Departament d'Enginyeria Telemàtica

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PRÁCTICA 4

Protocolo de árbol de expansión (Spanning Tree Protocol)

1 Protocolo de árbol de expansión 3

1.1 ¿Qué es el Protocolo de Árbol de Expansión? 3

1.2 ¿Cómo trabaja el STP? Requerimientos del STP 4

1.3 Cálculos del STP 5

1.4 Configuración STP 5

1.5 Re-configuración STP 5

1.6 Usando STP en una red con múltiples VLANs 6

2 Sesión de laboratorio 7

2.1 Preparación del escenario del laboratorio 7

2.2 Habilitando STP 10

2.3 Cambio de topología 13

2.4 Modo RSTP 14

Objetivos

- Configurar conmutadores de una LAN para activar el protocolo de árbol de expansión.
- Identificar la congestión de la red y evitar los efectos de dicha congestión haciendo uso del protocolo de árbol de expansión.
- Reconocer los elementos, identificadores y tramas propias del protocolo de árbol de expansión.
- Analizar las unidades de datos del protocolo que intercambian los dispositivos para identificar la topología.

Material Utilizado

- Conmutadores D-Link DGS-3630-28TC
- S.O. Ubuntu del laboratorio 331

Duración

- Esta práctica consta de una sesión de 2 horas.

1 Protocolo de árbol de expansión

1.1 ¿Qué es el Protocolo de Árbol de Expansión?

El protocolo de Árbol de Expansión (Spanning Tree Protocol, STP) es un algoritmo basado en dispositivos de interconexión de nivel 2 (puentes transparentes y conmutadores) que se implementa para poder asegurar el buen funcionamiento de estos dispositivos sensibles a los bucles. La necesidad de ofrecer caminos redundantes para asegurar una rápida re-configuración frente a la caída de los enlaces se convierte en un problema en una red formada por dispositivos de interconexión sensibles a estos bucles. De aquí la necesidad de deshabilitar temporalmente ciertos enlaces redundantes (creando así una topología en árbol), y reactivarlos en presencia de algún fallo. El algoritmo de STP implementa dinámicamente estas tareas, garantizando en todo momento conectividad unívoca entre dos estaciones de la LAN.

A modo de ejemplo, la Figura 1muestra una red que contiene tres dominios de colisión (segmentos LAN) separados por tres puentes. Con esta configuración, cada segmento puede comunicarse con los demás utilizando dos caminos. Sin activar el STP, la configuración de la Figura 1 consta de bucles que producen congestión en la red y mal funcionamiento de los dispositivos de interconexión. El STP, en esta configuración, detecta caminos redundantes e impide, o bloquea, uno de ellos para permitir el flujo del tráfico.

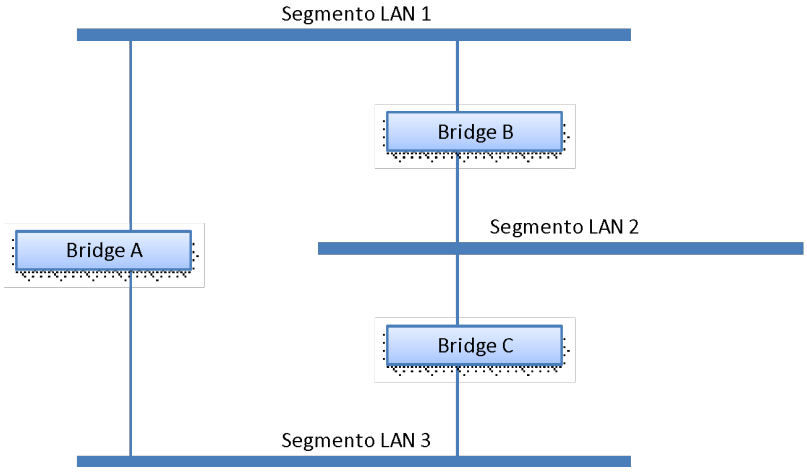

Figura 1. Configuración de tres LANs enlazadas.

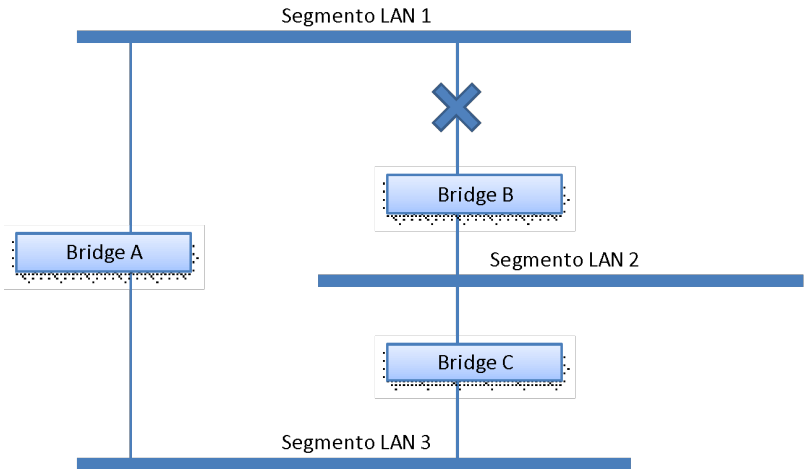

Figura 2. Configuración con STP habilitado

La Figura 2 muestra un posible resultado de habilitar el STP en los puentes utilizados en la configuración. El STP ha decidido que el tráfico del segmento 2 hacia el segmento 1 fluya a través de los puentes C y A.

El STP asigna un punto de referencia en la red (la raíz del árbol) y determina cual ha de ser el camino más eficiente entre cada puente/segmento y el puente raíz. Una vez que el camino más eficiente ha sido determinado, todos los demás caminos serán deshabilitados. De este modo, en el ejemplo anterior (Figura 2), STP inicialmente decide que, para el puente B, el camino a través del puente C es el más eficiente para llegar al puente raíz, y entonces bloquea el camino por el segmento 1; de este modo, el puente B no reenviará el tráfico generado por la LAN del segmento 2. Si se produce un fallo que corta el camino hacia la raíz a través del puente C, STP vuelve a valorar la situación y el puente B se vuelve a configurar para habilitar el camino hacia el puente A. De este modo, ahora el puente B sí que reenviará el tráfico generado por la LAN del segmento 2 (Figura 3).

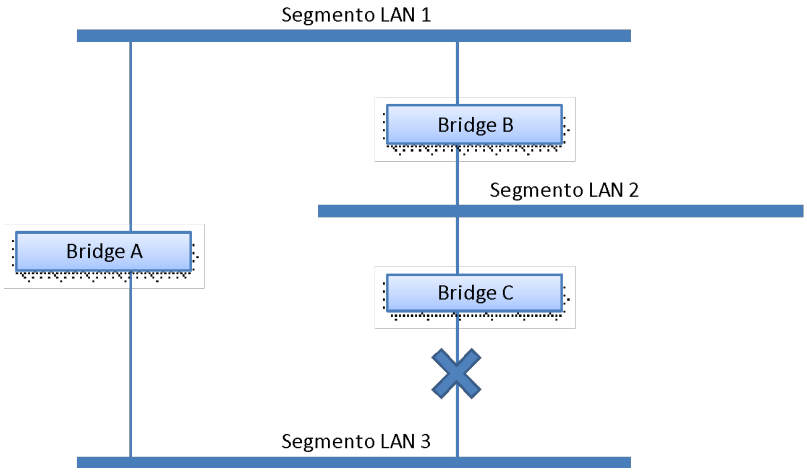

Figura 3. Nueva valoración de STP para la configuración

1.2 ¿Cómo trabaja el STP? Requerimientos del STP

Antes de poder configurar la red, el STP requiere que se cumpla que:

- **Exista comunicación entre todos los puentes**. Esta comunicación debe permitir el uso de las **BPDU** (Bridge Protocol Data Unit). Éstas se encapsulan en tramas con una dirección de multicast conocida.
- **Cada puente tenga un identificador (ID)**. El ID sirve para calcular qué puente actúa como punto central de referencia, o puente raíz para el sistema STP; éste ha de ser el puente con identificador menor. El identificador del puente se obtiene usando la dirección MAC de dicho puente y la prioridad definida por el puente. Por omisión, la prioridad del conmutador actuando como puente es el valor 32768.
- **Cada puerto del puente tenga un coste**. Éste especifica la eficiencia de cada conexión, normalmente determinado por el ancho de banda del mismo – mayor coste, menor eficiencia de conexión (Tabla 1).

Ancho de Banda	Coste STP (IEEE 802.1d-1998)	Coste STP (IEEE 802.1t)
10 Mbit/s	100	2000000
100 Mbit/s	19	200000
1 Gbit/s	4	20000
10 Gbit/s	2	2000

Tabla 1. Correspondencia entre el ancho de banda y el coste STP.

1.3 Cálculos del STP

La primera etapa en el proceso del STP es el período transitorio hasta establecer los posibles estados de cada elemento en la red. Durante esta etapa, cada puente en la red transmite BPDUs que permiten configurar el sistema. Hemos de saber:

a) Identificar el puente para que pueda ser **puente raíz** – el punto central de referencia desde el cual se configura la red.

b) El **coste** del camino a la raíz para cada puente – esto es, el coste de las trayectorias desde cada puente al puente raíz.

c) Identificar el puerto en cada puente que será **puerto raíz** – el que está conectado con el puente raíz usando el camino más "corto", esto es, el que tiene el menor coste de camino a la raíz. Téngase en cuenta que el puente raíz no tiene puerto raíz.

d) Identificar el **puerto designado** para cada segmento de la red de área local – el que ofrece el menor coste de camino a la raíz a dicho segmento. El puente cuyo puerto haya sido designado sobre el segmento se llama puente designado. Hay que resaltar que si varios puentes tienen el mismo coste de camino a la raíz, el que tenga el menor identificador de puente conseguirá ser el puente designado. Todo el tráfico destinado hacia la dirección del puente raíz fluirá por el puente designado a través de su puerto designado.

1.4 Configuración STP

Después de que todos los puentes de la red hayan acordado identificar el puente raíz y se hayan establecido los demás parámetros relevantes, cada puente está preparado para enviar tráfico de datos (tramas de datos) únicamente entre los puertos raíz y los puertos designados por los respectivos segmentos de red. Los puertos que estarán **bloqueados** no enviarán ni recibirán tráfico de datos.

1.5 Re-configuración STP

Una vez establecida la topología de la red, todos los puentes estarán a la espera de una BPDU de configuración que el puente raíz envía a intervalos regulares cada tiempo de saludo (*hello time*). Si el puente no recibiera la BPDU de configuración después de un cierto intervalo de tiempo (*maximum age*), el puente asumirá que el puente raíz, o la conexión con el puente raíz, ha dejado de ser válida.

El puente, después del proceso de *reconfiguración* de la red, identificará los cambios realizados en la topología. Si la topología de la red cambia, el primer puente en detectar el cambio (el puente al que caduca el *timer* sobre su puerto de raíz por el cual se espera una BPDU de configuración cada *hello time*) volverá a calcular internamente el STP y se reconfigurará.

Debido a los cambios que provoca esta *reconfiguración*, el puente podría abrir un puerto que previamente estaba en estado de bloqueo: si así fuese, este puente ha de enviar un aviso (**BPDU de notificación de cambio de topología**) hacia el puente raíz; se ha de resaltar que ésta tiene un formato diferente con respecto a las BPDUs de configuración.

Los puentes que reciban esta BPDU de notificación de cambio, deben enviarla por su puerto de raíz (nótese que esta BPDU es la única que hace el recorrido al revés: desde las hojas del árbol hacia la raíz); de este modo

la BPDU de notificación de cambio de topología alcanza el puente raíz y éste procesa la información; a partir del siguiente *hello time* y durante un cierto período de tiempo, el puente raíz envía las BPDUs de configuración con el *flag Topology Change* (TC) activo. Además, por el camino inverso por donde ha recibido la BPDU de notificación de cambio de topología, activará también el *flag Topology Change Acknowledgement* (TCA).

En el caso en que el puente que no ha recibido la BPDU de configuración por su puerto raíz (por lo tanto, ha caducado el timer sobre este puerto), no tenga puertos bloqueados, en la fase de recálculo del STP no tendrá información válida de la topología actual: no le queda más remedio que enviar por todos sus puertos una BPDU de configuración declarándose él la raíz del árbol. A partir de esta información, los puentes vecinos podrían tener que reconfigurarse y recalcular el STP. Nótese que el puente que abra un puerto bloqueado es el único encargado de enviar la BPDU de notificación de cambio de topología hacia la raíz.

1.6 Usando STP en una red con múltiples VLANs

En general el STP no tiene en cuenta la información de las VLANs que hay en la red y, al prescindir de ellas, bloqueará los caminos redundantes según las reglas que hemos detallado anteriormente. Esto puede bloquear caminos de comunicación entre elementos de la misma VLAN, por lo que dichos elementos podrían resultar aislados con respecto al resto de la red. Para solucionar estos problemas existen otras versiones de STP, por ejemplo, MSTP, que se permite el uso de VLANs.

2 Sesión de laboratorio

En esta sesión nos vamos a centrar en la familiarización con el problema de la congestión debida a los bucles en la red y la solución que permite el hecho de usar el protocolo STP. Tened en cuenta que, en cada escenario, se capturará y verá tráfico diferente según el PC en qué estemos observando. Por lo tanto, en esta sesión es importante ir compartiendo los resultados observados en cada PC de una zona determinada, para así, entre todos, llegar a entender la topología creada en cada escenario y los mensajes intercambiados entre dispositivos.

2.1 Preparación del escenario del laboratorio

En esta sesión de laboratorio vamos a trabajar con los seis conmutadores del laboratorio. Dividiremos el laboratorio en dos zonas, tal como se indica en la Figura 4. En cada zona, usaremos tres conmutadores: Switch A, Switch B y Switch C. Las conexiones se realizarán tal como se indica en la Figura 5. La relación entre equipos de la Figura 5 y los equipos de cada zona del laboratorio está especificado en la Tabla 2.

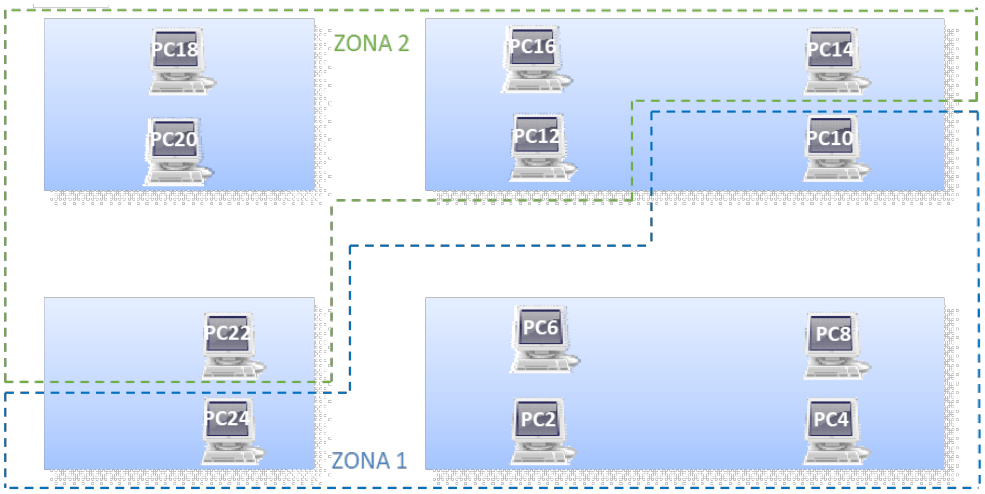

Figura 4. Configuración de cada zona del laboratorio.

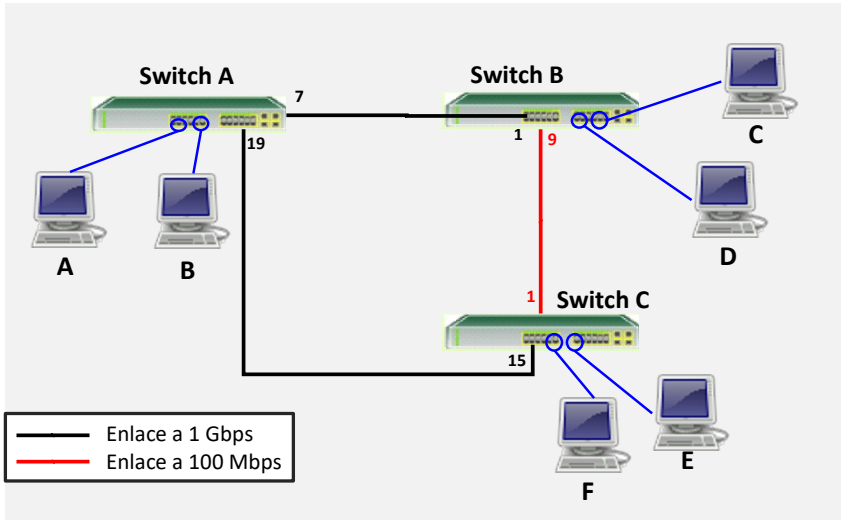

Figura 5. Configuración de la red del laboratorio con bucle. ¡OJO! Hasta que no esté indicado, dejar el #15 del Switch C sin conectar (no cerrar el bucle).

Equipo (Figura 5)	Dirección IP *Equipo Figura 4*	
	Zona 1	Zona 2
Switch A	10.90.90.91	10.90.90.94
Switch B	10.90.90.92	10.90.90.95
Switch C	10.90.90.93	10.90.90.96
PC A	10.90.90.202 *PC 2*	10.90.90.212 *PC 12*
PC B	10.90.90.208 *PC 8*	10.90.90.218 *PC 18*
PC C	10.90.90.204 *PC 4*	10.90.90.214 *PC 14*
PC D	10.90.90.210 *PC 10*	10.90.90.220 *PC 20*
PC E	10.90.90.206 *PC 6*	10.90.90.216 *PC 16*
PC F	10.90.90.224 *PC 24*	10.90.90.222 *PC 22*

Tabla 2. Correspondencia entre equipos en cada zona y nuestra configuración.

El objetivo inicial es generar tráfico para provocar tormentas de *broadcast* por medio del uso de bucles (configurados a propósito) y con el STP desactivado en todos los conmutadores. Posteriormente, comprobaremos el efecto que tiene activar el STP en la misma situación y podremos observar y analizar el comportamiento de este mecanismo.

Como primer paso, se deberá configurar los equipos (PC y Switch) en cada zona, para reflejar el esquema propuesto en las Figura 4 y Figura 5, y la configuración de la Tabla 2. Recordad que la IP de los switches ya está configurada, mientras que la de los PCs (interfaz eth0) se tendrá que configurar. Os aconsejamos que preparéis de antemano los comandos y acciones necesarias para configurar el PC que habitualmente usáis y el SW al que estará conectado, según el escenario indicado en la Figura 5. Para refrescar la memoria de cómo se configura la velocidad de un puerto, se puede mirar el manual de la práctica 2.

PASO 1 – Comprueba la conexión de tu PC al switch correspondiente. Utilizando los comandos vistos en la práctica 1, configura la interfaz eth0 de tu PC según la asignación indicada para cada grupo en la Figura 5 y en la Tabla 2.

PASO 2 – Comprueba la velocidad de transmisión configurada en tu PC. Si es necesario, puedes comprobar cómo mirando el manual de la práctica 2.

P1. ¿Qué velocidad se configura en vuestro ordenador? Justifica la respuesta y compárala con la de los otros grupos de tu zona.

P2. ¿Qué coste de enlace STP esperáis que se configura en el enlace entre vuestro ordenador y el switch? Justifica la respuesta y compárala con la información de la Tabla 1.

PASO 3 – Ponte de acuerdo con el otro PC conectado al mismo switch para quién configura los siguientes parámetros en el switch (uno por cada switch). Conecta vía web con tu switch (10.90.90.9x, admin admin) y ve a *L2 Features → STP → STP Global Settings* : "STP State" **Disabled**.

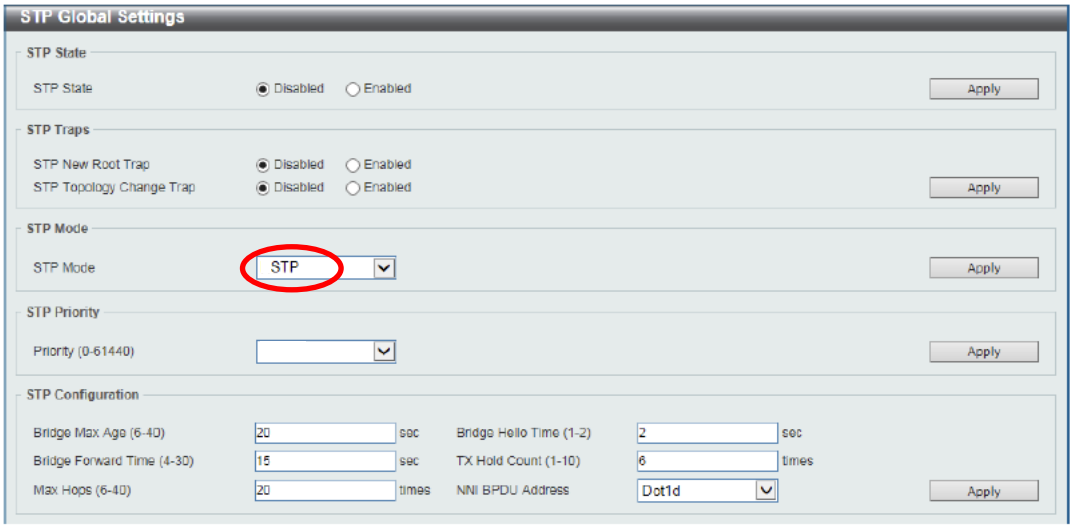

Figura 6. Menú para la desactivación del STP en todos los switches.

PASO 4 SWB – **Sólo para SWB** – Ve a *System - Port configuration – Port Settings* para configurar la velocidad del puerto 9 a 100 Mbps. Luego compruebo que dicho puerto pasa del color verde (1 Gbps) al naranja (100 Mbps).

PASO 4 SWC – **Sólo para SWC** – Ve a *System - Port configuration – Port Settings* para configurar la velocidad del puerto 1 a 100 Mbps. Luego compruebo que dicho puerto pasa del color verde (1 Gbps) al naranja (100 Mbps).

PASO 5 – Primero, comprueba que tienes conectividad con todos los PCs de tu zona. Cuanto todos lo hayáis comprobado, en cada zona, un estudiante se encarga de cerrar el bucle, conectando el #19 del SWA con el #15 del SWC, tal como indicado en la Figura 5.

Un buen método para producir congestión en la red es realizar pings desde diversos ordenadores a destinos no disponibles[1].

PASO 6 – Desde cada PC, ejecutar un ping, por ejemplo:

```
ping 10.90.90.1xx
```

P3. ¿Qué ocurre y por qué? Justificad la respuesta.

PUNTO DE CONTROL 1 (15%)

Enseña al profesor la configuración de los switches tras los pasos 4. Explica al profesor la respuesta razonada a la P3.

[1] Aseguraos de emplear una dirección IP destino que no esté siendo utilizada durante la sesión de laboratorio.

2.2 Habilitando STP

A continuación, miraremos cómo se configura el árbol cuando los tres conmutadores tienen habilitado el STP. La Figura 7 resume los detalles del escenario de cada zona.

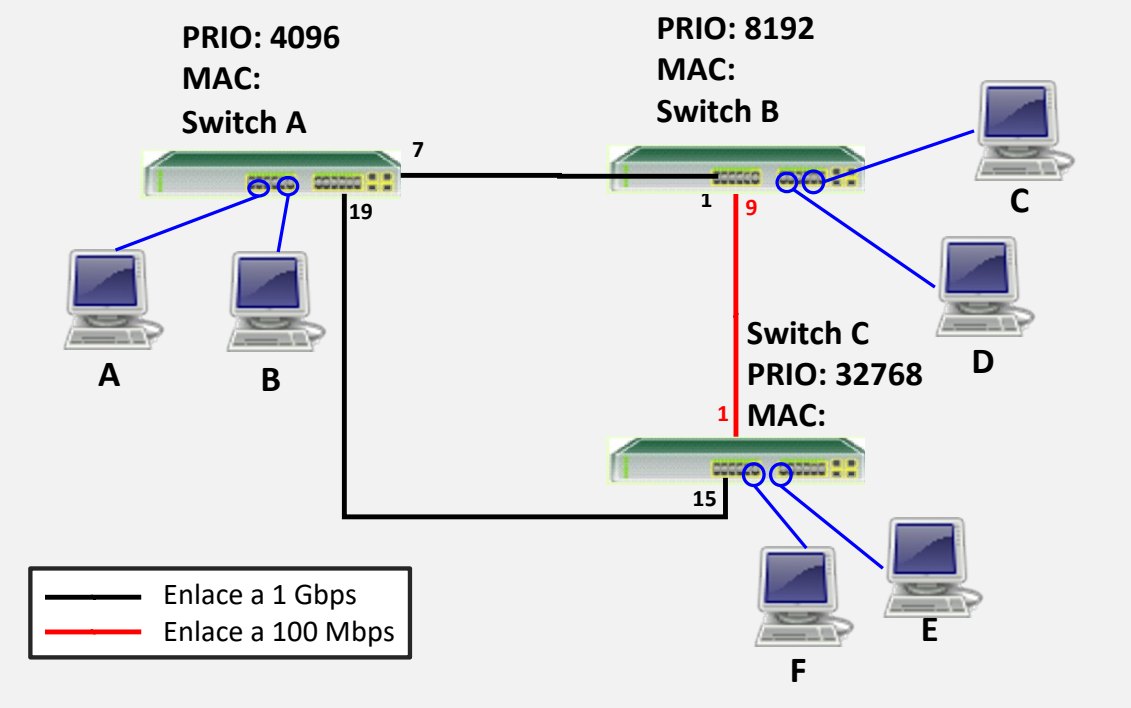

Figura 7. Configuración de la red del laboratorio con STP habilitado en todos los conmutadores.

Al entrar en el laboratorio, cada estudiante tiene que tener preparada la topología teórica que se espera al tener activado el STP en todos los switches, indicando el puente raíz, los puertos bloqueados, los puertos raíz, los puertos designados y el coste de camino a la raíz (RPC) de cada puente. Especificad cuáles son los parámetros utilizados para que sea así dicha topología (p.ej., identificador de puente raíz, coste del camino hasta el puente raíz, puente desde el que se transmite la BPDU, puerto desde el que se transmite la BPDU, etc.).

Para poder configurar los parámetros relacionados con STP debemos acceder a las funciones de configuración/gestión del conmutador. Los parámetros asociados a la configuración de STP en los conmutadores son los indicados en la Tabla 3.

PASO 7 – Para cada switch del escenario, desde uno de los dos PCs conectados, ejecuta los siguientes pasos:

- Conecta vía web al switch desde un navegador (`http://10.90.90.9x`)
- En el menú de la izquierda, escoge **L2 Features > STP > STP Global Settings** (ver Figura 8).
- A continuación, ajusta las opciones siguientes:
  - `STP State: Enabled`
  - `STP Mode: STP`
  - `Priority: según sea Switch A o Switch B o Switch C (ver Tabla 3).`

	MAC	Prioridad (HEX)	Prioridad (DEC)	Max Age (seg)	Hello Time (seg)	Forward Delay (seg)
Switch A	? (comprobarla)	0x0100	4096	20	2	15
Switch B	? (comprobarla)	0x0A00	8192	20	2	15
Switch C	? (comprobarla)	0x8000	32768	20	2	15

Tabla 3. Parámetros de configuración del STP en los conmutadores.

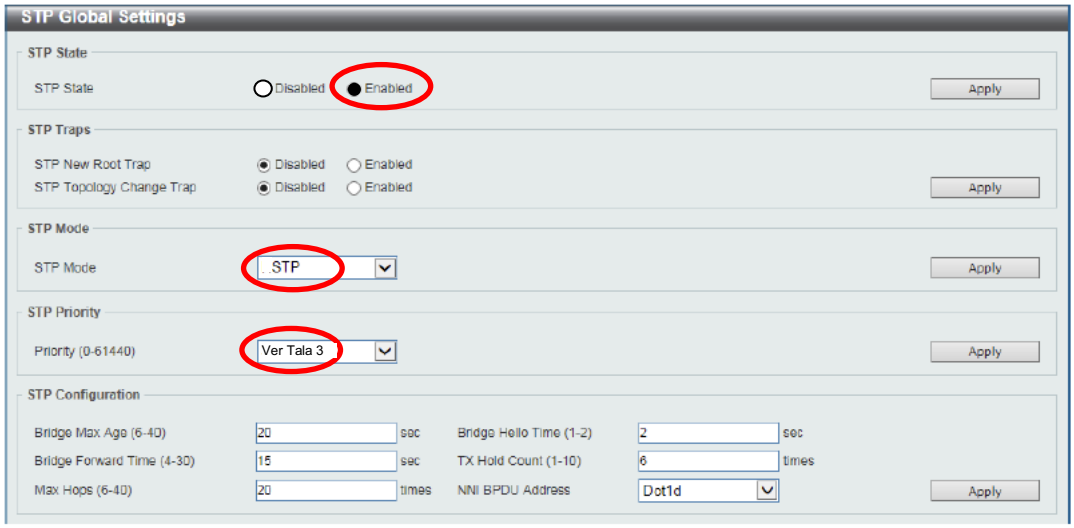

Figura 8. Menú para la activación del STP en los conmutadores D-Link DGS-3630-28TC.

P4. ¿Qué velocidad se configura entre el Switch B y Switch C?

P5. Apunta cómo comprobáis si la tormenta broadcast ha terminado. Además, ¿cuál/cuáles son las BPDUs que pensáis que van a circular por la red? Haz un dibujo de la topología, indicando sobre los enlaces correspondientes las BPDUs que se enviarían.

Para comprobar la topología que hemos supuesto anteriormente, es conveniente que, haciendo uso del Wireshark, analicemos las tramas que envía cada conmutador. Es decir, comprobar las BPDUs que envía o recibe cada conmutador por sus puertos. Puesto que cada PC está conectado a un switch por un puerto designado, cada PC recibirá la BPDU de configuración que el switch envía por dicho puerto.

Sin embargo, sería interesante poder observar las BPDUs que se envían/reciben en los enlaces entre los conmutadores. Para ello, será necesario activar la función de copia de tráfico entre puertos del switch, según el esquema siguiente: por ejemplo, si queremos en el PC A observar el tráfico que pasa por el puerto 7 del Switch A, tenemos que activar la "copia" de tráfico del puerto 7 (*source*) al puerto al que está conectado el PC A (*destination*). Podéis mirar el manual de la práctica 3 para refrescar estos conceptos y tenerlos a mano para esta sesión de laboratorio.

PASO 8 – En cada switch, desde uno de los dos PCs conectados, configura el esquema de mirroring correspondiente a tu switch, según indicado en la Tabla 4.

	Destino	Origen	Session Number
Switch A	#PC(A)	#7	1
	#PC(B)	#19	2
Switch B	#PC(C)	#1	1
	#PC(D)	#9	2
Switch C	#PC(E)	#1	1
	#PC(F)	#15	2

Tabla 4. Esquema de configuración del mirroring en cada conmutador.

P6. ¿La configuración de STP que se puede deducir a partir de las tramas que habéis capturado corresponde con la que se ha deducido en el apartado anterior?

P7. ¿Qué coste de camino a la raíz (RPC) tienen las BPDUs que observáis en la captura de Wireshark en vuestro PC? ¿Por qué? Razona la respuesta.

PUNTO DE CONTROL 2 (15%)

Enseña al profesor una BPDU de configuración que envía el switch por el puerto al que está conectado tu PC y otra BPDU de configuración que envía el switch por el puerto que tu PC está monitorizando. Explica al profesor la información más relevante de cada una de ellas.

2.3 Cambio de topología

En esta tercera parte de la sesión, vamos a ver cómo se reconfigura el STP tras provocar un fallo en el escenario. Concretamente, trabajaremos con el escenario de la Figura 9. Pero, antes de desconectar el cable, miraremos cómo circulan las tramas de usuario en la red al tener activado el STP.

PASO 9 – Asegura que el STP está activado en todos los conmutadores. Inicia una captura con el analizador Wireshark en todos los PCs. A continuación, desde el PC F, utiliza el comando "ping" para mandar paquetes de forma periódica al PC A. En cada PC, observad qué paquetes se observan. Si quieres, para y guarda la captura del Wireshark, para tenerla a mano posteriormente.

P8. Analizando las tramas capturadas en el Wireshark, ¿qué ordenadores ven el ping? Razonad porqué algunos lo ven y otros no.

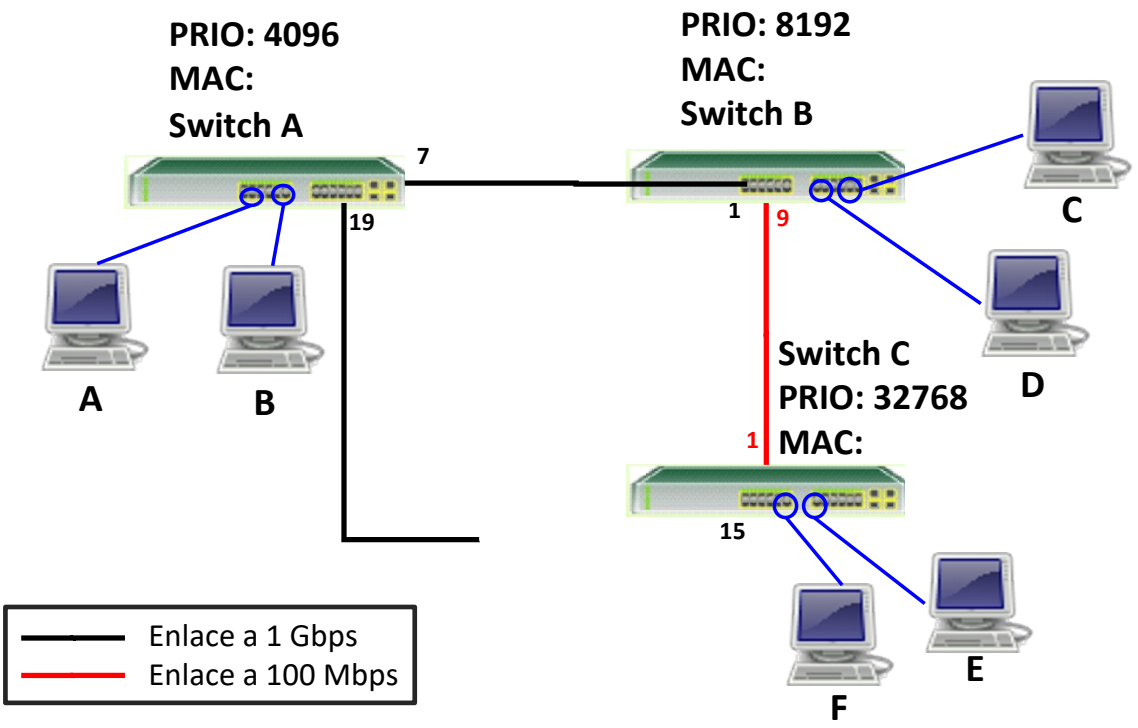

Figura 9. Cambio de topología en la red del laboratorio.

PASO 10 – Inicia una captura con el analizador Wireshark en todos los PCs. Pon en macha un ping continuo entre PC F y el PC A. Desconecta el puerto número 15 del SW C y mide el tiempo que transcurre desde la desconexión del puerto, hasta que se recupere la conectividad. A continuación, analiza las tramas capturadas (en particular, observa las capturas realizadas en los PCs conectados al segmento por el cual habrá viajado la BPDU de notificación de cambio de topología, BPDU_TCN).

Al entrar al laboratorio, cada estudiante ha de tener preparada la respuesta a esta pregunta: ¿En qué ordenadores del escenario crees que se observarán BPDUs de configuración con el TCA (*topology change acknowledgement*) activado? Razona tu respuesta indicando la nueva topología de STP.

P9. ¿Cuánto tiempo tarda STP en recuperar la conectividad? Se puede estimar este tiempo a partir de los resultados del ping y de la captura de Wireshark. Relaciona la respuesta con los parámetros de configuración del protocolo.

P10. ¿Ha ocurrido un cambio de topología por parte del STP? Especifíquelo.

P11. Especifica la captura de la BPDU que identifica el cambio de topología con los parámetros que corresponda. Justificad la respuesta.

P12. ¿Durante cuánto tiempo se transmiten las BPDU con el flag TC activado?

P13. ¿Por qué rama del árbol se transmiten BPDUs con el flag TCA activado? Comprobad la respuesta analizando las capturas correspondientes.

P14. ¿Cuál es la longitud en bytes de la BPDU Topology Change Notification (TCN)? ¿Cuál es la longitud mínima de una trama Ethernet? Comentar qué ocurre en este caso.

P15. ¿Ha cambiado el RPC indicado en las BPDU mandadas por el conmutador que no actúa como raíz?

PUNTO DE CONTROL 3 (15%)

Enseña al profesor la captura Wireshark en el/los PCs que ven una BPDU_TCN.

2.4 Modo RSTP

Por último, realizaremos una prueba para comparar el funcionamiento del STP original con la variante RSTP.

PASO 11 – Volved a conectar el enlace entre el SW A y el SW C, según teníamos configurado al principio (ver Figura 7). Inicia una captura con el analizador Wireshark en todos los PCs.

PASO 12 – Para cada switch del escenario, desde uno de los dos PCs conectados, ejecuta los siguientes pasos:

- Conecta vía web al switch desde un navegador (`http://10.90.90.9x`)
- En el menú de la izquierda, escoge **L2 Features > STP > STP Global Settings** (ver Figura 10).
- A continuación, ajusta las opciones siguientes:
  - `STP State: Enabled`
  - `STP Mode: RSTP`

PASO 13 – Observa las BPDU de configuración capturadas en el Wireshark y comprueba cuál es el puente raíz, y cuáles son los puertos raíz, designados y bloqueados de cada switch.

P16. ¿Qué diferencias se pueden observar en el formato de trama de las BPDU de configuración de RSTP en comparación con el de STP?

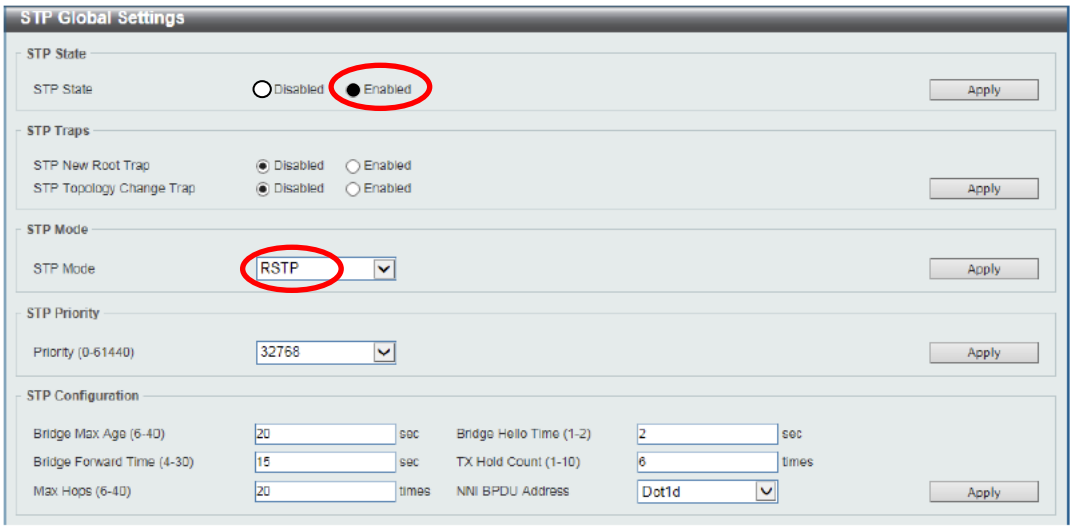

Figura 10. Menú para la activación del Rapid STP en los conmutadores D-Link DGS-3630-28TC.

P17. ¿Cuál es la topología de la red desde el punto de vista de Spanning Tree Protocol? Especificad el estado y los parámetros de dicha topología (p.ej., identificador de puente raíz, coste del camino hasta el puente raíz, puente desde el que se transmite la BPDU, puerto desde el que se transmite la BPDU, etc.), a partir de la información que podemos obtener de cada conmutador.

PASO 14 – Inicia una captura con el analizador Wireshark en todos los PCs. Pon en macha un ping continuo entre PC F y el PC A. Desconecta el puerto número 15 del SW C y mide el tiempo que transcurre desde la desconexión del puerto, hasta que se recupere la conectividad.

P18. ¿Cuánto tiempo tarda el RSTP en recuperar la conectividad? Relacionad la respuesta con los parámetros de configuración del protocolo y comparar el tiempo obtenido con el que se obtuvo para el caso de STP original.

PUNTO DE CONTROL 4 (15%)

Enseña al profesor cuánto tiempo ha tardado a recuperar la conectividad con RSTP a través del ping ejecutado y de la captura de Wireshark.