

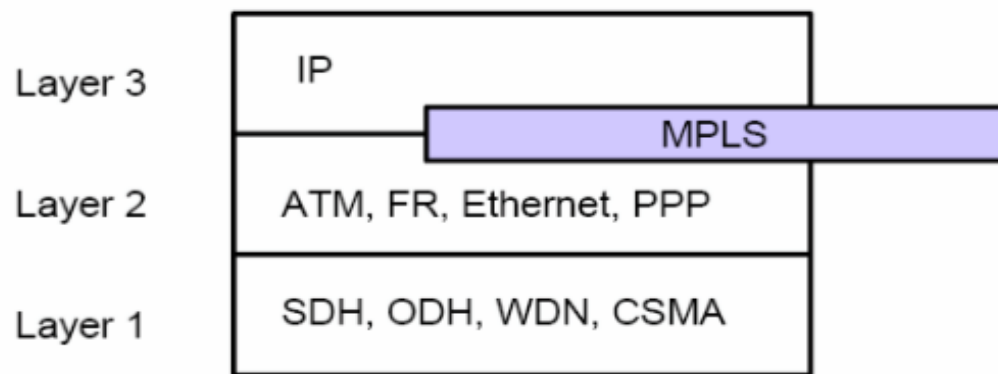
MultiProtocol Label Switching (MPLS)

1. Objetivo de la práctica:

El objetivo de la presente práctica es familiarizarse con la tecnología y los conceptos básicos de MPLS (Multiprotocol Label Switching), así como su configuración entre Routers.

2. Introducción:

La tecnología MPLS también es conocida como técnica de la capa 2.5, porque realiza un encapsulado intermedio entre la capa de enlace (capa 2) y la capa de red (capa 3).



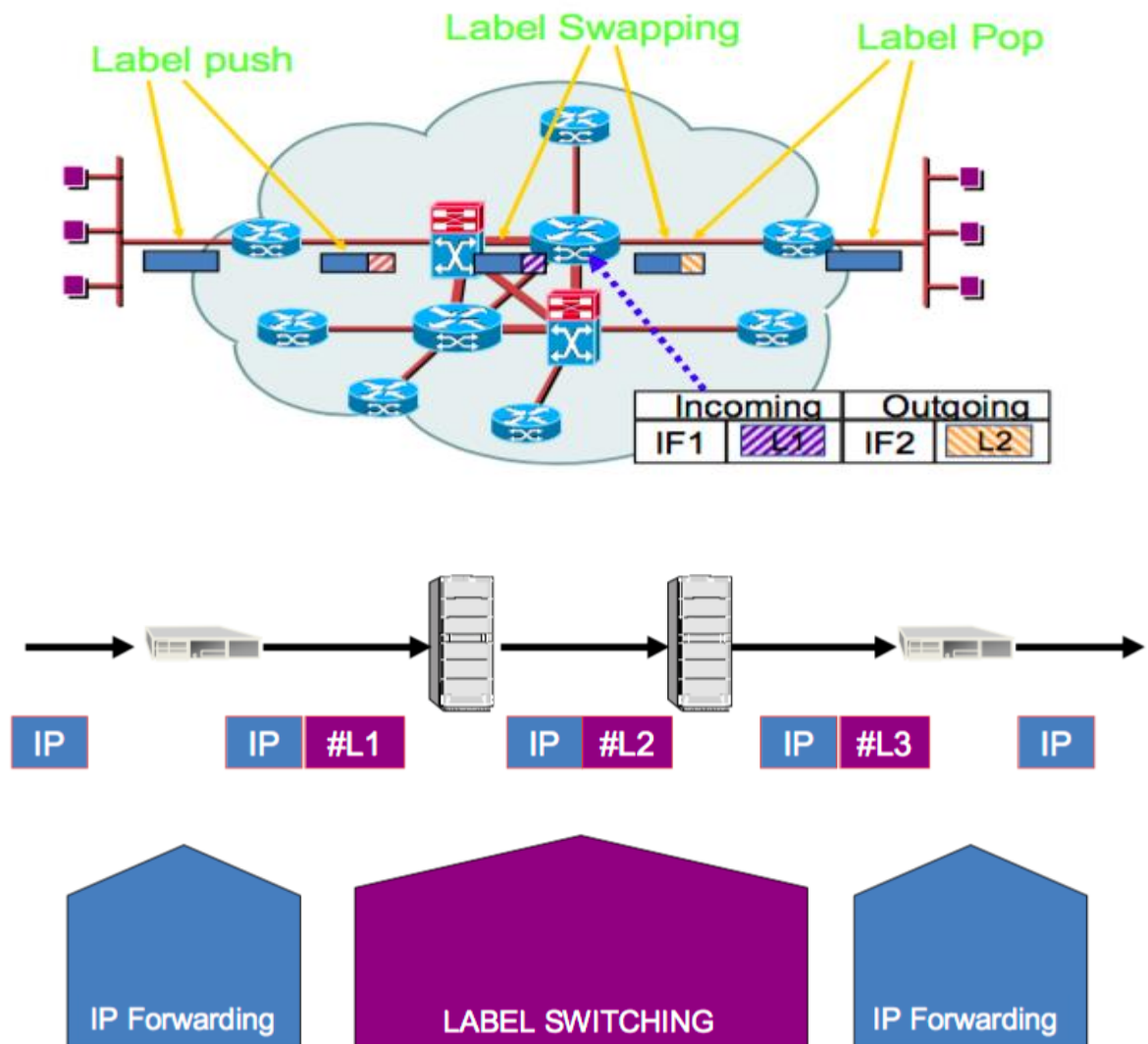
En este encapsulado se introduce una etiqueta de 4 bytes, que permite a los routers utilizar técnicas de conmutación. El utilizar el etiquetado por debajo de capa 3, permite que MPLS pueda funcionar independientemente del protocolo de capa 3 utilizado, de ahí lo de “multiprotocolo”. Esta arquitectura de etiquetado es flexible y permite anidar etiquetas, es decir, introducir una trama MPLS dentro de otra.

El objetivo de MPLS es separar la parte de encaminamiento (plano de control) de la parte de conmutación (plano de forwarding) en el reenvío de los paquetes, de forma que mientras la parte de encaminamiento es compleja y lenta (tiempos de convergencia, cálculo de rutas), se realiza independientemente de la parte de conmutación, que es rápida y simple.

MPLS es un protocolo para incrementar la velocidad y moldear los flujos de tráfico en una red. Permite a la mayoría de los paquetes ser enviados en la capa OSI 2 (Nivel de enlace) de forma preferente a que suban al nivel 3 (Nivel de Red). Cada paquete es etiquetado a la entrada de la red del proveedor de servicios por el router de ingreso. Todos los conmutadores de ruta subsiguientes ponen en marcha el reenvío de paquetes basándose en estas etiquetas (no miran la cabecera IP). Finalmente, el router de salida elimina las etiquetas y envía el paquete IP original hasta su destino final.

De forma muy simplificada, se podría decir que los routers inicialmente calculan todas las rutas (usando protocolos de routing IP) a los destinos y luego intercambiando etiquetas establecen los circuitos virtuales (llamado Label Switched Path, LSP) entre

cualquier origen y cualquier destino para empezar a conmutar. Las etiquetas introducidas a los paquetes cuando entran en la red MPLS están asociadas al LSP que seguirá el paquete en la red hacia un destino determinado y estas etiquetas se introducen en el paquete (label push), antes de la cabecera de capa 3. Las etiquetas que se añaden solo tienen significado local al nodo MPLS (el router) y van cambiando salto a salto (label swap). Así de esta manera, el paquete entra en la red (a través de los routers MPLS frontera) y se le añade una etiqueta según el LSP para su destino, el paquete es conmutado dentro de la red (a través de los routers MPLS internos) cambiando en cada salto la etiqueta y finalmente sale de la red MPLS (a través de los routers MPLS frontera) próximo al destino, quitándole la etiqueta (label pop).



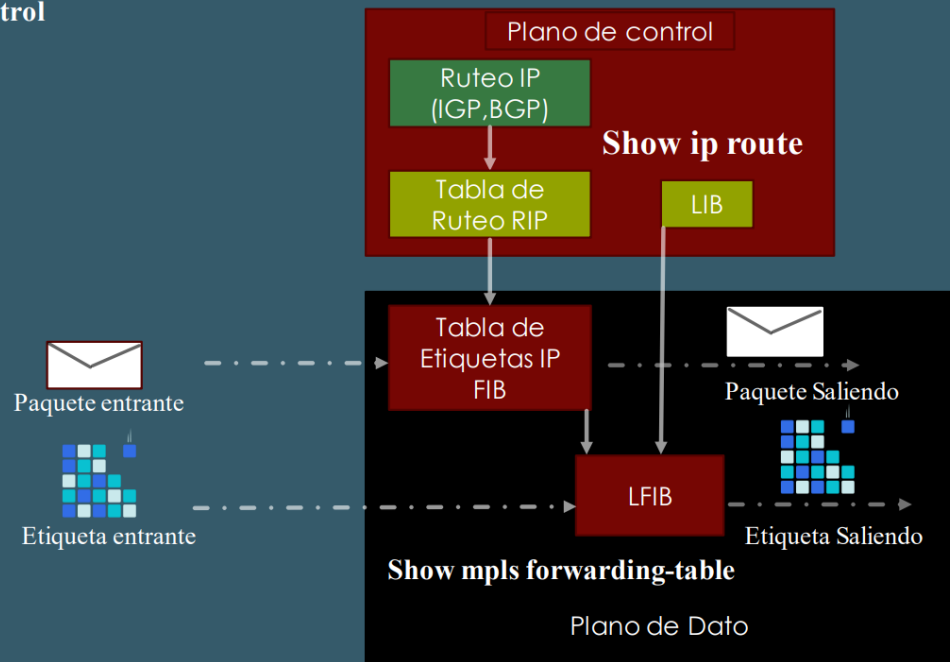
Las principales aplicaciones de MPLS son funciones de ingeniería de tráfico (a los flujos de cada usuario se les asocia una etiqueta diferente), routing basados en políticas (Policy Routing), servicios de VPN, servicios que requieren QoS, etc.

3. Terminología:

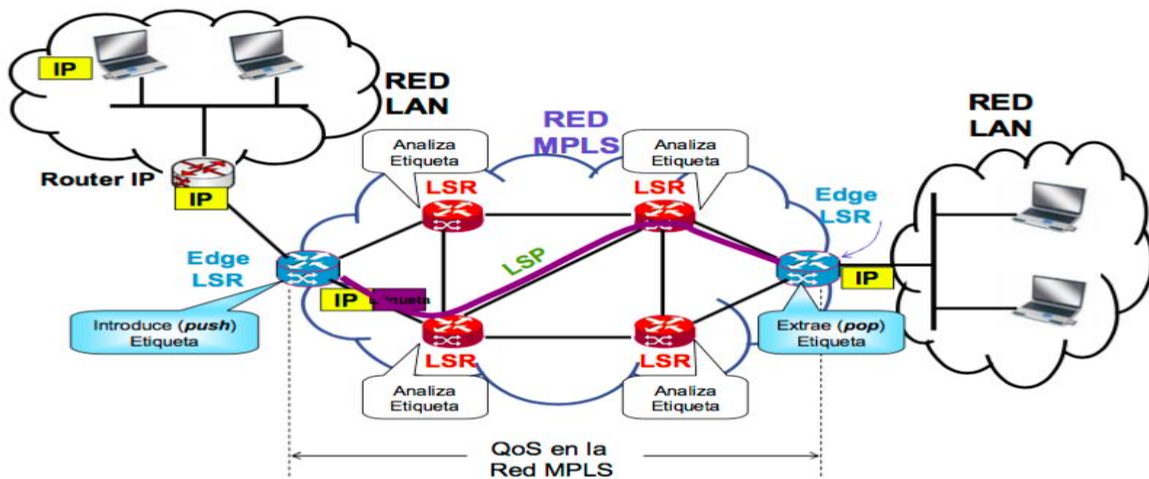
- *Forwarding Equivalence Class (FEC)*: conjunto de paquetes que entran en la red MPLS por la misma interfaz, que reciben la misma etiqueta y por tanto circulan por un mismo trayecto. Normalmente se trata de paquetes que pertenecen a un mismo flujo.
- *Label Switched Path (LSP)*: camino que siguen los paquetes que pertenecen a la misma FEC, es equivalente a un circuito virtual.
- *Label Switching Router (LSR)*: router que puede encaminar paquetes en función del valor de la etiqueta MPLS.
- *Label Distribution Protocol (LDP)*: protocolo utilizado para distribución de etiquetas MPLS.
- *Label Information Base (LIB)*: la tabla de etiquetas que manejan los LSR. Relaciona la pareja (interfaz de entrada - etiqueta de entrada) con (interfaz de salida - etiqueta de salida).
- *Forwarding Information Base (FIB)*: en pocas palabras es la tabla de rutas del router, pero con soporte hardware, basado en FEC. Esta tabla se actualiza automáticamente a petición de los protocolos de routing.
- *Label Forwarding Information Base (LFIB)*: es la tabla que asocia las etiquetas con los destinos o rutas de capa 3 y la interfaz de salida en el router, indicándole al router lo que tiene que hacer: poner o quitar etiqueta.
- *Penultimate Hop Popping (PHP)*: es una alternativa de entrega de trama MPLS al final del circuito virtual, para mejorar las prestaciones y el consumo de CPU. Consiste en quitar la etiqueta MPLS cuando se sabe que el siguiente router no necesita la etiqueta MPLS por estar la red directamente conectada a él o ser el final del circuito virtual. De esta forma, se evita hacer una doble búsqueda en dicho router, tanto en la tabla de LFIB y en la tabla de rutas.

Esquema de control

- IGP (OSPF)
- BGP (iBGP)

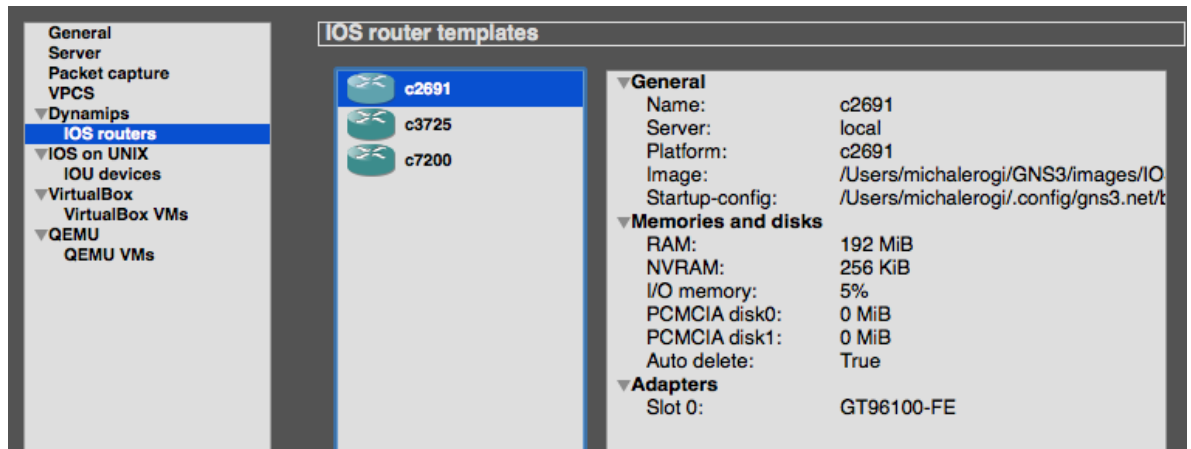


ESCENARIO DE UNA RED MPLS

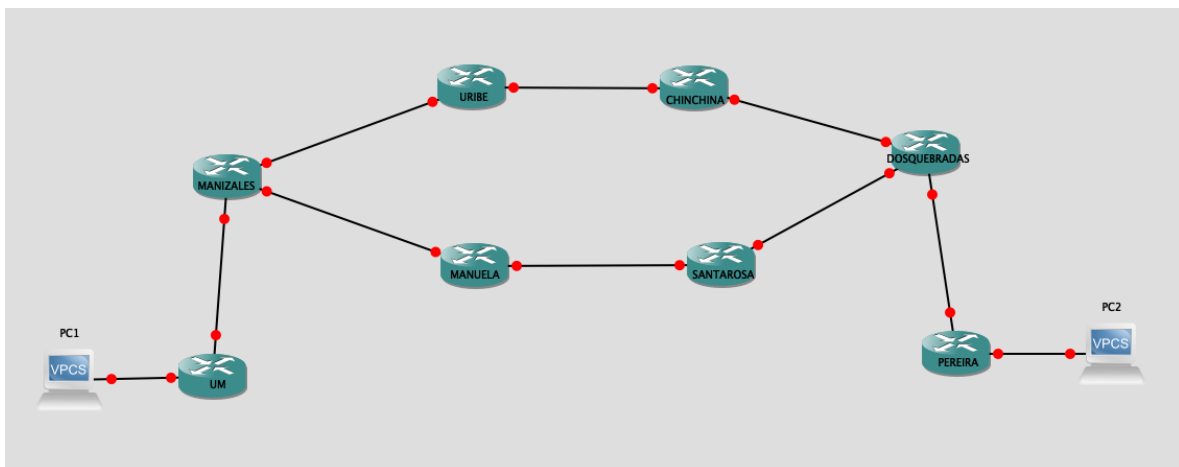


4. Montaje:

Vamos a utilizar el programa GNS3 y el Router C2691 o C3725



Luego vamos a ver el diagrama de conexión que vamos a realizar, este es un ejemplo, a cada persona se le asigna un diagrama de red diferente el cual es el que debe desarrollar.



Paso 1: Configuración del direccionamiento IP.

Lo primero es entrar al router, en modo configuración así:

```
MZL#configure terminal  
MZL(config)#
```

Luego ingresamos el direccionamiento IP en cada una de las interfaces:

```
MZL(config)#interface fastEthernet 0/0
```

“Ingresamos a una interfaz”

```
MZL(config-if)#
```

```
MZL(config-if)# ip address 10.0.0.1 255.255.255.252 "Direccion IP-Mascara"
```

```
MZL(config-if)#no shutdown "Encendemos la interfaz"
```

Realizamos las mismas configuraciones (Direccion IP, Mascara, encender la interfaz) con todos los router del diagrama de red

Luego lo realizamos sobre la interfaz de Loopback:

```
MZL(config)#interface loopback 0
```

```
MZL(config-if)#Ip address 1.1.1.1 255.255.255.255
```

Podemos verificar la configuración que acabamos de ingresar en el router con el siguiente comando:

```
MZL#show ip interface brief
```

Interface	IP-Address	OK?	Method	Status	Protocol
FastEthernet0/0	10.0.0.1	YES	manual	up	up
FastEthernet0/1	14.0.0.2	YES	manual	up	up
Loopback0	1.1.1.1	YES	manual	up	up

Aquí vemos las configuraciones realizadas sobre las interfaces, como también si están operativas o no.

Le damos guardar:

```
URIBE-MZL#write
```

Otra opción para guardar es:

```
copy running-config startup-config
```

Esta misma configuración se realiza en los demás routers de toda la red.

Paso 2: *Configurar OSPF en los routers de la red.*

Para que funcione MPLS se debe tener algún protocolo de enrutamiento dinámico, en este caso vamos a utilizar OSPF así:

Configurar OSPF en los routers de la red en el área 0, dado que los routers anunciaran solamente las subredes que tienen directamente conectadas.

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

```
MZL(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
```

Con ello podremos observar que se establecen las adyacencias y se anuncian las redes.

Se verifica la configuración

MZL#**show running-config**

```
:
interface Loopback0
 ip address 1.1.1.1 255.255.255.252
!
interface FastEthernet0/0
 ip address 10.0.0.1 255.255.255.252
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1
 ip address 14.0.0.2 255.255.255.252
 duplex auto
 speed auto
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
```

Paso 3: *Comprobación de la conectividad IP.*

Utilizando el comando “show ip route” podremos observar todas las redes anunciadas. Comprueba las tablas de routing en cada router. Destacar que las rutas directamente conectadas utilizan el código C y las de OSPF de O. Las interfaces de Loopback siempre se anuncian con /32. La información entre corchetes es [distancia administrativa, métrica], que en el caso de OSPF es 110 la distancia administrativa y la métrica se calcula como la suma de los costes de los enlaces hasta el destino. El coste de los enlaces es inversamente proporcional a su velocidad. Cada ruta además tiene asociada el siguiente salto, la antigüedad y la interfaz de salida.

MZL#show ip route

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

Gateway of last resort is not set

```
    1.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
C      1.1.1.0 is directly connected, Loopback0
    2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O      2.2.2.2 [110/2] via 10.0.0.2, 00:00:30, FastEthernet0/0
    3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O      3.3.3.3 [110/3] via 10.0.0.2, 00:00:30, FastEthernet0/0
    4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O      4.4.4.4 [110/4] via 10.0.0.2, 00:00:30, FastEthernet0/0
    10.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
C      10.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/0
    11.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
O      11.0.0.0 [110/2] via 10.0.0.2, 00:00:30, FastEthernet0/0
    12.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
O      12.0.0.0 [110/3] via 10.0.0.2, 00:00:32, FastEthernet0/0
    14.0.0.0/30 is subnetted, 2 subnets
O      14.4.4.0 [110/4] via 10.0.0.2, 00:00:32, FastEthernet0/0
C      14.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/1
```

Ahora podemos hacer por ejemplo un ping desde el router de URIBE-MZL a la interfaz de Loopback de BOSQUE-PEI así:

MZL#ping 4.4.4.4

```
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 4.4.4.4, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 32/50/72 ms
```

Hacer ping extendido a todas las interfaces y comprueba la conectividad IP. Comprueba que haya conectividad IP a todas las interfaces. Haz uso del ping extendido para modificar la IP origen de los paquetes IP del ping. El ping extendido se realiza tecleando "ping" sin especificar destino. Con ello el router nos preguntará toda la información para elaborar el paquete. Si no funcionara el ping, soluciona el problema analizando las conexiones y las configuraciones realizadas en cada uno de los routers.

Paso 4: *Habilitar MPLS en las interfaces físicas.*

Para habilitar MPLS en los routers, hay que indicar qué interfaces del router van a participar en este protocolo. Para ello iremos configurando en dichas interfaces del router el comando “mpls ip” de forma que indicamos al router que conmute en entrada y salida las tramas MPLS que reciba o envíe así como que detecte vecindades de routers MPLS con el protocolo de distribución de etiquetas.

Configurar MPLS en todas las interfaces físicas (no en las interfaces virtuales o de loopback) de los routers de la red MPLS.

```
MZL#configure terminal
MZL(config)#interface fastEthernet 0/0
MZL(config-if)#mpls ip
```

Configura el reenvío salto por salto MPLS en la interfaz.

Paso 5: *Verificar la configuración de MPLS.*

Para comprobar el funcionamiento de MPLS vamos a utilizar los comandos “show” disponibles para MPLS. Para ver de qué comandos disponemos utilizamos el comando “?” así:

```
MZL#show mpls ?
```

```
forwarding-table  Show the Label Forwarding Information Base (LFIB)
interfaces        Per-interface MPLS forwarding information
ip                MPLS IP information
label             Label information
ldp               Label Distribution Protocol information
static            Show MPLS static information
traffic-eng       Traffic engineering information
```

En primer lugar, para ver rápidamente las interfaces trabajando con MPLS ejecutaremos “**show mpls interfaces**” y saber qué protocolo de intercambio de etiquetas usan.

```
MZL#show mpls interfaces
```

Interface	IP	Tunnel	Operational
FastEthernet0/0	Yes (ldp)	No	Yes

show mpls ldp discovery para observar información de TDP (o LDP), como el identificador del router MPLS y los vecinos.

MZL#show mpls ldp discovery

```
Local LDP Identifier:
  1.1.1.1:0
Discovery Sources:
Interfaces:
  FastEthernet0/0 (ldp): xmit/rcv
    LDP Id: 2.2.2.2:0
```

show mpls ldp neighbor para detección de las adyacencias de TDP (o LDP) y el estado de las conexiones establecidas.

Hay que destacar que en cada router MPLS se utiliza como identificativo para hablar con sus vecinos, la IP más alta de sus propias interfaces de loopback y si no dispone de interfaces de loopback, de cualquier interfaz físico, al igual que pasa con otros protocolos como OSPF, BGP etc

URIBE-MZL#**show mpls ldp neighbor**

El siguiente ejemplo muestra que la sesión LDP entre los routers se estableció con éxito

```
Peer LDP Ident: 2.2.2.2:0; Local LDP Ident 1.1.1.1:0
TCP connection: 2.2.2.2.64742 - 1.1.1.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 15/15; Downstream
Up time: 00:04:01
LDP discovery sources:
  FastEthernet0/0, Src IP addr: 10.0.0.2
Addresses bound to peer LDP Ident:
  10.0.0.2      2.2.2.2      11.0.0.1
```

Paso 6: *Estudio de las tablas LIB y LFIB.*

Con la configuración introducida en el paso anterior, los routers actúan como Label Switch Routers (LSRs) y ejecutan TDP (o LDP). En cada LSRs, cada FEC (Forwarding Equivalence Class), en este caso cada entrada de la tabla de rutas, se le asigna una etiqueta MPLS y estas etiquetas se registran en la tabla LIB. *Estas etiquetas pueden variar cada vez que inicializamos el router.*

TDP (o LDP) automáticamente distribuyen las etiquetas locales a sus vecinos para ser utilizadas cuando mandan tráfico a un destino específico a través del LSR que anuncia las etiquetas. Una vez las etiquetas se han distribuido, la conmutación se realiza utilizando la Label Forwarding Information Base (LFIB) que almacena la etiqueta asignada por el LSR vecino, la interfaz por donde enviar la trama MPLS y la acción a realizar con la etiqueta añadida (ponerlas o quitarlas).

Para visualizar los datos de la LIB se utiliza el comando “**show mpls ldp bindings**”. Las asociaciones de etiquetas con los destinos de la tabla de rutas tienen significado local al router, es decir, las etiquetas asignadas por un LSR no tienen nada que ver con las asignadas por otro LSR al mismo destino.

Tabla LIB

MZL#**show mpls ldp bindings**

```
tib entry: 1.1.1.0/29, rev 4
    local binding: tag: imp-null
tib entry: 1.1.1.1/32, rev 12
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 16
tib entry: 2.2.2.0/29, rev 11
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: imp-null
tib entry: 2.2.2.2/32, rev 8
    local binding: tag: 16
tib entry: 3.3.3.3/32, rev 16
    local binding: tag: 19
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 19
tib entry: 4.4.4.4/32, rev 20
    local binding: tag: 21
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 21
tib entry: 10.0.0.0/30, rev 5
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: imp-null
tib entry: 11.0.0.0/30, rev 10
    local binding: tag: 17
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: imp-null
tib entry: 12.0.0.0/30, rev 14
    local binding: tag: 18
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 18
tib entry: 14.0.0.0/30, rev 6
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 17
tib entry: 14.4.4.0/30, rev 18
    local binding: tag: 20
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 20
```

Cuando la etiqueta o tag es “**implicit-NULL**” (“imp-null” en la salida del comando show show mpls ldp bindings) indica explícitamente que el paquete será reenviado con prefijo de red (IP) y no con etiqueta MPLS. Esta situación normalmente ocurre en las redes directamente conectadas. Además, el modo de entrega de las tramas MPLS en Cisco Systems sigue el funcionamiento PHP (Penultimate Hop Popping), que consiste en cuando el siguiente LSR ya tiene el destino directamente conectado, la entrega la realizan directamente sin etiqueta, es decir, directamente el paquete IP. Esto se realiza para evitar una consulta innecesaria en la tabla LIB en el LSR destino, cuando ya sabemos que el destino está conectado directamente a dicho LSR.

De la misma forma, la tabla LFIB se puede consultar con:

MZL#show mpls forwarding-table

Local tag	Outgoing tag or VC tag	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop tag	11.0.0.0/30	0	Fa0/0	10.0.0.2
17	17	12.0.0.0/30	0	Fa0/0	10.0.0.2
18	Untagged	2.2.2.2/32	0	Fa0/0	10.0.0.2
19	16	3.3.3.3/32	0	Fa0/0	10.0.0.2
20	20	14.4.4.0/30	0	Fa0/0	10.0.0.2

Vamos a utilizar el siguiente comando, para ver la tabla FIB

MZL#show ip cef

Prefix	Next Hop	Interface
0.0.0.0/0	drop	Null0 (default route handler entry)
0.0.0.0/32	receive	
1.1.1.0/29	attached	Loopback0
1.1.1.0/32	receive	
1.1.1.1/32	receive	
1.1.1.7/32	receive	
2.2.2.2/32	10.0.0.2	FastEthernet0/0
3.3.3.3/32	10.0.0.2	FastEthernet0/0
4.4.4.4/32	10.0.0.2	FastEthernet0/0
10.0.0.0/30	attached	FastEthernet0/0
10.0.0.0/32	receive	
10.0.0.1/32	receive	
10.0.0.2/32	10.0.0.2	FastEthernet0/0
10.0.0.3/32	receive	
11.0.0.0/30	10.0.0.2	FastEthernet0/0
12.0.0.0/30	10.0.0.2	FastEthernet0/0
14.0.0.0/30	attached	FastEthernet0/1
14.0.0.0/32	receive	
14.0.0.1/32	receive	
14.0.0.2/32	14.0.0.2	FastEthernet0/1
14.0.0.3/32	receive	
14.4.4.0/30	10.0.0.2	FastEthernet0/0
Prefix	Next Hop	Interface
224.0.0.0/4	drop	
224.0.0.0/24	receive	
255.255.255.255/32	receive	

CEF permite asociar una etiqueta, en el caso de IP la etiqueta es una dirección IP, con una interfaz de salida y con información de capa 2 del siguiente salto para el reenvío.

De ahí que Cisco Systems utilice esta tabla FIB para la implementación de MPLS cuando la etiqueta que se utiliza es la etiqueta de MPLS.

Comandos de Verificación:

Show mpls forwarding-table

Show ip cef

Show mpls forwarding-table labels (N° Etiqueta) detail

Show bgp ipv4 unicast labels

Show mpls ldp bindings

Show ip route

Show ip route ospf

Show ip route bgp

Show ip route (IP)

Show mpls discovery

Show mpls discovery detail

Show mpls interface

Show mpls ldp neighbor

Show mpls ldp neighbor (IP) detail

show mpls ip binding

Debug mpls ldp messages received

Debug mpls ldp bindings

clear mpls ldp forwarding