

Spanning Tree Protocol (STP)

Segunda Parte



Antes de Imprimir este documento
considere si es necesario
Ayudemos al Ambiente !!!!

Universidad San Carlos de Guatemala
— **DANILO ESCOBAR** —

STP

▶ *Rapid Spanning Tree (RSTP)*

Seguido de una serie de mejoras propietarias al estándar original finalmente emergió, en el año 2001, un nuevo estándar abierto llamado 802.1W, una implementación más moderna de STP con un tiempo de convergencia mucho menor al del original por lo que recibió el nombre de *Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)*.

Esta nueva implementación es mucho más proactiva que la tradicional, permitiendo a los *switches* negociar activamente con sus vecinos en lugar de esperar pasivamente.

RSTP es retrocompatible con el protocolo original por lo que pueden trabajar juntos en una red (Aunque se perderían las ventajas de RSTP) llegando en ciertos tipos de enlace a comportarse de la misma manera.

» *Bridge protocol data units (BPDUs)*

En STP, se utilizaban dos tipos de BPDUs, el de configuración y el de notificación de cambio de topología. Los BPDUs de configuración eran generados exclusivamente por el *switch* raíz para ser reenviados por todos los demás dispositivos. De la misma manera el *switch* raíz era el único capaz de indicar a los demás *switches* que debían renovar su base de datos de direcciones MAC para adaptarse a un cambio en la red.

En RSTP por otra parte se utiliza un solo BPDU para cumplir las dos funciones mencionadas anteriormente, permitiéndose que se generen en todos los *switches* con lo que los cambios son asimilados más rápidamente, además de servir para la detección de fallos (Si se pierde 3 BPDUs del vecino esto significa que este ha fallado). Con un número de versión de 2 para distinguirlo de otras implementaciones (STP tradicional utiliza el número 0), posee la misma estructura que el original para hacerlo compatible con versiones anteriores, utilizando campos antes no utilizados para transmitir nueva información y permitir negociaciones entre dispositivos vecinos.

STP

» Estados y roles de los puertos

Para lograr una convergencia más rápida, RSTP separa completamente el estado de los puertos de los roles que estos desempeñan, siendo asignado primero el rol (Ahora incluido dentro del BPDU) para luego determinar su estado.

RSTP reconoce los siguientes roles:

- Puerto Raíz (*Root Port*): Con un funcionamiento idéntico al estándar original.
- Puerto Designado (*Designated Port*): Con un funcionamiento idéntico al estándar original.
- Puerto Alternativo (*Alternate Port*): Un puerto de respaldo que provee una ruta alternativa al *switch* raíz que será utilizada en caso que la ruta a través del puerto raíz deje de estar disponible.
- Puerto de Respaldo (*Backup Port*): Un puerto de respaldo que provee un enlace alternativo dentro de un mismo segmento de red, para ser utilizada en caso el puerto designado falle.

Y utiliza los siguientes estados:

- Descartando (*Discarding*): En este estado el puerto no es capaz de enviar o recibir información ni de aprender direcciones MAC. Recibe y procesa BPDUs y dependiendo del rol asignado también podría enviarlas. Esta fase combina los estados *Disabled*, *Blocking* y *Listening* del estándar original.
- Aprendiendo (*Learning*): En esta fase no se puede enviar o recibir información, pero si se puede aprender direcciones MAC.
- Transmitiendo (*Forwarding*): El puerto es completamente operacional.

La combinación de rol y estado para un puerto que acaba de encenderse es *Designated Discarding*.

Estos roles son los utilizados dentro del Cisco IOS para mostrar la función de los puertos, inclusive en las implementaciones de *Spanning Tree tradicional*, otro punto que es fuente de confusión.

STP

» Tipos de Enlace

RSTP introduce el concepto de los tipos de enlace, de los cuales dependerá su operación.

RSTP reconoce los siguientes roles:

- Enlace punto a punto (*Point-to-point link*): Un enlace que conecta directamente a dos dispositivos ejecutando RSTP y que pueden aprovechar todas sus mejoras.
- Enlace compartido (*Shared Link*): Un enlace hacia un segmento compartido, donde RSTP revertirá su funcionamiento al del estándar original.

» Elección del switch raíz y el rol de cada puerto en Rapid Spanning Tree

La elección del *switch* y el puerto raíz siguen exactamente los mismos criterios y son considerados en la misma secuencia que en el estándar original.

La única diferencia radica en el costo de la ruta (*Path Cost*), costo asignado a cada interfaz en base a su velocidad, ya que al ser un estándar más moderno presenta nuevas recomendaciones acerca del valor que debe dársele a los mismos, utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Costo} = \frac{20 \text{ Terabit/s}}{\text{ancho de banda}}$$

Fórmula utilizada por el estándar 802.1W para determinar el costo asociado a una interfaz a partir de su velocidad.

Una comparativa entre los valores utilizados en el estándar original y el nuevo se presenta acto seguido.

		802.1D-1998	802.1W
Velocidad del puerto		Costo	Costo
<i>Ethernet</i>	10 Mbps	100	2,000,000
<i>FastEthernet</i>	100 Mbps	19	200,000
<i>GigabitEthernet</i>	1 Gbps	4	20,000
<i>10-GigabitEthernet</i>	10 Gbps	2	2,000

Comparación de los costos utilizados por STP y RSTP.

Para determinar los roles de cada uno de los puertos se realiza una negociación entre dispositivos vecinos llevando la red a converger de una manera progresiva.

Una explicación detallada de este proceso se encuentra fuera del alcance de este trabajo.

STP

» Edge

Es la solución estandarizada para el problema de los puertos que deben ser conectados a dispositivos finales. Presenta la misma funcionalidad que *Portfast*.

» Relación entre VLANs y *Spanning Tree*

Existe una profunda relación entre las VLANs existentes en una topología y el funcionamiento de *Spanning Tree*. Si bien este último fue creado primero, con el posterior advenimiento de las VLANs y su masiva adopción estas dos tecnologías se volvieron inseparables, al punto que hoy la funcionalidad de ambas está definida en solo estándar (802.1Q).

De esta manera las implementaciones de *Spanning Tree*, tanto de STP tradicional como de *Rapid STP*, son clasificadas en función de su interacción con las VLANs, existiendo estándares abiertos como *Mono Spanning Tree (MST)* y *Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP)* y soluciones propietarias como *Per VLAN Spanning Tree Protocol Plus (PVSTP+)* y *Rapid PVST+ (RPVST+)* en el caso de Cisco, siendo estas examinadas más adelante.

» Ajustes

Para acomodar el creciente número de puertos y VLANs disponibles dentro de cada dispositivo hubo la necesidad de realizar ciertos ajustes en las disposiciones originales, siendo uno de ellos llamado reducción de direcciones MAC (*MAC address reduction*).

Como se recordará cada *switch* posee un identificador único dentro la topología llamado *bridge ID*, un campo de 64 *bits* que estaba compuesto por la prioridad asignada al dispositivo (16 *bits*) y su dirección MAC (48 *bits*). Con la introducción de las VLANs se debía asignar un *bridge ID* único a cada una de ellas, razón por la cual los *switches* eran fabricados junto con un grupo de direcciones MAC únicas a cada uno para poder disponer de una por cada VLAN que pudieran llegar a configurarse. Al aumentar el número de VLANs potenciales se hizo evidente que ese modelo no era sostenible ya que requería que cada dispositivo tuviera a su disposición miles de direcciones MAC irrepetibles.

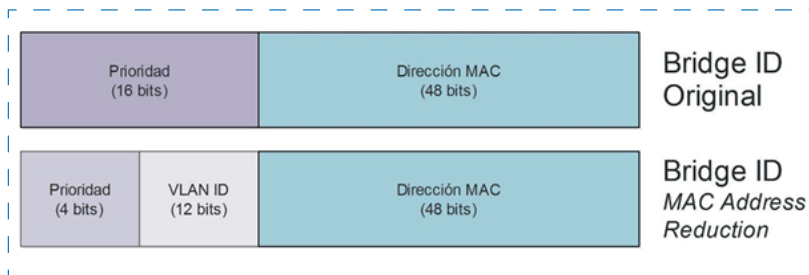
Se hizo entonces necesario encontrar una manera que redujera la cantidad de direcciones MAC necesarias (De ahí el nombre), al mismo tiempo de ofrecer un *bridge ID* único a cada VLAN y mantener su tamaño original.

STP

La solución fue utilizar la misma dirección MAC para todas las VLANs introduciendo el identificador de cada VLAN a manera que el *bridge ID* sea único para cada una de estas.

A manera de agregar esta nueva información y mantener el tamaño del campo original dentro del BPDU, se tomaron 12 bits pertenecientes originalmente a la prioridad, razón por la cual esta solo puede configurarse en incrementos de 4096 (Por el corrimiento de los 12 bits) en un rango de 0 a 61440.

Debido a esta modificación la prioridad de un *switch* se presenta ante los demás dispositivos como la sumatoria de la parte configurable de la misma y el identificador de la VLAN. A manera de ejemplo, si se tiene el valor asignado por defecto (32768) y la VLAN 10, la adición de estos valores resultará en una prioridad de 32778.



Comparación entre el bridge ID original y el que implementa MAC address reduction.

Un proceso similar fue llevado a cabo para aumentar el número disponible para identificar interfaces al modificar el campo perteneciente al identificador del puerto (*Port ID*) de donde se tomaron 4 bits (de los 8 bits originales) por lo que solo admite incrementos de 16.

Otro ajuste del que hay que hablar está a discreción del usuario y está relacionado con el costo de la ruta (*Path Cost*) asignado a cada puerto. Como fue mencionado previamente dicho costo es asignado en base a dos fórmulas diferentes, la primera de ellas con un tamaño de 16 bits utilizada con el estándar 802.1D y conocida como el modo corto (*short mode*) y la segunda con un tamaño de 32 bits definida en el estándar 802.1w conocida como el modo largo (*long mode*). Una comparación entre las dos escalas es reproducida nuevamente por conveniencia.

		802.1D-1998	802.1W
Velocidad del puerto		Costo	Costo
FastEthernet	100 Mbps	19	200,000
10-GigabitEthernet	10 Gbps	2	2,000

Comparación entre las escalas de 16 y 32 bits de largo.

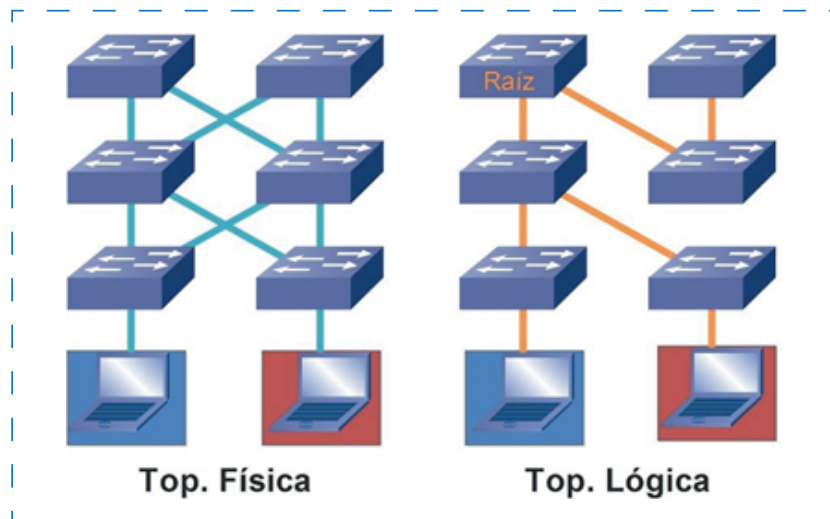
De las implementaciones mencionadas anteriormente tanto PVST+ como RPVST+ utilizan por defecto el short mode, mientras que MSTP siempre utiliza el long mode. Este comportamiento puede cambiarse, de ser necesario para PVST+ y RPVST+ con el siguiente comando.

```
switch(config)# spanning-tree pathcost method long
```

STP

» Mono Spanning Tree (MST)

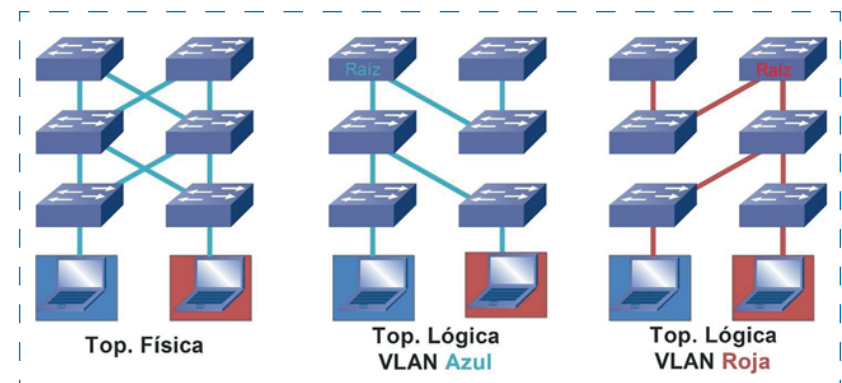
Definida en el estándar 802.1Q, establece una sola instancia de *Spanning Tree* para ser compartida por todas las VLANs. Esto implica que solo una topología lógica es posible, por lo que ciertos enlaces y equipos redundantes nunca serán utilizados, siendo esta su principal desventaja.



Con MST todas las VLANs comparten una sola instancia de Spanning Tree

» Per VLAN Spanning Tree Plus (PVST+)

Es la implementación del algoritmo original de *Spanning Tree* que se ejecuta por defecto en la mayoría de las plataformas Cisco. Permite ejecutar una instancia de STP por cada VLAN, lo que permite una distribución artificial del tráfico de la red (provista la configuración correcta) para aprovechar de mejor manera los enlaces y dispositivos disponibles.



PVST+ ejecuta una instancia de STP por cada VLAN.

STP

Al tener varias instancias de STP, la mayoría de instrucciones relacionadas requiere ingresar las VLANs que serán afectadas, como se muestra a continuación:

Para configurar la prioridad de una instancia de STP y afectar la elección del *switch* raíz es posible emplear la siguiente instrucción

```
Switch(config)# spanning-tree vlan ?  
WORD vlan range, example: 1,3-5,7,9-11  
  
Switch(config)# spanning-tree vlan 1 priority 4096
```

Para modificar el *path cost* asignado a un puerto, puede utilizarse el siguiente comando.

```
Switch(config)# interface fastethernet 0/1  
Switch(config-if)# spanning-tree vlan 1 cost ?  
  
<1-65535> Change an interface's per VLAN spanning tree path cost
```

Para cambiar la prioridad de un puerto se usa la siguiente configuración.

```
Switch(config)# interface fastethernet 0/1  
Switch(config-if)# spanning-tree vlan 1 port-priority ?  
<0-240> port priority in increments of 16  
  
Switch(config-if)# spanning-tree vlan 1 port-priority 128
```

Para habilitar Portfast puede hacerse de manera global en todos los puertos configurados en modo de acceso, con la siguiente instrucción.

```
Switch(config)# spanning-tree portfast default
```

O individualmente en cada interfaz, en cuyo caso desplegará una advertencia pidiendo precaución al usuario.

```
Switch(config)# interface fastethernet 0/1  
Switch(config-if)# spanning-tree portfast  
  
%Warning: portfast should only be enabled on ports connected to a  
single  
host. Connecting hubs, concentrators, switches, bridges, etc... to this  
interface when portfast is enabled, can cause temporary bridging  
loops.  
Use with CAUTION  
  
%Portfast has been configured on FastEthernet0/1 but will only  
have effect when the interface is in a non-trunking mode.
```

Para mostrar el identificador tanto del switch raíz como del dispositivo, prioridades, roles de los puertos estado de las interfaces y el modo que se está utilizando como base (STP tradicional o RSTP).

STP

```
Switch# show spanning-tree
VLAN0001          !! Instancia de STP para la VLAN 1
Spanning tree enabled protocol ieee !! Indica que se está ejecutando PVST+
Root ID  Priority  32769
  Address  000B.BEE3.1DE7
This bridge is the root !! Indica que este dispositivo es el switch raíz para la VLAN 1
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
```

```
Bridge ID Priority 32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
  Address  000B.BEE3.1DE7
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Aging Time 20
```

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/1	Desg	FWD	19	128.1	P2p

```
VLAN0010          !! Instancia de STP para la VLAN 10
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID  Priority  32778
  Address  000B.BEE3.1DE7
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  000B.BEE3.1DE7
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Aging Time 20
```

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/1	Desg	FWD	19	128.1	P2p



STP

» Rapid Per VLAN Spanning Tree Plus (RPVST+)

Es la implementación de Cisco del algoritmo de Rapid Spanning Tree, presenta una instancia de STP por cada VLAN y es el protocolo activo por defecto en las plataformas más modernas. Con un tiempo de convergencia menor que PVST+ puede habilitarse, en los dispositivos que no lo estén ejecutando, con el siguiente comando.

```
Switch(config)# spanning-tree mode rapid-pvst
```

Al ejecutar nuevamente la instrucción `show spanning tree` es posible corroborar que este es el protocolo que se está utilizando,

```
Switch# show spanning-tree
VLAN0001
Spanning tree enabled protocol rstp
Root ID Priority 32769
Address 000B.BEE3.1DE7
This bridge is the root
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec

Bridge ID Priority 32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
Address 000B.BEE3.1DE7
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Aging Time 20
```

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/1	Desg	FWD	19	128.1	P2p

Las instrucciones para configurar RPVST+ son las mismas utilizadas por su antecesor y los puertos edge son configurados usando la misma instrucción que los puertos *Portfast*.

» Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP)

Los dispositivos que ejecutan una instancia de *Spanning Tree* por cada VLAN pueden experimentar problemas con el consumo de recursos a medida que el número de estas últimas aumentan.

Para limitar el consumo de recursos y mantener las ventajas introducidas por protocolos como PVST+, se creó *Multiple Spanning Tree Protocol* (MSTP). Definida en un inicio en el estándar 802.1s, es hoy en día también parte del estándar 802.1Q.

MST permite agrupar un número arbitrario de VLANs dentro de una sola instancia de este protocolo, el cual es una extensión de *Rapid Spanning Tree*.

Una discusión detallada de MST se encuentra fuera de los límites de este trabajo.

STP

► Modelo jerárquico de tres capas de Cisco

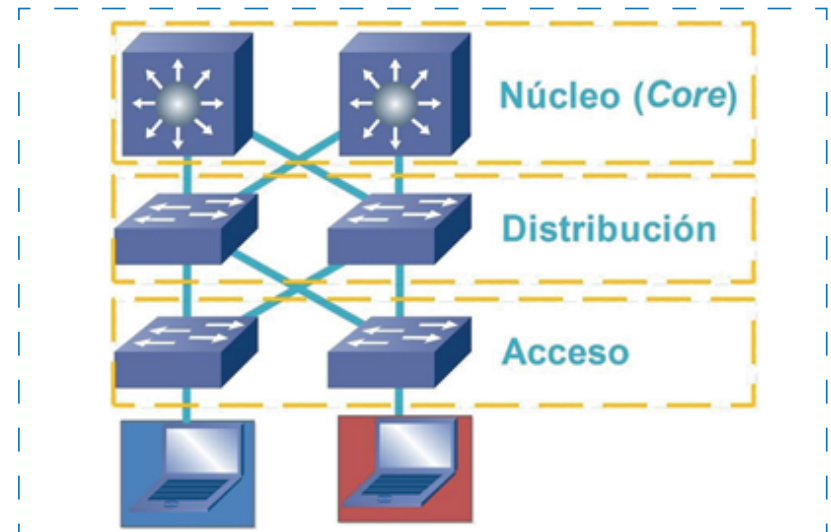
Un diseño apropiado es crítico para el correcto funcionamiento de la red, siendo este un proceso complejo donde es necesario documentar y tener en cuenta requerimientos, suposiciones, capacidad, crecimiento futuro de la misma, entre muchas otras consideraciones.

Para ayudar con esta tarea existen varios marcos de referencia, siendo uno de los más básicos, el modelo jerárquico de tres capas de Cisco.

Como su nombre lo indica dicho modelo tiene 3 capas, cada una con las siguientes características:

- Capa de acceso (*Access layer*): La capa donde se conectan los dispositivos finales a la red. Deben ser baratos y tener disponible una gran cantidad de puertos.
- Capa de distribución (*Distribution layer*): En esta capa se agrupan todos los *switches* de la capa de acceso por lo que tiene que ser capaz de manejar el tráfico combinado de todos estos.

- Capa de núcleo (*Core layer*): El núcleo de la topología, encargada de transmitir la información de la manera más rápida posible entre distintas partes de la infraestructura local y hacia otras redes.

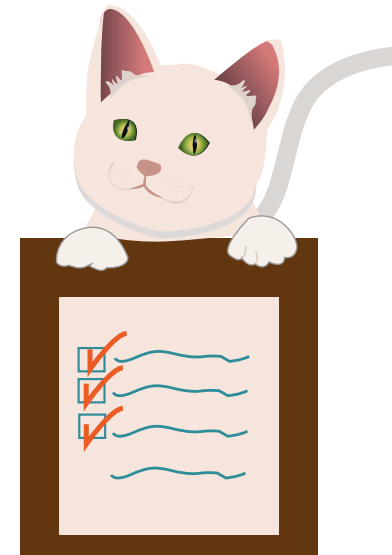


Modelo jerárquico de tres capas.

STP

Recomendaciones al incluir Spanning Tree dentro del diseño de una red

- Si se trata de una nueva instalación, deben considerarse otras alternativas a STP para lograr la redundancia deseada ya que es un protocolo muy antiguo, en caso no sea posible debe tratar de reducirse lo más que se pueda el dominio de cada instancia de *Spanning Tree*, tratando inclusive de limitarlo a la capa de acceso del diseño.
- Se desaconseja el uso de VLANs que abarquen toda la infraestructura, siendo recomendado en su lugar, emplear VLANs más pequeñas geográficamente, limitadas por ejemplo, a un edificio en particular. Esta medida segmenta los dominios de *broadcast* y hace más fácil la localización de problemas dentro de la topología.
- La elección de *switch* raíz nunca debe dejarse al azar. Debe configurarse un *switch* raíz, así como un *switch* raíz de respaldo y deben ser colocados lo más cerca posible, o directamente en el núcleo (*Core*) de la topología, para evitar que el tráfico atravesase por rutas subóptimas.
- La documentación de la red es esencial. Se recomienda separar la topología física de la lógica. En caso de una tormenta de *broadcast* se puede recurrir a la misma para saber dónde están los enlaces redundantes.
- *Spanning Tree* nunca debe ser desactivado, para evitar la introducción accidental (o no) de bucles dentro de la red.



STP

Macroinstrucciones

Las macroinstrucciones, mejor conocidas como macros, consisten en una serie de instrucciones que son almacenadas para ser ejecutadas en una sola llamada.

Relativas a *Spanning Tree* y al Cisco IOS se pueden encontrar predefinidas las siguientes.

- **Switchport Host:** Configura el puerto en modo de acceso y habilita Portfast

```
Switch(config)# interface fastethernet 0/1  
Switch(config-if-range)# switchport host
```

- **Spanning Tree VLAN** [Rango de VLANs que serán afectadas] *root [primary | secondary]*: Están destinados para configurar automáticamente el *switch* raíz y el *switch* raíz de respaldo, aunque no hay garantía que el resultado de la operación sea exitoso. Este macro solo puede ejecutarse una vez por lo que no impide la reelección del *switch* raíz en caso se baje la prioridad de otro dispositivo.

```
Switch(config)# spanning-tree vlan 10 root primary  
Switch(config)# spanning-tree vlan 20 root secondary
```

Llegado el momento de elegir el switch raíz y el de respaldo dentro de una topología se recomienda que se configura la prioridad manualmente en vez de usar los macros disponibles.

Alternativas a Spanning Tree

Hoy en día debido a los altos niveles de competitividad, la existencia de enlaces no utilizados es inaceptable. Por esta razón, recientemente se han desarrollado protocolos que son capaces de proporcionar redundancia al mismo tiempo que utilizan todas las conexiones disponibles, entre los cuales están:

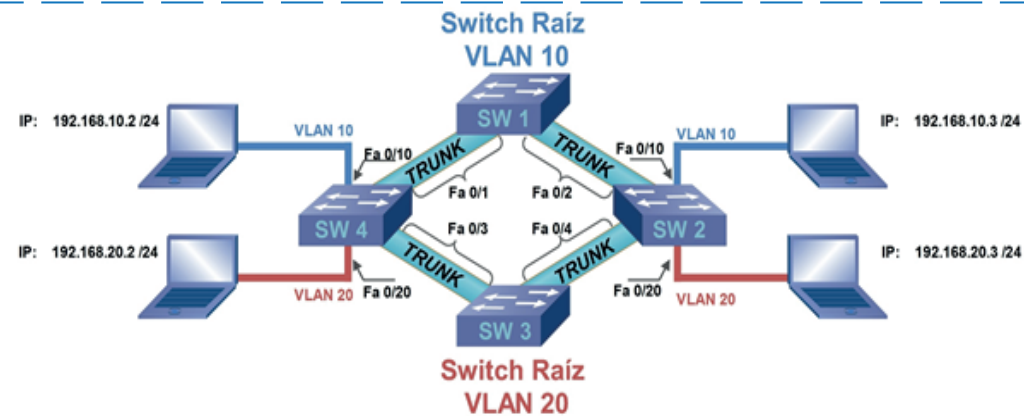
- *Transparent Interconnection of Lots of Links* (TRILL): Creado por Radia Perlman, es un estándar de la *Internet Engineering Task Force* (IETF).
- *Shortest Path Bridging* (SPB): Definido en el estándar 802.1aq de la IEEE.

Al momento de realizar este trabajo, dichos protocolos son todavía de reciente creación y no son soportados por todos los fabricantes.



STP

Resumen de la configuración *Rapid Spanning Tree (RSTP)*



Switch SW1

```
SW1(config)# vlan 10
SW1(config-vlan)# name Tecnicos
```

```
SW1(config)# vlan 20
SW1(config-vlan)# name Secretarias
```

```
SW1(config)# interface range fastEthernet 0/1 - 2
SW1(config-if-range)# switchport mode trunk
SW1(config-if-range)# switchport nonegotiate
SW1(config-if-range)# switchport trunk allowed vlan 10,20
```

```
SW1(config)# spanning-tree mode rapid-pvst
```

```
SW1(config)# spanning-tree vlan 10 priority 0
SW1(config)# spanning-tree vlan 20 priority 4096
```

Switch SW3

```
SW3(config)# vlan 10
SW3(config-vlan)# name Tecnicos
```

```
SW3(config)# vlan 20
SW3(config-vlan)# name Secretarias
```

```
SW3(config)# interface range fastEthernet 0/3 - 4
SW3(config-if-range)# switchport mode trunk
SW3(config-if-range)# switchport nonegotiate
SW3(config-if-range)# switchport trunk allowed vlan 10,20
```

```
SW3(config)# spanning-tree mode rapid-pvst
```

```
SW3(config)# spanning-tree vlan 20 root primary
SW3(config)# spanning-tree vlan 10 root secondary
```

STP

Switch SW2

```
SW2(config)# vlan 10  
SW2(config-vlan)# name Tecnicos
```

```
SW2(config)# vlan 20  
SW2(config-vlan)# name Secretarias
```

```
SW2(config)# interface range fastEthernet 0/2, fastEthernet 0/4  
SW2(config-if-range)# switchport mode trunk  
SW2(config-if-range)# switchport nonegotiate  
SW2(config-if-range)# switchport trunk allowed vlan 10,20
```

```
SW2(config)# interface fastethernet 0/10  
SW2(config-if)# switchport mode access  
SW2(config-if)# switchport access vlan 10  
SW2(config-if)# spanning-tree portfast
```

```
SW2(config)# interface fastEthernet 0/20  
SW2(config-if)# switchport host  
SW2(config-if)# switchport access vlan 20
```

```
SW2(config)# spanning-tree mode rapid-pvst
```

Switch SW4

```
SW4(config)# vlan 10  
SW4(config-vlan)# name Tecnicos
```

```
SW4(config)# vlan 20  
SW4(config-vlan)# name Secretarias
```

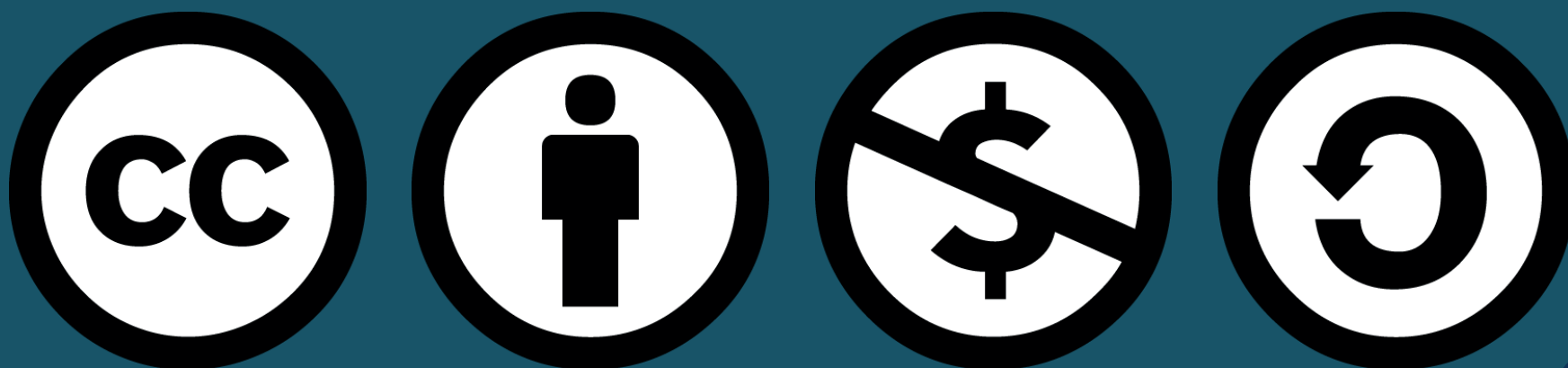
```
SW4(config)# interface range fastEthernet 0/1, fastEthernet 0/3  
SW4(config-if-range)# switchport mode trunk  
SW4(config-if-range)# switchport nonegotiate  
SW4(config-if-range)# switchport trunk allowed vlan 10,20
```

```
SW4(config)# interface fastethernet 0/10  
SW4(config-if)# switchport mode access  
SW4(config-if)# switchport access vlan 10
```

```
SW4(config)# interface fastEthernet 0/20  
SW4(config-if)# switchport mode access  
SW4(config-if)# switchport access vlan 20
```

```
SW4(config)# spanning-tree portfast default  
SW4(config)# spanning-tree mode rapid-pvst
```





Diseño y edición:

María Esther Pineda
Carolina Villatoro

Descargo de Responsabilidad

El autor y los colaboradores de este trabajo han hecho su mejor esfuerzo en la preparación del mismo para asegurar que su contenido sea lo más exacto posible, sin embargo, no se hacen responsables por el uso de la información en este documento así como de errores u omisiones que pudieran resultar en pérdida de cualquier tipo.

La información está proporcionada “como está” para ser utilizada bajo “su propia cuenta y riesgo”.