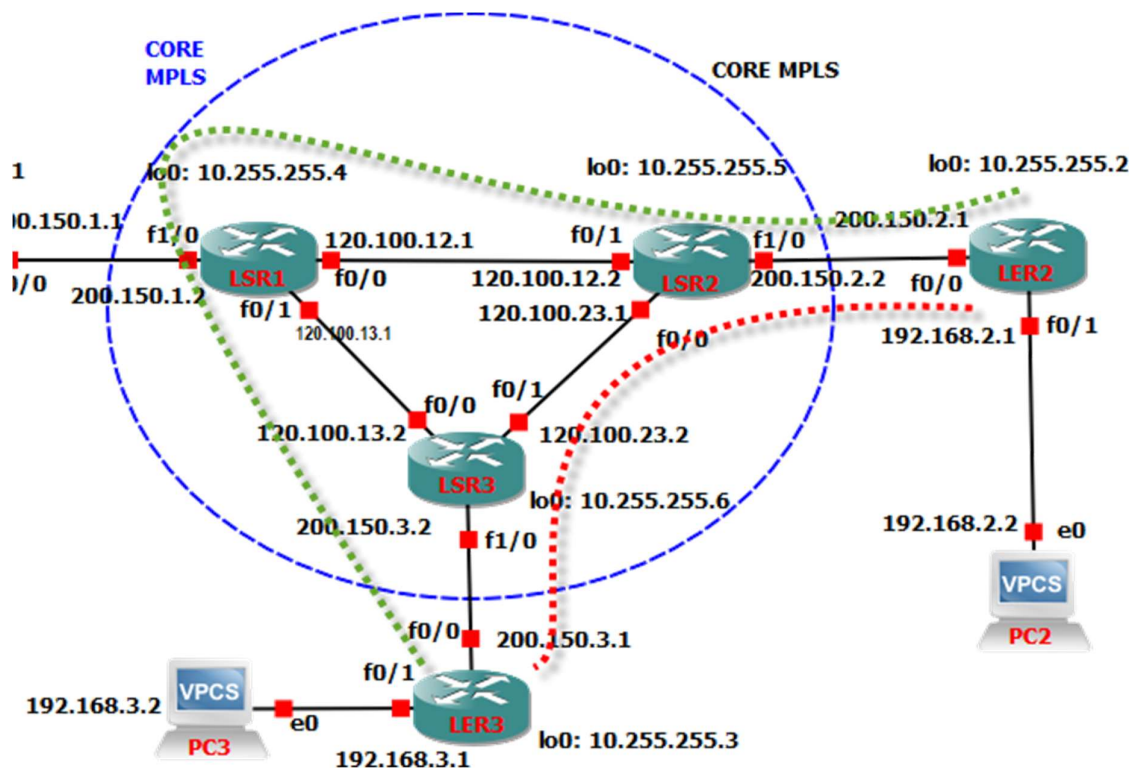
 0 200.150.2.2 [MPLS: Label 25 Exp 0] 80 msec 80 msec 80 msec
 1 120.100.23.2 [MPLS: Label 25 Exp 0] 32 msec 68 msec 40 msec
 2 200.150.3.1 84 msec 92 msec 88 msec
```

En este caso se agrega información sobre las etiquetas del protocolo MPLS sobre cada paquete IP.

5.2.2) Porque en el punto 5.1 no aparece información de etiquetas?

El protocolo MPLS es transparente a la PC, es decir, cuando la PC envía el segmento UDP para hacer ping, no sabe que este protocolo se encuentra configurado, por lo tanto no se muestra la información de las etiquetas.

5.3) ¿Cuál de los dos LSP (rojo o verde) que se muestran en la figura siguiente es que define el camino entre PC2 y PC3 y por qué?



Los paquetes siguen el camino definido por el LSP de color rojo. Esto puede verificarse con el traceroute entre ambos equipos como se hizo en el punto anterior. Además, si hacemos un traceroute en el sentido opuesto, se puede ver que el LSP es el mismo.



5.4) Extraiga las tablas de ruteo de todos los routers en el camino de PC2 a PC3, marcando los puntos donde se introducen (Push), conmutan (SWAP) y remueven (POP) las etiquetas para el LSP, usando el comando `sh mpls forwarding-table` en cada router.

```
PC2> trace 192.168.3.2
trace to 192.168.3.2, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  192.168.2.1    15.904 ms  16.118 ms  15.674 ms
 2  200.150.2.2   108.062 ms 107.534 ms 106.051 ms
 3  120.100.23.2   76.433 ms  75.817 ms  76.719 ms
 4  200.150.3.1   107.598 ms  91.916 ms  107.831 ms
 5  * * *
 6  *192.168.3.2  123.666 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)
```

A partir de este trace podemos ver el camino que toma el mensaje de ping desde PC2 hacia PC3. Veamos las tablas de cada router (LER2, LSR2, LSR3, LER3).

```
LER2#show mpls forwarding-table
Local   Outgoing Prefix      Bytes Label  Outgoing  Next Hop
Label   Label    or Tunnel Id Switched     interface
16      16       10.255.255.4/32 0           Fa0/0      200.150.2.2
17      17       10.255.255.1/32 0           Fa0/0      200.150.2.2
18      18       192.168.1.0/24 0           Fa0/0      200.150.2.2
19      Pop Label 120.100.23.0/30 0           Fa0/0      200.150.2.2
20      19       120.100.13.0/30 0           Fa0/0      200.150.2.2
21      20       200.150.1.0/30 0           Fa0/0      200.150.2.2
22      Pop Label 120.100.12.0/30 0           Fa0/0      200.150.2.2
23      No Label 10.255.255.5/32 0           Fa0/0      200.150.2.2
24      23       10.255.255.6/32 0           Fa0/0      200.150.2.2
25      24       200.150.3.0/30 0           Fa0/0      200.150.2.2
26      25       10.255.255.3/32 0           Fa0/0      200.150.2.2
27      26       192.168.3.0/24 0           Fa0/0      200.150.2.2
```

```
LSR2#show mpls forwarding-table
Local   Outgoing Prefix      Bytes Label  Outgoing  Next Hop
Label   Label    or Tunnel Id Switched     interface
16      No Label 10.255.255.4/32 0           Fa0/1      120.100.12.1
17      16       10.255.255.1/32 0           Fa0/1      120.100.12.1
18      17       192.168.1.0/24 3060        Fa0/1      120.100.12.1
19      Pop Label 120.100.13.0/30 0           Fa0/1      120.100.12.1
20      Pop Label 120.100.13.0/30 0           Fa0/0      120.100.23.2
21      Pop Label 200.150.1.0/30 0           Fa0/1      120.100.12.1
22      No Label 10.255.255.2/32 672         Fa1/0      200.150.2.1
23      Pop Label 192.168.2.0/24 9726        Fa1/0      200.150.2.1
24      No Label 10.255.255.6/32 0           Fa0/0      120.100.23.2
25      Pop Label 200.150.3.0/30 756         Fa0/0      120.100.23.2
26      25       10.255.255.3/32 1440        Fa0/0      120.100.23.2
27      26       192.168.3.0/24 5160        Fa0/0      120.100.23.2
```




```
LSR3#show mpls forwarding-table
```

Local Label	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Label	Outgoing interface	Next Hop
16	No Label	10.255.255.5/32	0		Fa0/1	120.100.23.1
17	No Label	10.255.255.4/32	0		Fa0/0	120.100.13.1
18	21	10.255.255.2/32	360		Fa0/1	120.100.23.1
19	16	10.255.255.1/32	0		Fa0/0	120.100.13.1
20	22	192.168.2.0/24	5340		Fa0/1	120.100.23.1
21	17	192.168.1.0/24	2550		Fa0/0	120.100.13.1
22	Pop Label	200.150.2.0/30	3024		Fa0/1	120.100.23.1
23	Pop Label	120.100.12.0/30	0		Fa0/0	120.100.13.1
	Pop Label	120.100.12.0/30	0		Fa0/1	120.100.23.1
24	Pop Label	200.150.1.0/30	0		Fa0/0	120.100.13.1
25	No Label	10.255.255.3/32	2688		Fa1/0	200.150.3.1
26	Pop Label	192.168.3.0/24	8102		Fa1/0	200.150.3.1

```
LER3#show mpls forwarding-table
```

Local Label	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Label	Outgoing interface	Next Hop
16	No Label	10.255.255.6/32	0		Fa0/0	200.150.3.2
17	16	10.255.255.5/32	0		Fa0/0	200.150.3.2
18	17	10.255.255.4/32	0		Fa0/0	200.150.3.2
19	18	10.255.255.2/32	0		Fa0/0	200.150.3.2
20	19	10.255.255.1/32	0		Fa0/0	200.150.3.2
21	20	192.168.2.0/24	0		Fa0/0	200.150.3.2
22	21	192.168.1.0/24	0		Fa0/0	200.150.3.2
23	22	200.150.2.0/30	0		Fa0/0	200.150.3.2
24	23	120.100.12.0/30	0		Fa0/0	200.150.3.2
25	24	200.150.1.0/30	0		Fa0/0	200.150.3.2
26	Pop Label	120.100.13.0/30	0		Fa0/0	200.150.3.2
27	Pop Label	120.100.23.0/30	0		Fa0/0	200.150.3.2

Para el destino 192.168.3.2, que está dentro del prefijo 192.168.3.0/24, el router LER2 utiliza la etiqueta local 27 y la intercambia por la etiqueta de salida 26. Luego reenvía el tráfico a través de la interfaz Fa0/0 hacia el próximo salto 200.150.2.2. En este primer router se hace el “Push” de la etiqueta.

En LSR2 vemos que la etiqueta no cambia, solo es reenviada. Luego, en LSR3, se realiza el “Pop Label” de la etiqueta 26 que va hacia la red 192.168.3.0/24 y por último vemos que en el router LER3 ya no tenemos información a cerca de dicha red ya que no tiene esa interfaz con MPLS.

6.) Utilice el analizador de protocolos Wireshark sobre el enlace entre LSR2 y LSR3

6.1) Filtre el tráfico del protocolo LDP. Observe que algunos de los paquetes son UDP y otros TCP. En los paquetes UDP, ¿Cuál es el puerto utilizado?

Puerto 646

6.2) Estos paquetes UDP son enviados por los routers para anunciarse a los vecinos. Observe el contenido de la PDU del protocolo LDP e indique que dato lleva para identificar el router que la emitió.

Se puede ver que se identifica el emisor con el LSR ID.

6.3) ¿Qué dirección de destino tienen? Por qué?

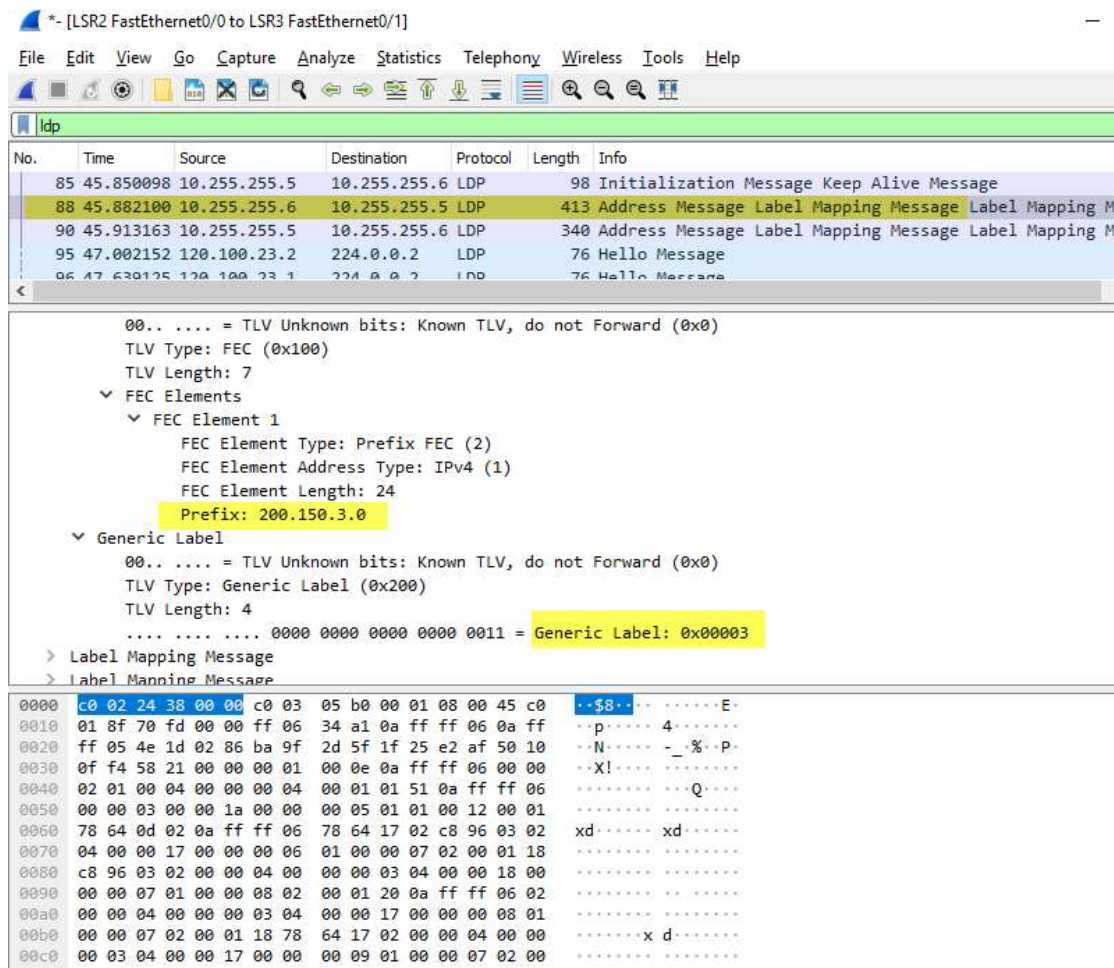
La dirección de destino es una dirección de broadcast y se envía a todos los routers para poder identificar quienes son los vecinos.

6.4) En el caso de los paquetes TCP del protocolo LDP, busque uno de los que en la columna de información se identifican como "Label Mapping Message". (Posiblemente tenga que dejar funcionar el wireshark un tiempo apreciable para que aparezcan estos paquetes).

Observe la dirección de origen y destino de estos paquetes. ¿Qué significan?

En el caso de los paquetes TCP del protocolo LDP (Label Distribution Protocol), los paquetes que se identifican como "Label Mapping Message" son mensajes específicos que se utilizan para distribuir etiquetas MPLS entre routers

6.5) Dentro de la PDU del protocolo LDP de cada paquete TCP, puede encontrar varios mensajes relacionado con números de etiquetas.



Wireshark capture of LDP packets. The packet list shows several LDP packets, including an Initialization Message and an Address Message. The packet details pane shows the structure of the Address Message, including FEC Elements and Generic Labels. The packet bytes pane shows the raw data of the packet.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
85	45.850098	10.255.255.5	10.255.255.6	LDP	98	Initialization Message Keep Alive Message
88	45.882100	10.255.255.6	10.255.255.5	LDP	413	Address Message Label Mapping Message Label Mapping M
90	45.913163	10.255.255.5	10.255.255.6	LDP	340	Address Message Label Mapping Message Label Mapping M
95	47.002152	120.100.23.2	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
96	47.630125	120.100.23.1	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message

Packet details for packet 88 (Address Message):

- 00.. = TLV Unknown bits: Known TLV, do not Forward (0x0)
- TLV Type: FEC (0x100)
- TLV Length: 7
- ▼ FEC Elements
 - ▼ FEC Element 1
 - FEC Element Type: Prefix FEC (2)
 - FEC Element Address Type: IPv4 (1)
 - FEC Element Length: 24
 - Prefix: 200.150.3.0
 - ▼ Generic Label
 - 00.. = TLV Unknown bits: Known TLV, do not Forward (0x0)
 - TLV Type: Generic Label (0x200)
 - TLV Length: 4
 - 0000 0000 0000 0000 0011 = Generic Label: 0x00003
- > Label Mapping Message
- > Label Mapping Message

Packet bytes for packet 88:

```

0000 c0 02 24 38 00 00 c0 03 05 b0 00 01 08 00 45 c0 ..$.
0010 01 8f 70 fd 00 00 ff 06 34 a1 0a ff ff 06 0a ff ..p...4...
0020 ff 05 4e 1d 02 86 ba 9f 2d 5f 1f 25 e2 af 50 10 ..N...-%.P.
0030 0f f4 58 21 00 00 00 01 00 0e 0a ff ff 06 00 00 ..Xl...Q...
0040 02 01 00 04 00 00 00 04 00 01 01 51 0a ff ff 06 ..
0050 00 00 03 00 00 1a 00 00 00 05 01 01 00 12 00 01 ..
0060 78 64 0d 02 0a ff ff 06 78 64 17 02 c8 96 03 02 xd...xd...
0070 04 00 00 17 00 00 00 06 01 00 00 07 02 00 01 18 ..
0080 c8 96 03 02 00 00 04 00 00 00 03 04 00 00 18 00 ..
0090 00 00 07 01 00 00 08 02 00 01 20 0a ff ff 06 02 ..
00a0 00 00 04 00 00 00 03 04 00 00 17 00 00 00 08 01 ..
00b0 00 00 07 02 00 01 18 78 64 17 02 00 00 04 00 00 ..x d...
00c0 00 03 04 00 00 17 00 00 00 09 01 00 00 07 02 00 ..
  
```




Arme un cuadro con la información mencionada y explique qué significa.

6.6) Sin detener el Wireshark, ubíquese en la PC2 y envíe un ping la PC3: ping 192.168.3.2

Coloque ahora un filtro “MPLS” en el wireshark.

Analice el par de mensajes relacionados con el protocolo ICMP: request y replay: Encuentre las etiquetas relacionadas a cada uno de estos dos mensajes.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
855	872.136610	192.168.2.2	192.168.3.2	ICMP	102	Echo (ping) request id=0x9ae2, seq=1/256, ttl=63 (reply in 860)
859	874.148673	192.168.2.2	192.168.3.2	ICMP	102	Echo (ping) request id=0x9ce2, seq=2/512, ttl=63 (reply in 861)
860	875.220653	192.168.3.2	192.168.2.2	ICMP	102	Echo (ping) reply id=0x9ae2, seq=1/256, ttl=63 (request in 855)

Si analizamos el mensaje se puede ver que la request lleva la etiqueta 26 y la respuesta la etiqueta 22

6.7) Verifique se corresponden con las de la tabla 5.4

Las etiquetas corresponden con las tablas de LSR2 y LSR3 según la dirección IP de destino.

6.8) Qué valor tiene el campo Bottom Of Stack y qué significa

13...	1331.17...	192.168.2.2	192.168.3.2	ICMP	102	Echo (ping) request id=0x1ab7, seq=3/768, ttl=63 (reply in 1365)
13...	1331.22...	192.168.3.2	192.168.2.2	ICMP	102	Echo (ping) reply id=0x1ab7, seq=3/768, ttl=63 (request in 1364)
13...	1332.26...	192.168.2.2	192.168.3.2	ICMP	102	Echo (ping) request id=0x1bb7, seq=4/1024, ttl=63 (reply in 1370)
13...	1332.30...	192.168.3.2	192.168.2.2	ICMP	102	Echo (ping) reply id=0x1bb7, seq=4/1024, ttl=63 (request in 13...
13...	1333.34...	192.168.2.2	192.168.3.2	ICMP	102	Echo (ping) request id=0x1cb7, seq=5/1280, ttl=63 (reply in 1372)
13...	1333.37...	192.168.3.2	192.168.2.2	ICMP	102	Echo (ping) reply id=0x1cb7, seq=5/1280, ttl=63 (request in 13...

> Frame 1365: 102 bytes on wire (816 bits), 102 bytes captured (816 bits) on interface -, id 0
> Ethernet II, Src: c0:03:05:b0:00:01 (c0:03:05:b0:00:01), Dst: c0:02:24:38:00:00 (c0:02:24:38:00:00)
> MultiProtocol Label Switching Header, Label: 18, Exp: 0, S: 1, TTL: 62
0000 0000 0000 0010 0010 = MPLS Label: 18
.... 000. = MPLS Experimental Bits: 0
.... 1 = MPLS Bottom Of Label Stack: 1
.... 0011 1110 = MPLS TTL: 62
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.3.2, Dst: 192.168.2.2
> Internet Control Message Protocol

El valor del campo es 1 y esto indica que es la primera etiqueta MPLS en apilarse. Con esto podríamos saber sobre el anidamiento de etiquetas.

6.9) Viendo la captura de wireshark con filtro MPLS... Por qué se dice que MPLS trabaja en capa 2.5?

*- [LSR2 FastEthernet0/0 to LSR3 FastEthernet0/1]

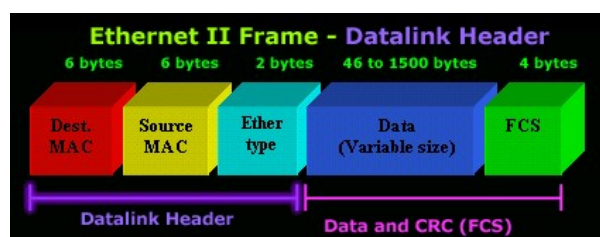
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
21...	2125.94...	200.150.2.2	200.150.2.1	ICMP	186	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded)
21...	2125.99...	200.150.2.2	200.150.2.1	ICMP	186	Time-to-live exceeded (Time to live exceeded)
21...	2126.06...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49157 → 33437 Len=0
21...	2126.12...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49158 → 33438 Len=0
21...	2126.18...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49159 → 33439 Len=0
21...	2126.23...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49160 → 33440 Len=0
21...	2126.29...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49161 → 33441 Len=0
21...	2126.34...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49162 → 33442 Len=0
21...	2126.40...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49163 → 33443 Len=0
21...	2129.41...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49164 → 33444 Len=0
21...	2129.46...	200.150.2.1	192.168.3.2	UDP	60	49165 → 33445 Len=0

<

> Frame 2179: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface -, id 0
 > Ethernet II, Src: c0:02:24:38:00:00 (c0:02:24:38:00:00), Dst: c0:03:05:b0:00:01 (c0:03:05:b0:00:01)
 > MultiProtocol Label Switching Header, Label: 19, Exp: 0, S: 1, TTL: 2
 > Internet Protocol Version 4, Src: 200.150.2.1, Dst: 192.168.3.2
 > User Datagram Protocol, Src Port: 49160, Dst Port: 33440

MPLS (Multiprotocol Label Switching) se describe a menudo como un protocolo de "capa 2.5" porque opera entre las capas de enlace de datos (capa 2) y la capa de red (capa 3) en el modelo OSI. Vemos que en la captura se tiene la trama de Ethernet de capa 2, el paquete IP de capa 3 y en el medio de estos se agrega MPLS.

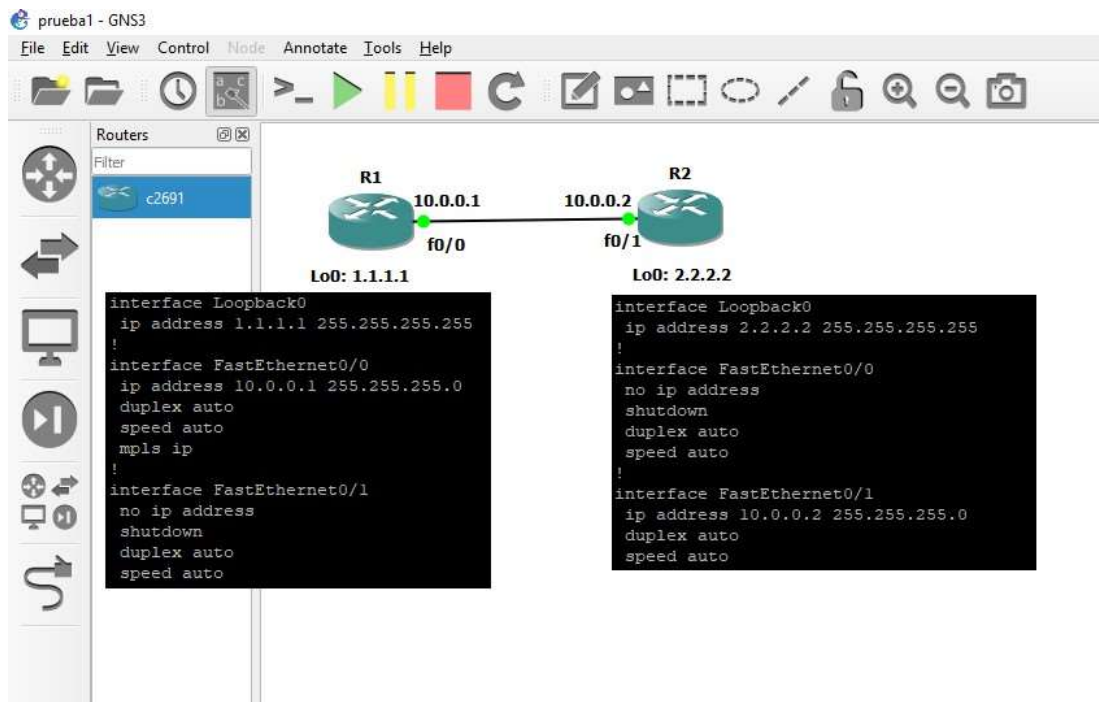
6.10) qué valor tiene el campo type de trama Ethernet?



Type: MPLS label switched packet (0x8847)

Guarde las configuraciones de todos los routers (WR) y de las VPC (Save). Exporte el proyecto en formato portable.

7. Hagamos una prueba más: Consideren esta topología:



Dos Routers conectado por la interface Ethernet.

R1 tiene el protocolo MPLS habilitado en la interface y R2 no.

7.1) Compruebe en el simulador GNS3 si pueden intercambiar paquetes IP.

Si puedes, puesto que es un enlace físico punto a punto entre R1 y R2.

7.2) Compruebe en el simulador GNS3 si pueden intercambiar paquetes etiquetados (MPLS).

No es posible intercambiar paquetes etiquetados (MPLS) porque R2 no entiende dichas etiquetas.



APENDICE

1) Colocar nombre al router

```
R1#configure terminal R1(config)#hostname LSR1
```

2) Colocar IP a las interfaces routers

```
LSR1(config)#interface f0/0  
LSR1(config-if)#ip address xxx.xxx.xxx.xxx mmm.mmm.mmm.mmm  
  
xxx.xxx.xxx.xxx dirección ip mmm.mmm.mmm.mmm máscara de red
```

3) Colocar IP a las interfaces VPCs

```
PC1> ip xxx.xxx.xxx.xxx /m ggg.ggg.ggg.ggg xxx.xxx.xxx.xxx dirección ip  
m longitud de máscara de red (0-32) ggg.ggg.ggg.ggg puerta de enlace  
(gateway)
```

4) Configurar interface loopback

En la mayoría de los casos, se recomienda configurar la dirección IP de loopback como ID de router. La dirección IP de loopback es una dirección de software virtual que se utiliza para la identificación del router en la red. Los beneficios son que la dirección de loopback siempre está activa (up) y no puede estar inactiva como interfaz física. El protocolo OSPF (a usar en el siguiente ítem) usará esto para la comunicación entre los routers identificados por el ID del router (router-id).

```
LSR1(config)#interface lo0  
LSR1(config-if)#ip add xxx.xxx.xxx.xxx mmm.mmm.mmm.mmm  
  
xxx.xxx.xxx.xxx dirección ip mmm.mmm.mmm.mmm máscara de red
```

5) Configurar enrutamiento OSPF

Hay dos elementos básicos de la configuración de OSPF:

A) Habilitar instancia OSPF

```
LSR1(config)#router ospf 1
```

B) Configuración de red OSPF

```
LSR1(config-router)#network xxx.xxx.xxx.xxx mmm.mmm.mmm.mmm área 0  
  
xxx.xxx.xxx.xxx dirección ip mmm.mmm.mmm.mmm wildcard
```

NOTA: El paso anterior se debe realizar para todas las redes que quiera informar el router a sus vecinos.