

Práctico 5

(Las figuras necesarias se encuentran al final)



Problemas

- P1. Suponga que el contenido de información de un paquete es el patrón de bits 1110 1011 1001 1101 y que está utilizando un esquema de paridad par. ¿Cuál sería el valor del campo que contiene los bits de paridad para el caso de un esquema de paridad bidimensional? La respuesta debe ser tal que se utilice un campo de suma de comprobación de longitud mínima.
- P2. Demuestre (proporcionando un ejemplo distinto del de la Figura 5.6) que los códigos de paridad bidimensional permiten corregir y detectar un único error de bit. Indique (proporcionando un ejemplo) un error doble de bit que pueda ser detectado pero no corregido.
- P3. Suponga que la parte de información de un paquete (D en la Figura 5.4) contiene 10 bytes compuestos de la representación en código ASCII binario sin signo de 8 bits de la cadena de caracteres “Link Layer” (capa de enlace). Calcule la suma de comprobación de Internet para estos datos.
- P4. Considere el problema anterior, pero suponga que los 10 bytes contienen:
- la representación binaria de los números 1 a 10.
 - la representación ASCII de las letras A hasta J (mayúsculas).
 - la representación ASCII de las letras a hasta j (minúsculas).
- Calcule la suma de comprobación de Internet para estos datos.
- P5. Considere el generador de 7 bits, $G = 10011$, y suponga que D tiene el valor 1010101010. ¿Cuál es el valor de R ?
- P6. Considere el problema anterior, pero ahora suponga que D tiene el valor:
- 1001000101.
 - 1010001111.
 - 0101010101.
- P7. En este problema vamos a explorar algunas de las propiedades del código CRC. Para el generador $G = 1001$ dado en la Sección 5.2.3, responda a las siguientes cuestiones:
- ¿Por qué puede detectar cualquier error simple de bit en los datos D ?

- b. ¿Puede el generador G anterior detectar cualquier número impar de errores de bit?
¿Por qué?
- P8. En la Sección 5.3, hemos proporcionado un esbozo del cálculo de la eficiencia del protocolo ALOHA con particiones. En este problema vamos a completar dicho cálculo.
- Recuerde que cuando hay N nodos activos, la eficiencia de ALOHA con particiones es $Np(1-p)^{N-1}$. Calcule el valor de p que maximiza esta expresión.
 - Utilizando el valor de p determinado en el apartado (a), calcule la eficiencia del protocolo ALOHA con particiones haciendo que N tienda a infinito. *Sugerencia:* $(1 - 1/N)^N$ tiende a $1/e$ cuando N tiende a infinito.
- P9. Demuestre que la eficiencia máxima del protocolo ALOHA puro es $1/(2e)$. *Nota:* este problema es sencillo después de haber completado el problema anterior.
- P10. Considere los nodos A y B que utilizan el protocolo ALOHA con particiones para competir por un canal. Suponga que el nodo A tiene más datos para transmitir que el nodo B, y que la probabilidad de retransmisión del nodo A, p_A , es mayor que la probabilidad de retransmisión del nodo B, p_B .
- Proporcione una fórmula para la tasa media de transferencia del nodo A. ¿Cuál es la eficiencia total del protocolo con estos dos nodos?
 - Si $p_A = 2p_B$, ¿será la tasa media de transferencia de A el doble que la del nodo B? ¿Por qué? Si no es así, ¿cómo podemos seleccionar valores de p_A y p_B para que esto ocurra?
 - En general, suponga que hay N nodos, entre los que el nodo A tiene una probabilidad de retransmisión $2p$ y todos los demás nodos tienen una probabilidad de retransmisión p . Proporcione las expresiones necesarias para calcular las tasas medias de transferencia del nodo A y de los restantes nodos.
- P11. Suponga que cuatro nodos activos (nodos A, B, C y D) están compitiendo por el acceso a un canal utilizando el protocolo ALOHA con particiones. Suponga que cada nodo tiene un número infinito de paquetes que transmitir y que cada nodo intenta transmitir en cada partición con una probabilidad p . La primera partición tiene el número 1, la segunda el número 2, etc.
- ¿Cuál es la probabilidad de que el nodo A tenga éxito por primera vez en la partición 5?
 - ¿Cuál es la probabilidad de que algún nodo (A, B, C o D) tenga éxito en la partición 4?
 - ¿Cuál es la probabilidad de que el primer éxito suceda en la partición 3?
 - ¿Cuál es la eficiencia de este sistema de cuatro nodos?
- P12. Dibuje una gráfica con la eficiencia de los protocolos ALOHA con particiones y ALOHA puro en función de p para los siguientes valores de N :
- $N=15$.
 - $N=20$.
 - $N=30$.

- P13. Considere un canal de difusión con N nodos y una tasa de transmisión de R bps. Suponga que el canal de difusión utiliza sondeo (con un nodo adicional de sondeo) para regular el acceso múltiple. Suponga que la cantidad de tiempo desde que un nodo completa una transmisión hasta que se le permite transmitir al nodo siguiente (es decir, el retardo de sondeo) es d_{sondeo} . Suponga que dentro de una ronda de sondeo, a cada nodo se le permite transmitir un máximo de Q bits. ¿Cuál es la tasa máxima de transferencia del canal de difusión?
- P14. Considere tres redes LAN interconectadas mediante dos routers, como se muestra en la Figura 5.38.
- Asigne direcciones IP a todas las interfaces. Para la Subred 1 utilice direcciones de la forma 192.168.1.xxx; para la Subred 2 utilice direcciones de la forma 192.168.2.xxx; y para la Subred 3 emplee direcciones de la forma 192.168.3.xxx.
 - Asigne direcciones MAC a todos los adaptadores.
 - Considere el envío de un datagrama IP desde el host E al host B. Suponga que todas las tablas ARP están actualizadas. Enumere todos los pasos, como hemos hecho en el ejemplo para un único router en la Sección 5.4.2.
 - Repita el apartado (c) suponiendo ahora que la tabla ARP del host emisor está vacía (y que todas las demás tablas están actualizadas).
- P15. Considere la Figura 5.38. Ahora vamos sustituir el router situado entre las subredes 1 y 2 por un conmutador S1, y vamos a etiquetar el router situado entre las subredes 2 y 3 como R1.
- Considere el envío de un datagrama IP desde el host E al host F. ¿Pedirá el host E al router R1 que le ayude a reenviar el datagrama? ¿Por qué? En la trama Ethernet

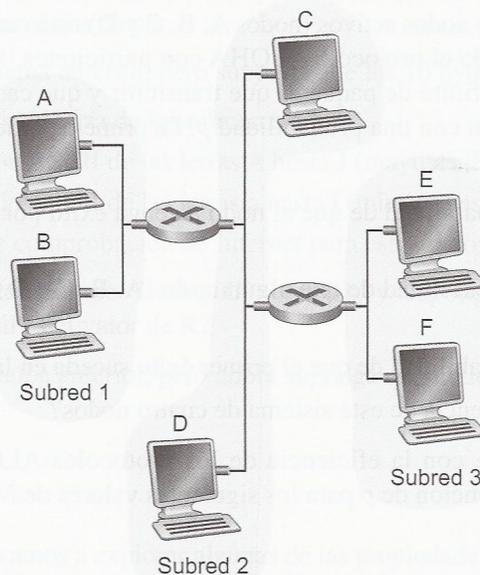


Figura 5.38 • Tres subredes interconectadas mediante routers.

- que contiene el datagrama IP, ¿cuáles son las direcciones IP y MAC de origen y de destino?
- Suponga que E quiere enviar un datagrama IP a B y suponga que la caché ARP de E no contiene la dirección MAC de B. ¿Realizará E una consulta ARP para averiguar la dirección MAC de B? ¿Por qué? En la trama Ethernet (que contiene el datagrama IP destinado a B) que se le entrega al router R1, ¿cuáles son las direcciones IP y MAC de origen y de destino?
 - Suponga que el host A quiere enviar un datagrama IP al host B, y que ni la caché ARP de A contiene la dirección MAC de B ni la caché ARP de B contiene la dirección MAC de A. Suponga además que la tabla de reenvío del conmutador S1 contiene entradas únicamente para el host B y el router R1. Por tanto, A difundirá un mensaje de solicitud ARP. ¿Qué acciones realizará el conmutador S1 una vez que reciba el mensaje de solicitud ARP? ¿Recibirá también el router R1 esta solicitud ARP? En caso afirmativo, ¿reenviará R1 el mensaje hacia la Subred 3? Una vez que el host B reciba este mensaje de solicitud ARP, devolverá al host A un mensaje de respuesta ARP. Pero ¿enviará un mensaje de consulta ARP para preguntar por la dirección MAC de A? ¿Por qué? ¿Que hará el conmutador S1 una vez que reciba el mensaje de respuesta ARP del host B?
- P16. Considere el problema anterior, pero ahora suponga que el router situado entre las subredes 2 y 3 es sustituido por un conmutador. Responda a las preguntas de los apartados (a)–(c) del problema anterior en este nuevo contexto.
- P17. Recuerde que con el protocolo CSMA/CD el adaptador espera $K \cdot 512$ periodos de bit después de producirse una colisión, donde K se selecciona aleatoriamente. Para $K = 100$, ¿cuánto tiempo espera el adaptador hasta volver al Paso 2 para una red Ethernet a 10 Mbps? ¿Y para una red Ethernet a 100 Mbps?
- P18. Suponga que los nodos A y B se encuentran en el mismo bus Ethernet a 10 Mbps y que el retardo de propagación entre los dos nodos es igual a 325 periodos de bit. Suponga que el nodo A comienza a transmitir una trama y que, antes de finalizar, el nodo B comienza a transmitir otra trama. ¿Podría A finalizar la transmisión antes de detectar que B ha transmitido? ¿Por qué? Si la respuesta es afirmativa, entonces A creará incorrectamente que su trama se ha transmitido con éxito sin que se haya producido una colisión. *Sugerencia:* suponga que en el instante $t = 0$ periodos de bit A comienza a transmitir una trama. En el caso peor, A transmitirá una trama de tamaño mínimo que ocupará $512 + 64$ periodos de bit. Por lo que A terminaría de transmitir la trama para $t = 512 + 64$ periodos de bit. Por tanto, la respuesta es no si la señal de B alcanza a A antes del instante $t = 512 + 64$ periodos de bits. En el caso peor, ¿cuándo alcanzaría a A la señal de B?
- P19. Explique por qué hace falta un tamaño mínimo de trama para Ethernet. Por ejemplo, Ethernet 10Base impone un tamaño mínimo de trama de 64 bytes (si ha hecho el problema anterior podría haberse dado cuenta de cuál es la razón). Ahora suponga que la distancia entre dos extremos de una red LAN Ethernet es d . ¿Puede hallar una fórmula que permite obtener el tamaño mínimo de trama necesario para los paquetes Ethernet? Basándose en su razonamiento, ¿cuál será el tamaño mínimo requerido de paquete de una red Ethernet que abarque 2 kilómetros?

- P20. Suponga que quiere incrementar la velocidad de enlace de su cable Ethernet, ¿Cómo afectaría esta actualización a los tamaños mínimos de paquetes requeridos? Si actualiza su cable a una velocidad mayor y se da cuenta de que no puede cambiar el tamaño de paquete, ¿qué otra cosa puede hacer para que la red pueda seguir operando correctamente?
- P21. Suponga que los nodos A y B se encuentran en el mismo bus Ethernet a 10 Mbps y que el retardo de propagación entre los dos nodos es igual a 245 periodos de bit. Suponga que A y B envían tramas al mismo tiempo, que las tramas colisionan y que luego A y B seleccionan diferentes valores de K en el algoritmo CSMA/CD. Suponiendo que no haya ningún otro nodo activo, ¿pueden colisionar las retransmisiones de A y B? Para nuestros propósitos, basta con resolver el siguiente ejemplo. Suponga que A y B comienzan la transmisión en $t = 0$ periodos de bit. Ambos detectan la colisión en el instante $t = 245$ periodos de bits y terminan de transmitir una señal de interferencia en $t = 245 + 48 = 293$ periodos de bit. Suponga que $K_A = 0$ y $K_B = 1$. ¿Para qué instante programará B su retransmisión? ¿En qué momento comenzará A su transmisión? (Nota: los nodos tienen que esperar a que el canal esté inactivo después de volver al Paso 2 (consulte el protocolo). ¿En qué momento alcanza a B la señal de A? ¿Se abstendrá B de transmitir en el instante programado?
- P22. Considere una red Ethernet 100BASE-T a 100 Mbps con todos los nodos directamente conectados a un concentrador. Para tener una eficiencia de 0,50, ¿cuál debería ser la distancia máxima entre un nodo y el concentrador? Suponga una longitud de trama de 1.000 bytes y que no existe ningún repetidor. ¿Garantiza también esta distancia máxima que un nodo A que está transmitiendo será capaz de detectar si cualquier otro nodo ha transmitido mientras A estaba transmitiendo? ¿Por qué? ¿Cómo es esa distancia máxima, comparada con el estándar real a 100 Mbps? Suponga que la velocidad de propagación de la señal en Ethernet 100BASE-T es $1,8 \times 10^8$ m/s.
- P23. Suponga que hay cuatro nodos, A, B, C y D, conectados a un concentrador mediante cables Ethernet a 10 Mbps. Las distancias entre el concentrador y estos cuatro nodos son 300, 400, 500 y 700 metros, respectivamente. Recuerde que para esta red Ethernet se utiliza el protocolo CSMA/CD. Suponga que la velocidad de propagación de la señal es 2×10^8 m/s.
- ¿Cuál es la longitud mínima de trama requerida? ¿Cuál es la longitud máxima de trama requerida?
 - Si todas las tramas tiene una longitud de 1.500 bits, calcule la eficiencia de esta red Ethernet.
- P24. En este problema tendrá que deducir la eficiencia de un protocolo de acceso múltiple de tipo CSMA/CD. En dicho protocolo, el tiempo está particionado y todos los adaptadores están sincronizados con las particiones. Sin embargo, a diferencia del protocolo ALOHA con particiones, la longitud de una partición (en segundos) es muy inferior al tiempo de trama (el tiempo necesario para transmitir una trama). Sea S la longitud de una partición. Suponga que todas las tramas tienen una longitud constante $L = kRS$, donde R es la velocidad de transmisión del canal y k es un entero de gran magnitud. Suponga que existen N nodos, cada uno con un número infinito de tramas para enviar. Suponga también que $d_{\text{prop}} < S$, de modo que todos los nodos pueden detectar una colisión antes de que finalice una partición de tiempo. El protocolo es como sigue:

- Si, para una partición determinada, ningún nodo está en posesión del canal, todos los nodos competirán por el acceso al canal; en particular, cada uno de los nodos transmite durante esa partición con una probabilidad p . Si exactamente un nodo transmite en la partición, dicho nodo se apropia del canal durante las subsiguientes $k - 1$ particiones y transmite su trama completa.
- Si algún nodo está en posesión del canal, todos los demás nodos se abstienen de transmitir hasta que el nodo que posee el canal ha terminado de transmitir su trama. Una vez que este nodo ha transmitido su trama, todos los nodos compiten por acceder al canal.

Observe que el canal alterna entre dos estados distintos: el estado productivo, que dura exactamente k particiones, y el estado no productivo, que dura un número aleatorio de particiones. Obviamente, la eficiencia del canal será la relación $k/(k + x)$, donde x es el número esperado de particiones no productivas consecutivas.

- Para N y p fijos, determine la eficiencia de este protocolo.
 - Para un valor fijo N , determine el valor de p que maximiza la eficiencia.
 - Utilizando el valor de p (que es función de N) calculado en el apartado (b), determine la eficiencia cuando N tiende a infinito.
 - Demuestre que esta eficiencia tiende a 1 a medida que aumenta el tamaño de la trama.
- P25. Suponga que dos nodos, A y B, están conectados en los extremos opuestos de un cable de 800 metros y que cada uno de ellos tiene una trama de 1.500 bits (incluyendo todas las cabeceras y preámbulos) que enviar al otro. Ambos nodos intentan transmitir en el instante $t = 0$. Suponga que existen cuatro repetidores entre A y B, cada uno de los cuales inserta un retardo de 20 bits. Suponga que la velocidad de transmisión es de 100 Mbps y que se utiliza CSMA/CD con intervalos de espera (*backoff*) que son múltiplos de 512 bits. Después de la primera colisión, A saca $K = 0$ y B saca $K = 1$ en el protocolo de *backoff* exponencial. Ignore la señal de interferencia y el retardo de 96 periodos de bit.
- ¿Cuál es el retardo de propagación unidireccional (incluyendo los retardos de los repetidores) entre A y B en segundos? Suponga que la velocidad de propagación de la señal es igual a 2×10^8 m/s.
 - ¿En qué momento (en segundos) habrá sido entregado completamente a B el paquete de A?
 - Ahora suponga que sólo A tiene un paquete que enviar y que los repetidores se sustituyen por conmutadores. Suponga que cada conmutador tiene un retardo de procesamiento de 20 bits, además de un retardo de almacenamiento y reenvío. ¿En qué momento, en segundos, se entregará a B el paquete de A?
- P26. En el estándar Ethernet, un emisor realiza una pausa de 96 periodos de bit entre el envío de dos tramas consecutivas. Este periodo de pausa se denomina hueco entre tramas y se utiliza para permitir que un dispositivo receptor complete el procesamiento de una trama recibida y se prepare para la recepción de la siguiente. Desde que el estándar Ethernet fuera especificado, se han producido importantes avances en la tecnología, incluyendo los relativos a la velocidad de los procesadores, de la memoria y de las pro-

pías velocidades de transmisión Ethernet. Si hubiera que reescribir el estándar, ¿cómo afectarían estas mejoras al hueco entre tramas?

- P27. Considere la Figura 5.38 del Problema P14. Proporcione direcciones MAC e IP para las interfaces del host A, de ambos routers y del host F. Suponga que el host A envía un datagrama al host F. Indique las direcciones MAC de origen y de destino contenidas en la trama que encapsula este datagrama IP a medida que la trama es transmitida (i) de A al router de la izquierda, (ii) desde el router de la izquierda al router de la derecha y (iii) desde el router de la derecha al host F. Indique también las direcciones IP de origen y de destino del datagrama IP encapsulado dentro de la trama en cada uno de estos instantes de tiempo.
- P28. Suponga ahora que el router de la izquierda de la Figura 5.38 se sustituye por un conmutador. Los hosts A, B, C y D y el router de la derecha se conectan en estrella a ese conmutador. Indique las direcciones MAC de origen y de destino contenidas en la trama que encapsula a este datagrama IP, a medida que la trama se transmite (i) desde A al conmutador, (ii) desde el conmutador al router de la derecha y (iii) desde el router de la derecha a F. Indique también las direcciones IP de origen y de destino contenidas en el datagrama IP encapsulado dentro de la trama en cada uno de estos instantes de tiempo.
- P29. Considere la Figura 5.26. Suponga que todos los enlaces son a 100 Mbps. ¿Cuál es la tasa máxima total agregada de transferencia que puede conseguirse en los 9 hosts y los dos servidores de esta red? Puede suponer que cualquier host o servidor puede enviar a cualquier otro host o servidor. ¿Por qué?
- P30. Suponga que los tres conmutadores departamentales de la Figura 5.26 se sustituyen por concentradores. Todos los enlaces son a 100 Mbps. Responda en estas condiciones a las cuestiones planteadas en el Problema P29.
- P31. Suponga que *todos* los conmutadores de la Figura 5.26 son sustituidos por concentradores. Todos los enlaces son a 100 Mbps. Responda en estas condiciones a las cuestiones planteadas en el Problema P29.
- P32. Considere la operación de un conmutador con aprendizaje en el contexto de la Figura 5.24. Suponga que (i) B envía una trama a E, (ii) E responde enviando una trama a B, (iii) A envía una trama a B, (iv) B responde enviando una trama a A. Inicialmente, la tabla del conmutador está vacía. Muestre el estado de la tabla del conmutador antes y después de cada uno de estos sucesos. Para cada suceso, identifique el enlace o los enlaces a través de los cuales se reenviará la trama transmitida y justifique brevemente sus respuestas.
- P33. En este problema vamos a explorar el uso de pequeños paquetes para aplicaciones de Voz sobre IP. Uno de los inconvenientes de un tamaño de paquete pequeño es que una gran parte del ancho de banda del enlace es consumido por los bytes de sobrecarga. De cara al análisis, suponga que el paquete consta de P bytes de datos y 5 bytes de cabecera.
- Considere el envío directo de un origen de voz codificado digitalmente. Suponga que el origen se codifica a una velocidad constante de 128 kbps. Suponga que cada paquete se rellena completamente antes de que el origen envíe el paquete a la red.

El tiempo requerido para rellenar un paquete se denomina **retardo de empaquetado**. En función de L , determine el retardo de empaquetado en milisegundos.

- b. Los retardos de empaquetado superiores a 20 ms pueden dar lugar a un eco perceptible y desagradable. Determine el retardo de empaquetado para $L = 1.500$ bytes (lo que se corresponde aproximadamente con un paquete Ethernet de tamaño máximo) y para $L = 50$ (lo que se corresponde con un paquete ATM).
- c. Calcule el retardo de almacenamiento y reenvío en un único conmutador para una velocidad de enlace de $R = 622$ Mbps para $L = 1.500$ bytes y para $L = 50$ bytes.
- d. Comente las ventajas de utilizar un tamaño de paquete pequeño.

P34. Considere el único conmutador VLAN de la Figura 5.30 y suponga que se conecta un router externo al puerto 1 del conmutador. Asigne direcciones IP a los hosts de las redes IR y CC y a la interfaz del router. Indique los pasos seguidos tanto en la capa de red como en la capa de enlace para transferir un datagrama IP desde un host de IE a un host de CC (*Sugerencia*: vuelva a leer en el texto los comentarios acerca de la Figura 5.19).

P35. Considere la red MPLS mostrada en la Figura 5.36 y suponga que ahora los routers R5 y R6 son compatibles con MPLS. Suponga que deseamos realizar la ingeniería de tráfico de modo que los paquetes procedentes de R6 y destinados a A se conmuten hacia A a través de R6-R4-R3-R1, y que los paquetes procedentes de R5 destinados a A se conmuten a través de R5-R4-R2-R1. Detalle las tablas MPLS de R5 y R6, así como la tabla modificada de R4, que harían esto posible.

P36. Considere de nuevo el mismo escenario que el problema anterior, pero suponga que los paquetes de R6 destinados a D se conmutan a través de R6-R4-R3, mientras que los paquetes procedentes de R5 destinados a D se conmutan a través de R4-R2-R1-R3. Determine las tablas MPLS en todos los routers que harían esto posible.

P37. En este problema vamos a juntar muchas de las cosas que hemos aprendido acerca de los protocolos de Internet. Suponga que entra en una habitación, se conecta a Ethernet y desea descargar una página web. ¿Cuáles son todos los pasos de protocolo que tienen lugar, comenzando desde el instante en que enciende su PC y hasta el momento en que obtiene la página web? Suponga que no hay nada en la caché DNS ni en la caché del navegador cuando enciende su PC. (*Sugerencia*: los pasos incluyen el uso de los protocolos Ethernet, DHCP, ARP, DNS, TCP y HTTP.) Indique explícitamente en sus pasos cómo se obtienen las direcciones IP y MAC de un router de pasarela.

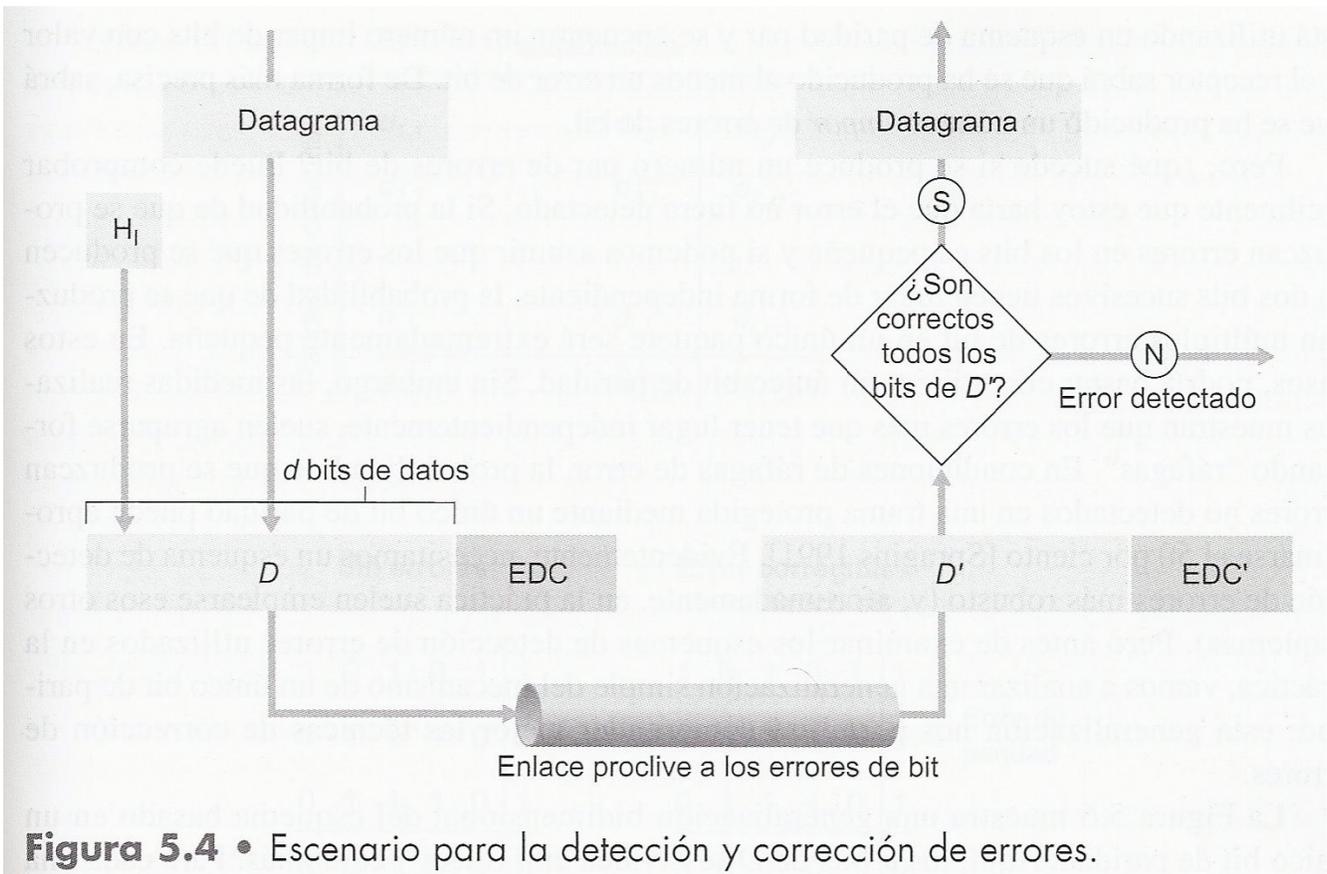


Figura 5.4 • Escenario para la detección y corrección de errores.

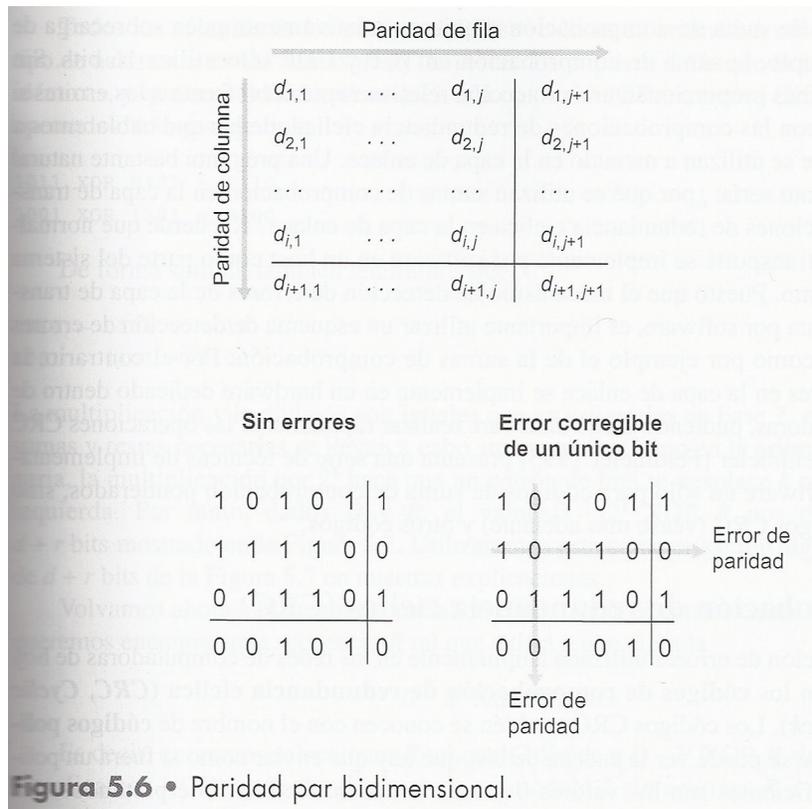


Figura 5.6 • Paridad par bidimensional.

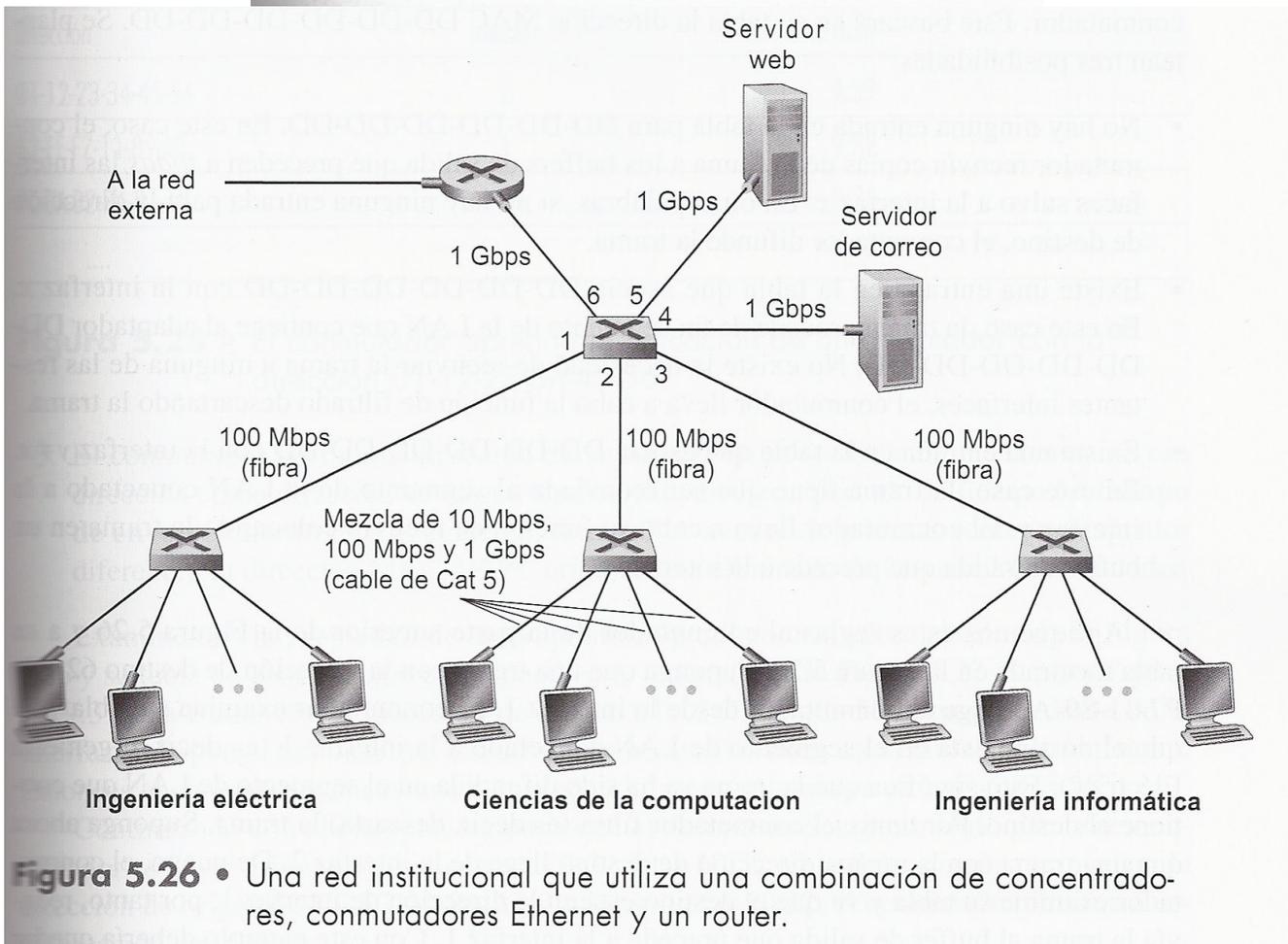


Figura 5.26 • Una red institucional que utiliza una combinación de concentradores, conmutadores Ethernet y un router.

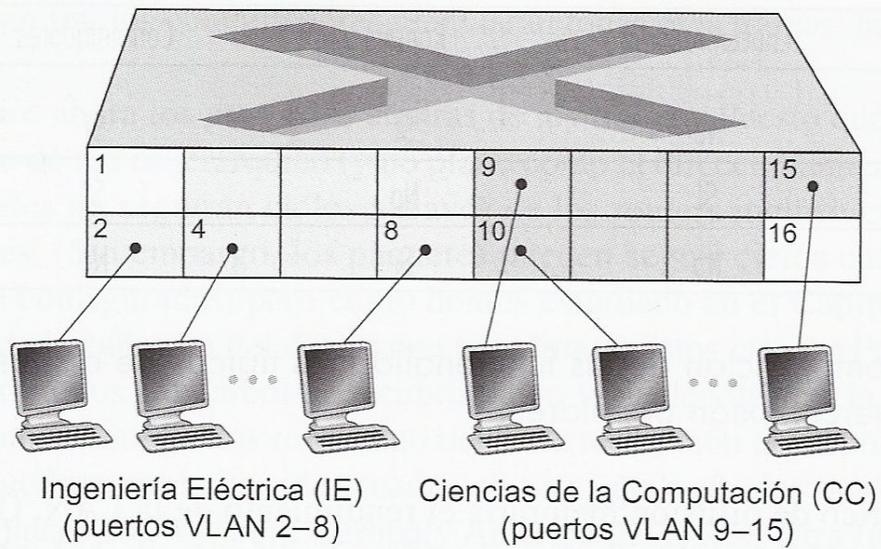
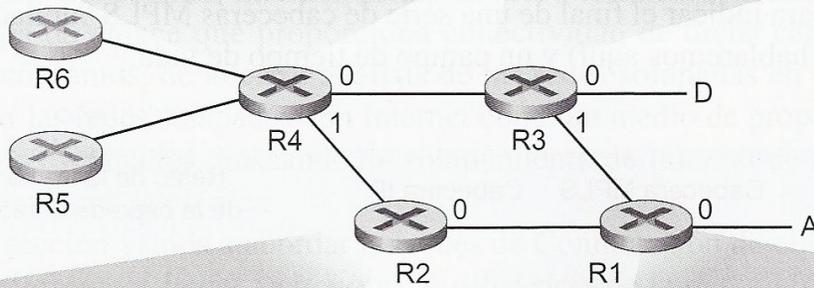


Figura 5.30 • Un mismo conmutador con dos redes VLAN configuradas.

etiqueta de entrada	etiqueta de salida	destino	interfaz de salida
	10	A	0
	12	D	0
	8	A	1

etiqueta de entrada	etiqueta de salida	destino	interfaz de salida
10	6	A	1
12	9	D	0



etiqueta de entrada	etiqueta de salida	destino	interfaz de salida
8	6	A	0

etiqueta de entrada	etiqueta de salida	destino	interfaz de salida
6	-	A	0

Figura 5.36 • Reenvío mejorado mediante MPLS.