

---

# **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:

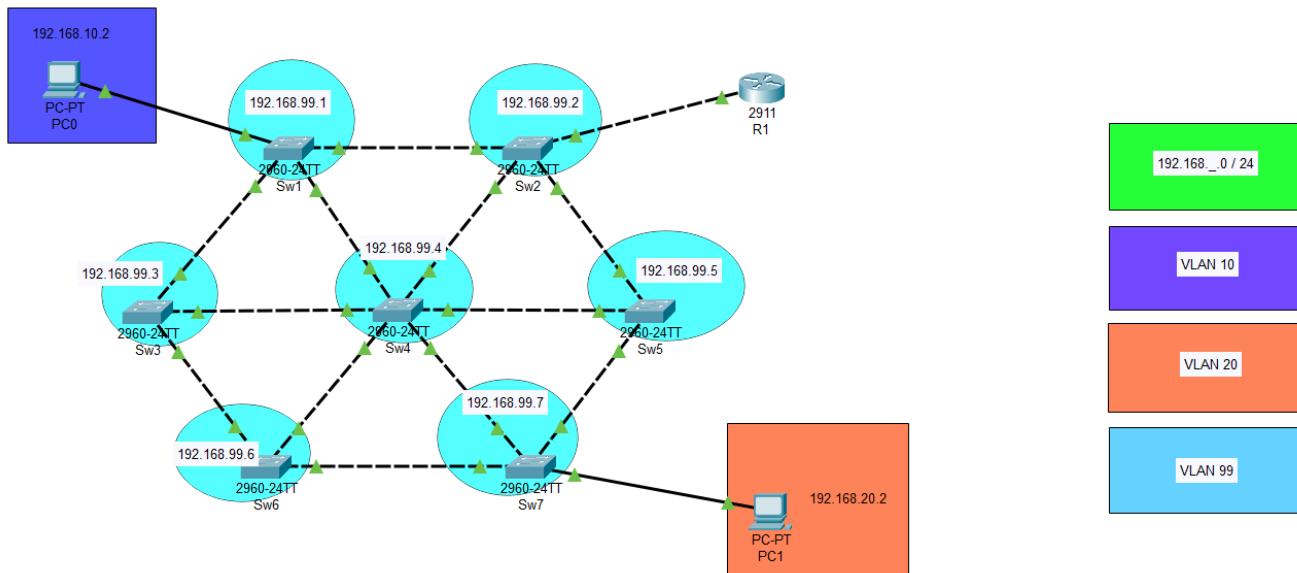
- 7 Switches Cisco Catalyst 2960 con IOS 15.x
- 1 Router Cisco 2911 configurado como Router-on-Stick
- 2 PCs para pruebas de conectividad (VLAN 10 y VLAN 20)
- Packet Tracer como herramienta de simulación

### 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