
Práctica 03: Protocolo Spanning Tree PVST+

Implementación de Per-VLAN Spanning Tree Plus para
Prevención de Bucles y Optimización de Tráfico

Uriel Felipe Vázquez Orozco, Euler Molina Martínez

Enero 25, 2026



Resumen Ejecutivo

Esta práctica documenta la implementación del protocolo Per-VLAN Spanning Tree Plus (PVST+) en una topología de red con múltiples switches Cisco. El objetivo es comprender los mecanismos de prevención de bucles de capa 2, la elección del Root Bridge, y la optimización del tráfico mediante la configuración de prioridades STP por VLAN.

Resultados: Se logró implementar una topología redundante con 7 switches y 1 router, donde la elección de Root Bridge se determinó mediante la manipulación de costos STP a través de diferentes velocidades de enlace (1 Gbps, 100 Mbps y 10 Mbps), aplicando PortFast y BPDU Guard en puertos de acceso, y verificando el comportamiento del protocolo ante cambios en la topología.

Identificación del Problema

En redes conmutadas con topologías redundantes, existe el riesgo de generar bucles de capa 2 que pueden provocar:

- **Tormentas de broadcast:** Saturación de la red por tramas circulando indefinidamente
- **Inestabilidad de tablas MAC:** Actualizaciones constantes por tramas duplicadas
- **Degrado del rendimiento:** Consumo excesivo de ancho de banda



Desafío: Implementar redundancia física manteniendo una topología lógica libre de bucles, con optimización de rutas diferenciada por VLAN.

Metodología Aplicada

Equipos utilizados:

- 7 Switches Cisco Catalyst 2960 con IOS 15.x
- 1 Router Cisco 2911 configurado como Router-on-Stick
- 2 PCs para pruebas de conectividad (VLAN 10 y VLAN 20)
- Packet Tracer como herramienta de simulación

Proceso:

1. **Diseño de topología:** Planificación de la red redundante con múltiples caminos y velocidades diferenciadas
2. **Configuración de VLANs:** Creación de VLANs 10, 20 y 99 (nativa)
3. **Configuración de enlaces trunk:** Establecimiento de trunks entre switches con diferentes velocidades
4. **Manipulación de costos STP:** Uso de cables de diferentes velocidades (1 Gbps, 100 Mbps, 10 Mbps) para influir en la elección de rutas

5. **Optimización de puertos:** Aplicación de PortFast y BPDU Guard en puertos de acceso
6. **Validación:** Verificación de convergencia y pruebas de failover

Topología de Red Implementada

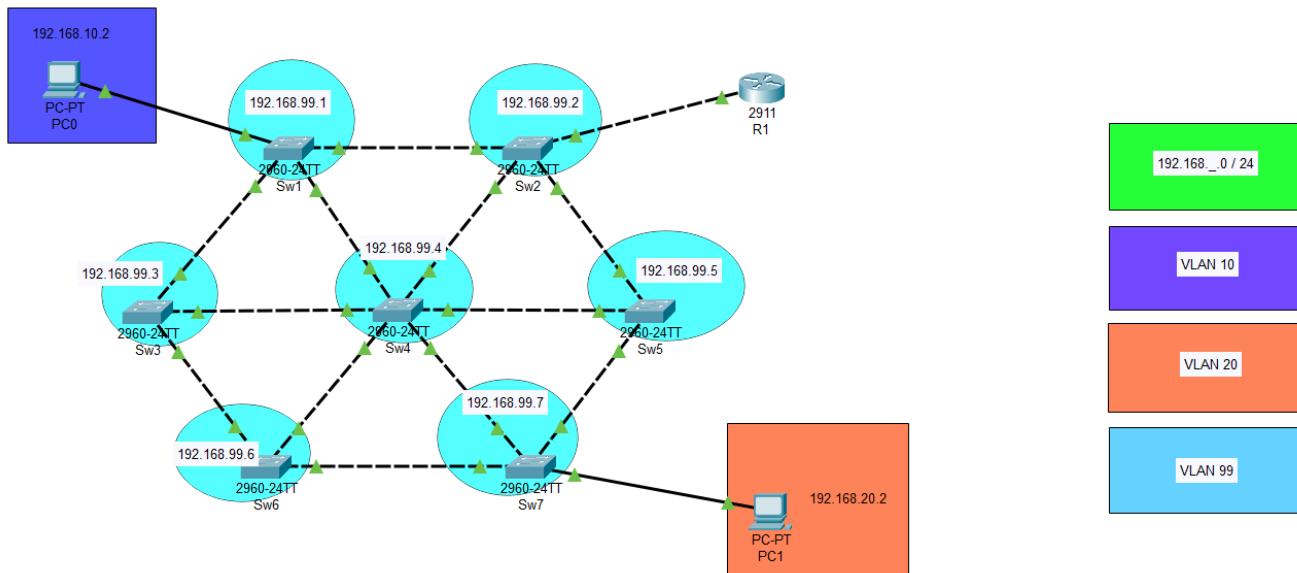


Figure 1: Topología de red PVST+ implementada

Configuración de direccionamiento:

Dispositivo	VLAN	Dirección IP	Rol en STP
R1	10/20/99	192.168.X.1/24	Gateway por VLAN
SW1	99	192.168.99.1/24	Root Bridge VLAN 10
SW2	99	192.168.99.2/24	Conexión a Router
SW3	99	192.168.99.3/24	Distribución
SW4	99	192.168.99.4/24	Núcleo
SW5	99	192.168.99.5/24	Distribución
SW6	99	192.168.99.6/24	Distribución
SW7	99	192.168.99.7/24	Root Bridge VLAN 20
PC-VLAN10	10	192.168.10.10/24	Host de pruebas
PC-VLAN20	20	192.168.20.10/24	Host de pruebas

Configuración de VLANs:

VLAN ID	Nombre	Propósito
10	Ventas	Tráfico de usuarios de ventas
20	Ingeniería	Tráfico de usuarios de ingeniería
99	Administración	Gestión de dispositivos (nativa)

Configuración Inicial

Configuración de VLANs en Todos los Switches

Cisco IOS Terminal

```
Switch> enable
Switch# configure terminal
Switch(config)# vlan 10
Switch(config-vlan)# name Ventas
Switch(config-vlan)# vlan 20
Switch(config-vlan)# name Ingenieria
Switch(config-vlan)# vlan 99
Switch(config-vlan)# name Administracion
Switch(config-vlan)# exit
```

Habilitación de PVST+

Cisco IOS Terminal

```
Switch(config)# spanning-tree mode pvst
Switch(config)# spanning-tree extend system-id
```

Nota: PVST+ es el modo predeterminado en switches Cisco y permite una instancia de Spanning Tree independiente para cada VLAN, optimizando las rutas de tráfico.

Desarrollo Detallado

Paso 1: Diseño de Topología con Velocidades Diferenciadas

La topología utiliza tres tipos de enlaces con diferentes velocidades para influir en los costos STP:

Mapa de enlaces por velocidad:

Color	Velocidad	Costo STP	Enlaces
Azul	1 Gbps	4	SW1-SW2, SW1-SW3, SW4-SW3, SW5-SW7, SW6-SW7, SW2-R1
Rojo	100 Mbps	19	SW2-SW4, SW4-SW5, SW4-SW7, SW7-PC_B, SW1-PC_A
Negro	10 Mbps	100	SW1-SW4, SW3-SW6, SW4-SW6, SW2-SW5



Concepto clave: En esta práctica NO se configuraron prioridades STP manualmente. La elección del Root Bridge se determina por la dirección MAC más baja (con prioridad predeterminada 32768), y las rutas óptimas se calculan basándose en los costos de los enlaces determinados por sus velocidades.

Paso 2: Configuración de Enlaces de Alta Velocidad (1 Gbps - Azul)

Los enlaces Gigabit Ethernet proporcionan el menor costo STP (4) y son preferidos para las rutas principales:

Cisco IOS Terminal

```
SW1(config)# interface GigabitEthernet0/1
SW1(config-if)# description Enlace a SW2 (1 Gbps - Azul)
SW1(config-if)# switchport trunk native vlan 99
SW1(config-if)# switchport trunk allowed vlan 10,20,99
SW1(config-if)# switchport mode trunk
SW1(config-if)# exit
```

Paso 3: Configuración de Enlaces de Media Velocidad (100 Mbps - Rojo)

Los enlaces FastEthernet a velocidad nativa proporcionan costo STP intermedio (19):

Cisco IOS Terminal

```
SW4(config)# interface FastEthernet0/2
SW4(config-if)# description Enlace a SW2 (100 Mbps - Rojo)
SW4(config-if)# switchport trunk native vlan 99
SW4(config-if)# switchport trunk allowed vlan 10,20,99
SW4(config-if)# switchport mode trunk
SW4(config-if)# exit
```

Paso 4: Configuración de Enlaces de Baja Velocidad (10 Mbps - Negro)

Los enlaces configurados a 10 Mbps proporcionan el mayor costo STP (100) y actúan como rutas de respaldo:

Cisco IOS Terminal

```
SW1(config)# interface FastEthernet0/2
SW1(config-if)# description Enlace a SW4 (10 Mbps - Negro)
SW1(config-if)# switchport trunk native vlan 99
SW1(config-if)# switchport trunk allowed vlan 10,20,99
SW1(config-if)# switchport mode trunk
SW1(config-if)# speed 10
SW1(config-if)# exit
```

Paso 5: Configuración de Puertos de Acceso con PortFast y BPDU Guard

En SW1 (puerto hacia PC-A en VLAN 10):

Cisco IOS Terminal

```
SW1(config)# interface FastEthernet0/1
SW1(config-if)# description Host PC-A VLAN 10 (100 Mbps - Rojo)
SW1(config-if)# switchport access vlan 10
SW1(config-if)# switchport mode access
SW1(config-if)# spanning-tree portfast
SW1(config-if)# spanning-tree bpduguard enable
SW1(config-if)# exit
```

En SW7 (puerto hacia PC-B en VLAN 20):

Cisco IOS Terminal

```
SW7(config)# interface FastEthernet0/1
SW7(config-if)# description Host PC-B VLAN 20 (100 Mbps - Rojo)
SW7(config-if)# switchport access vlan 20
SW7(config-if)# switchport mode access
SW7(config-if)# spanning-tree portfast
SW7(config-if)# spanning-tree bpduguard enable
SW7(config-if)# exit
```

⚠ PortFast: Permite que el puerto pase inmediatamente al estado Forwarding, evitando los estados Listening y Learning. Solo debe usarse en puertos de acceso conectados a dispositivos finales.

BPDU Guard: Deshabilita el puerto si recibe BPDUs, protegiendo contra conexiones no autorizadas de switches.

i Referencia de costos STP por velocidad:

Ancho de Banda	Costo STP	Uso en Topología
10 Mbps	100	Enlaces de respaldo (Negro)
100 Mbps	19	Enlaces secundarios (Rojo)
1 Gbps	4	Enlaces principales (Azul)
10 Gbps	2	No utilizado

Los enlaces de menor velocidad tienen mayor costo y son menos preferidos por STP, quedando como rutas de respaldo.

Paso 6: Configuración del Router-on-Stick (R1)

Cisco IOS Terminal

```
R1> enable
R1# configure terminal
R1(config)# hostname R1
R1(config)# interface GigabitEthernet0/0
R1(config-if)# no shutdown
R1(config-if)# exit
```

```
R1(config)# interface GigabitEthernet0/0.10
R1(config-subif)# description Gateway VLAN 10 - Ventas
R1(config-subif)# encapsulation dot1Q 10
R1(config-subif)# ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
R1(config-subif)# exit
R1(config)# interface GigabitEthernet0/0.20
R1(config-subif)# description Gateway VLAN 20 - Ingenieria
R1(config-subif)# encapsulation dot1Q 20
R1(config-subif)# ip address 192.168.20.1 255.255.255.0
R1(config-subif)# exit
R1(config)# interface GigabitEthernet0/0.99
R1(config-subif)# description Gateway VLAN 99 - Administracion
R1(config-subif)# encapsulation dot1Q 99 native
R1(config-subif)# ip address 192.168.99.254 255.255.255.0
R1(config-subif)# exit
R1(config)# end
R1# write memory
```

Validación y Pruebas

Verificación del Root Bridge por VLAN

En cualquier switch, verificar el estado de Spanning Tree:

```
Cisco IOS Terminal
SW1# show spanning-tree vlan 10
VLAN0010
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID Priority 32778
Address 0001.C7A8.1234
This bridge is the root
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Bridge ID Priority 32778 (priority 32768 sys-id-ext 10)
Address 0001.C7A8.1234
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Aging Time 300
```

Cisco IOS Terminal

```
SW7# show spanning-tree vlan 20
VLAN0020
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID Priority 32788
Address 0002.17FA.5678
This bridge is the root
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Bridge ID Priority 32788 (priority 32768 sys-id-ext 20)
Address 0002.17FA.5678
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Aging Time 300
```

i Nota: Los Root Bridges fueron elegidos automáticamente por STP basándose en la prioridad predeterminada (32768) y la dirección MAC más baja. No se configuraron prioridades manualmente.

✓ Validación exitosa: SW1 es Root Bridge para VLAN 10 y SW7 es Root Bridge para VLAN 20, determinados por sus direcciones MAC.

Verificación de Estados de Puertos**Cisco IOS Terminal**

```
SW4# show spanning-tree vlan 10 brief
VLAN0010
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID Priority 32778
Address 0001.C7A8.1234
```

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/1	Root	FWD	100	128.1	P2p (10 Mbps a SW1)
Fa0/2	Altn	BLK	19	128.2	P2p (100 Mbps a SW2)
Fa0/4	Altn	BLK	100	128.4	P2p (10 Mbps a SW6)
Gi0/1	Desg	FWD	4	128.25	P2p (1 Gbps a SW3)

Estados de puertos STP:

Estado	Descripción
FWD (Forwarding)	Puerto activo transmitiendo tráfico
BLK (Blocking)	Puerto bloqueado para prevenir bucles
LRN (Learning)	Aprendiendo direcciones MAC
LSN (Listening)	Escuchando BPDU

Verificación de Convergencia**Cisco IOS Terminal**

```
SW1# show spanning-tree summary
Switch is in pvst mode
Root bridge for: VLAN0010, VLAN0020, VLAN0099
Extended system ID is enabled
Portfast Default is disabled
PortFast BPDU Guard Default is disabled
```

Name	Blocking	Listening	Learning	Forwarding	STP Active
VLAN0010	0	0	0	3	3
VLAN0020	0	0	0	3	3
VLAN0099	0	0	0	3	3

Pruebas de Conectividad entre VLANs**Linux Terminal**

```
PC-VLAN10> ping 192.168.10.1
Pinging 192.168.10.1 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.10.1: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 192.168.10.1: bytes=32 time<1ms TTL=255
PC-VLAN10> ping 192.168.20.10
Pinging 192.168.20.10 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.20.10: bytes=32 time=1ms TTL=126
```

```
Reply from 192.168.20.10: bytes=32 time=1ms TTL=126
```

✓ **Conectividad verificada:** Los hosts en diferentes VLANs pueden comunicarse a través del router R1.

Prueba de Failover

Para probar la redundancia, desconectar un enlace y observar la reconvergencia:

Cisco IOS Terminal

```
SW4(config)# interface FastEthernet0/1
SW4(config-if)# shutdown
```

Observar los mensajes de consola:

Cisco IOS Terminal

```
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to down
%SPANTREE-2-TOPOLOGY_CHANGE: Topology change detected on port Fa0/1, VLAN 10
```

Verificar nuevo estado de Spanning Tree:

Cisco IOS Terminal

```
SW4# show spanning-tree vlan 10
! Rutas alternativas ahora activas
```

Problemas Encontrados y Soluciones

Problema: Convergencia Lenta Inicial

Descripción: Durante las primeras pruebas, los hosts tardaban aproximadamente 50 segundos en obtener conectividad después de conectarse.

Diagnóstico: Los puertos de acceso pasaban por todos los estados de STP (Blocking → Listening → Learning → Forwarding).

Solución aplicada: Implementación de PortFast en puertos de acceso:

Cisco IOS Terminal

```
Switch(config)# interface FastEthernet0/1
Switch(config-if)# spanning-tree portfast
```

Problema: Rutas Subóptimas por Costos de Enlace

Descripción: Inicialmente, algunos switches elegían rutas a través de enlaces de 10 Mbps en lugar de rutas más rápidas disponibles.

Diagnóstico: La topología física creaba situaciones donde el primer enlace descubierto no era el de menor costo.

Solución aplicada: Verificación de la convergencia STP y espera del tiempo necesario para que todos los switches calculen las rutas óptimas basándose en los costos reales de los enlaces:

Cisco IOS Terminal

```
Switch# show spanning-tree vlan 10
! Verificar que los puertos Root apunten hacia enlaces de mayor velocidad
! Los puertos hacia enlaces de 10 Mbps deben quedar en estado Blocking o Alternate
```

Problema: BPDU Recibido en Puerto PortFast

Descripción: Un puerto configurado con PortFast entró en estado err-disabled después de recibir un BPDU.

Diagnóstico: Se conectó temporalmente un switch adicional al puerto de acceso, activando BPDU Guard.

Solución aplicada: Recuperación del puerto y documentación del comportamiento esperado:

Cisco IOS Terminal

```
Switch(config)# interface FastEthernet0/1
Switch(config-if)# shutdown
Switch(config-if)# no shutdown
```



Nota: Este comportamiento es el esperado y deseado para BPDU Guard, protegiendo la red contra bucles accidentales.

Experiencia Adquirida

Conocimientos Técnicos Clave

Funcionamiento de PVST+

- Cada VLAN mantiene su propia instancia de Spanning Tree
- Permite optimización de rutas diferenciada por VLAN
- Mayor uso de CPU y memoria comparado con MST

Elección del Root Bridge

El Root Bridge se selecciona basándose en:

1. **Prioridad más baja** (predeterminada 32768, configurable en múltiplos de 4096)
2. **Dirección MAC más baja** (desempate cuando las prioridades son iguales)

i **En esta práctica:** No se modificaron las prioridades. Los Root Bridges fueron elegidos automáticamente por tener la dirección MAC más baja entre los switches con prioridad predeterminada.

Cálculo de Rutas

Los switches calculan la ruta óptima al Root basándose en:

1. Menor costo acumulado al Root Bridge
2. Menor Bridge ID del switch vecino (desempate)
3. Menor Port ID (desempate final)

Comandos Cisco IOS Críticos

Cisco IOS Terminal

```
! Verificación de Spanning Tree
Switch# show spanning-tree
Switch# show spanning-tree vlan 10
Switch# show spanning-tree summary
Switch# show spanning-tree interface FastEthernet0/1
! Verificación de velocidad y costo de interfaces
Switch# show interfaces FastEthernet0/1 status
Switch# show spanning-tree interface FastEthernet0/1 detail
```

```
! Configuración de velocidad para manipular costos
Switch(config-if)# speed 10
Switch(config-if)# speed 100
Switch(config-if)# speed auto
! Optimización de puertos de acceso
Switch(config-if)# spanning-tree portfast
Switch(config-if)# spanning-tree bpduguard enable
! Debug (usar con precaución)
Switch# debug spanning-tree events
```

Lecciones Aprendidas

Planificación de Root Bridge

Es fundamental planificar qué switches serán Root Bridge para cada VLAN, considerando:

- Ubicación física en la topología
- Capacidad del equipo
- Patrones de tráfico esperados

Protección de Puertos de Acceso

Siempre configurar PortFast y BPDU Guard en puertos de acceso para:

- Acelerar la convergencia para dispositivos finales
- Proteger contra conexiones no autorizadas de switches

Documentación de Topología

Mantener documentación actualizada de:

- Roles STP de cada switch por VLAN
- Estados de puertos esperados
- Rutas primarias y alternativas

Exploración de Aplicaciones y Sugerencias

Recursos y Referencias Utilizados

Documentación Técnica Oficial

Cisco Systems

- **Cisco Catalyst 2960-X Series Switches Configuration Guide** - Chapter: “Configuring Spanning Tree Protocol”
- **Understanding and Configuring Spanning Tree Protocol** - Cisco White Paper
- **Per-VLAN Spanning Tree Plus (PVST+) Design Guide** - Cisco Design Zone

Estándares IEEE

- **IEEE 802.1D-2004:** “MAC Bridges” - Especificación original de STP
- **IEEE 802.1w-2001:** “Rapid Spanning Tree Protocol” - Mejoras de convergencia
- **IEEE 802.1s-2002:** “Multiple Spanning Tree Protocol” - MST

Configuraciones de Referencia

Archivos de Configuración

Los archivos de configuración de esta práctica se encuentran en el directorio configs/:

- **R1-final-v1.cfg:** Configuración del router con subinterfaces para inter-VLAN routing
- **SW1-final-v1.cfg:** Switch configurado como Root Bridge para VLAN 10
- **SW2-final-v1.cfg:** Switch de conexión al router
- **SW3-final-v1.cfg:** Switch de distribución
- **SW4-final-v1.cfg:** Switch de núcleo
- **SW5-final-v1.cfg:** Switch de distribución
- **SW6-final-v1.cfg:** Switch de distribución
- **SW7-final-v1.cfg:** Switch configurado como Root Bridge para VLAN 20

Recursos en Línea

Laboratorios Virtuales

- **Cisco Packet Tracer** - Simulador oficial de Cisco
- **Archivo de topología:** topologies/topology-pvst.pkt

Documento: Práctica 03 - Spanning Tree PVST+

Fecha: Enero 25, 2026

Autores: Uriel Felipe Vázquez Orozco, Euler Molina Martínez

Materia: Redes de Computadoras 2

Profesor: M.C. Manuel Eduardo Sánchez Solchaga