

Apuntes
de
Redes de Ordenadores

Tema 4
LAN Token

Uploaded by

IngTeleco

<http://ingteleco.iespana.es>
ingtelecoweb@hotmail.com

La dirección URL puede sufrir modificaciones en el futuro. Si no funciona contacta por email

4.- LAN CON PASO DE TESTIGO

4.1.- Introducción

Las redes basadas en las técnicas de contención han constituido la gran alternativa a las redes Ethernet, si bien recientemente han caído en desuso, superadas en capacidad y prestaciones por la evolución de aquellas y la aparición de las técnicas de conmutación. Sin embargo, merece la pena un estudio detallado de su funcionamiento por el interés de las técnicas de paso de testigo para el control del acceso al medio y la utilización del concepto de prioridad.

4.2.- IEEE 802.5 (TOKEN RING)

Con cierto retraso respecto a los experimentos de Xerox con Ethernet IBM estaba experimentando con un protocolo MAC denominado Token Ring (anillo con paso de testigo). Este protocolo también fue estandarizado por el IEEE con el número 802.5, si bien su desarrollo comercial fue algo más lento que el de 802.3; los primeros productos comerciales de Token Ring aparecieron en 1986. Existen tres variantes de Token Ring: a 1, 4 y 16 Mb/s; las de 4 y 16 Mb/s son las más utilizadas (la de 1 Mb/s ha sido suprimida del estándar).

4.2.1.- El medio físico

El cableado utilizado es STP o UTP de categoría 3 o superior para 4 Mb/s, y STP para 16 Mb/s. La señal se representa usando codificación Manchester diferencial, con señales de +3,0 y -4,5 voltios. La codificación Manchester diferencial emplea la presencia o ausencia de transición entre dos voltajes para indicar un 0 o un 1, respectivamente. Requiere un equipo más caro y complejo que la codificación Manchester, pero es más inmune al ruido y esta mejor adaptada al uso de cable de pares, ya que no tiene problemas de polaridad invertida como ocurre con Manchester (a diferencia de Ethernet el cable de pares fue previsto en Token Ring ya en el diseño original).

El interfaz físico que interconecta cada estación o DTE al cable, comúnmente denominado **Unidad de Acoplamiento** o TCU, está constituido por un conjunto de relés o conmutadores que junto con una circuitería electrónica adicional gobiernan la recepción y envío de señales a través del cable. La Figura 4.1 muestra este tipo de interfaz.

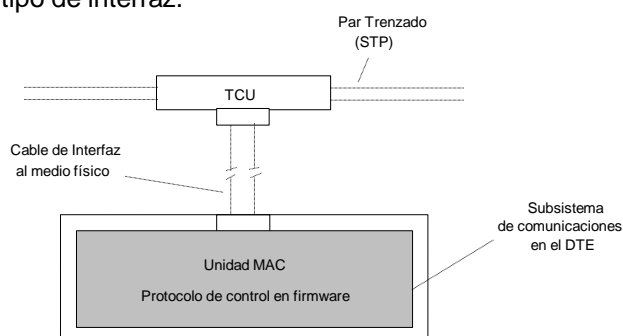


Figura 4.1 Interfaz DTE al cable en una red Token Ring

En las redes tipo bus (como 802.3) la fiabilidad depende de la continuidad del cable, que pasa por todas las estaciones y puede ser motivo de manipulaciones no autorizadas. Este problema se resolvió en 802.3 con el cableado 10BASE-T, que manteniendo la topología lógica de bus utiliza un cableado en estrella. En el caso de topologías en anillo como Token Ring el problema es similar, ya que la rotura del anillo en un punto impide la comunicación. Para evitar este problema en Token Ring lo que se hace es colapsar el anillo en un hub o concentrador, también llamado centro de cableado o MAU (Medium Access Unit), al cual se conectan los cables de entrada y salida de cada estación.

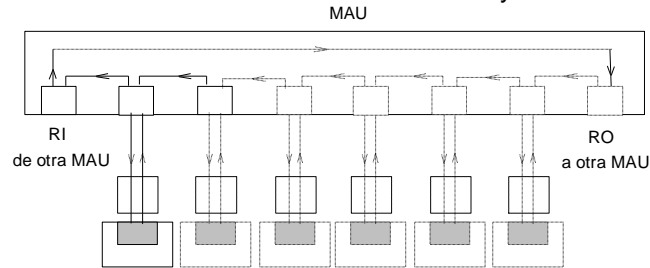


Figura 4.2 Configuración de Anillo en forma de Estrella

El cableado sigue siendo lógicamente un anillo, aún cuando físicamente sea una estrella. En el concentrador se instalan relés de derivación (bypass) alimentados por la estación correspondiente, de forma que si la conexión de ésta falla el relé cortocircuita la conexión correspondiente restaurando así el anillo. En la práctica la topología física no es muy diferente a la de una red Ethernet. Una red Token Ring puede estar formada por varios concentradores interconectados, lo cual permite reducir apreciablemente la cantidad de cable necesario.

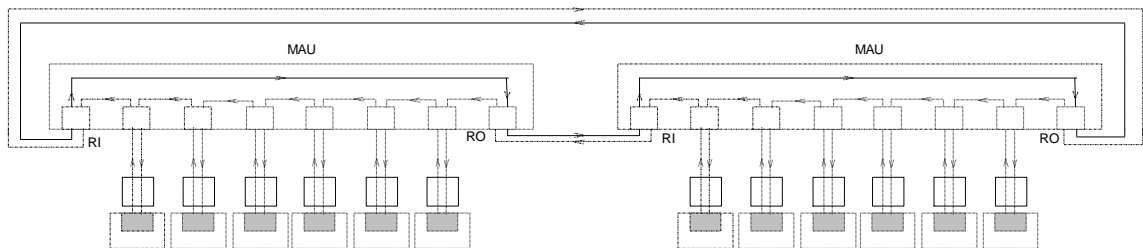


Figura 4.3 Configuración de Anillo en forma de Estrella

Cuando una red consta de más estaciones que los puertos de un Concentrador, pueden acoplarse entre sí varios de éstos formándose dos anillos "concéntricos", tal y como puede verse en la Figura 4.3. Uno de ellos enlaza todas las estaciones entre sí formando un solo anillo físico. El segundo anillo, conocido como anillo de "backup" no tiene más función que la de cerrarse en caso de que falle alguno de los cables que unen las MAU entre sí para restaurar el anillo físico, de modo que la red no quede sin servicio. Aunque la topología física de cableado pueda estar formada por varios anillos o estrellas interconectadas, desde el punto de vista del protocolo una red Token Ring está formada siempre por un único anillo lógico.

La inserción de una estación **en el anillo** es controlada por la unidad MAC de la tarjeta controladora de la estación. La unidad MAC inicia la inserción de la estación activando los dos pares de relés de la unidad de acoplamiento, de modo que las señales recibidas se reencaminen hacia la unidad MAC. La electrónica de recepción/transmisión de ésta lee la señal recibida y la repite (con un retraso) al anillo, si la trama no fue originada por la estación en cuestión, o no la repite en este último caso para eliminarla del anillo.

4.2.2.- El protocolo de subcapa MAC Token Ring

Podemos considerar a una red Token Ring como un conjunto de líneas punto a punto simplex que interconectan cada estación del anillo con la siguiente. Los bits se transmiten en un determinado sentido dentro del anillo. Cada bit y cada trama transmitida da la vuelta completa, por lo que a efectos prácticos la red funciona como un medio broadcast.

Cada estación de la red puede funcionar en uno de los dos modos siguientes:

- **Modo a la escucha:** cada bit que se recibe del ordenador anterior se transmite al siguiente. En algunos casos que luego veremos un ordenador a la escucha puede modificar algún bit de la trama que pasa por él.
- **Modo transmisión:** el ordenador emite una secuencia de bits propia (trama) hacia el siguiente; paralelamente recibe y procesa los bits que le llegan del ordenador anterior en el anillo.

En un determinado momento sólo un ordenador en una red Token Ring puede estar en modo transmisión, y los demás han de estar a la escucha. Si no hay tráfico en la red todos los ordenadores están a la escucha.

El protocolo Token Ring funciona de la siguiente manera:

- Cuando ningún ordenador desea transmitir, todos están en modo escucha y se envía por el anillo una secuencia de tres bytes denominada *token*, que va pasando de un ordenador a otro.
- Cuando algún ordenador desea transmitir debe en primer lugar esperar a que pase por él el token; en ese momento modifica un bit de éste, con lo que el token se convierte en el delimitador de inicio de trama; a partir de ese momento el ordenador pasa a modo transmitir y envía la trama.
- Todos los demás ordenadores del anillo (incluido aquel para el que va destinada la trama) siguen en modo escucha, por lo que retransmitirán la trama recibida bit a bit hacia el siguiente ordenador; el ordenador destinatario además de retransmitirla retiene una copia de la trama que pasará al nivel de red para su proceso.
- Pasados unos instantes desde el inicio de la transmisión el ordenador emisor empieza a recibir su misma trama, que le es enviada desde el ordenador anterior; el transmisor puede optar entonces por descartar los bits recibidos o compararlos con la trama enviada para verificar si la transmisión ha sido correcta.
- Cuando el ordenador ha terminado de transmitir el último bit de su trama pueden ocurrir dos cosas: que restaure el token en el anillo inmediatamente, o que espere a recibir de la estación anterior toda su trama y solo entonces restaure el token. El primer modo de funcionamiento se conoce *Early Token Release* y es el que se utiliza en las redes de 16 Mb/s; el segundo es el utilizado en las redes de 4 Mb/s.

Si el ordenador transmisor tiene varias tramas listas para emitir puede enviarlas una tras otra sin liberar el token, hasta consumir el tiempo máximo permitido, denominado 'token-holding time', que normalmente es de 10 mseg. Una vez agotadas las tramas que hubiera en el buffer, o el tiempo permitido (lo que ocurra primero) el ordenador restaura el token en el anillo. Bajo ninguna circunstancia debe un ordenador estar en modo transmitir durante un tiempo superior al token-holding time; si la longitud de la trama a enviar es tal que no terminaría de enviarse dentro del tiempo restante se regenera el token y se espera a la siguiente vuelta para enviarla. Esta condición establece un tamaño máximo para la trama; así por ejemplo en una Token Ring de 4 Mb/s con un token-holding time de 10 ms una trama nunca podrá ser mayor de 5.000 bytes.

Cada estación que se integra en la red añade una cierta cantidad de 'jitter' en la retransmisión de la información, lo cual limita el número máximo de estaciones que pueden estar presentes en una red Token Ring. En las redes de 4 Mb/s con cable UTP el máximo de estaciones es de 72, mientras que en las de 16 Mb/s con cable STP el máximo es de 250 estaciones.

4.2.3.- El protocolo de subcapa MAC Token Ring

Hay dos formatos básicos de tramas que se emplean en Token Ring: la **trama del testigo** y las **tramas de datos**. El testigo es el medio empleado para pasar el permiso de transmisión de una estación a otra, mientras que la trama de datos es el medio empleado por una estación para enviar datos o información de control de acceso al medio a otra estación a través del anillo. La Figura 4.4 muestra el formato de ambas tramas.

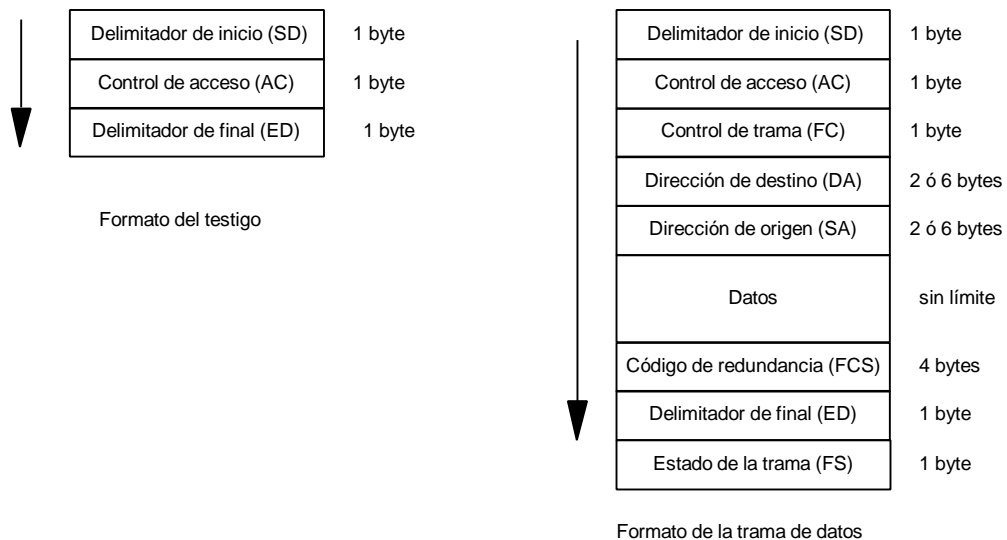


Figura 4.4 Formato de las tramas Token Ring

En la Figura 4.5 se muestran las secuencias de bits empleados en cada uno de los campos de las tramas.

J K O J K O O O	Delimitador de inicio (SD)
J K 1 J K 1 I E	Delimitador de final (ED)
P P P T M R R R	Control de acceso (AC)
F F Z Z Z Z Z Z	Control de trama (FC)
I/G 15/47 bits de dirección	Direcciones de origen y destino (SA y DA)
AC xx AC xx	Estado de la trama (FS)

Figura 4.5 Codificación de los diferentes campos de la trama

El **Delimitador de Inicio (SD)** y el **Delimitador de Final (ED)** son secuencias de bits especiales que marcan el inicio y fin de una trama a la vez que permiten la transparencia de datos. Explotan el método de codificación empleado: Manchester Diferencial. Los símbolos J y K son violaciones del código, puesto que emplean niveles constantes de tensión en todo el período del bit; J tiene la misma polaridad que los símbolos precedentes, mientras que K tiene la polaridad opuesta. Esto permite una fácil identificación del inicio de la trama.

En el Delimitador de Final (ED) sólo sus seis primeros bits forman una secuencia inválida, los dos últimos bits tienen la siguiente interpretación:

- En un testigo, tanto I como E son ceros.
- En una trama normal, el bit I indica si la trama es la primera, o una trama intermedia, en una secuencia (I = 1) o la última, o única, trama (I = 0).
- El bit E se emplea para la detección de errores. Es puesto a 0 por la estación que origina la trama, pero si una estación cualquiera detecta un error al recibir o retransmitir la trama (por ejemplo una secuencia de símbolos inválida en la codificación Manchester diferencial, o un error en el campo checksum) pone el bit E a 1 para indicar a la estación transmisora que se ha detectado un error.

El campo de **Control de Acceso (AC)** comprende los bits de **Prioridad (PPP)**, el bit de **Testigo (T)**, el bit de **Monitor (M)** y los bits de **Reserva (RRR)**. Cuando forman parte de un testigo, los bits de Prioridad (P) indican la prioridad del testigo y por tanto las tramas que puede transmitir una estación

cuando lo recibe (sólo aquellas cuya prioridad sea igual o mayor que la del testigo). El bit de testigo (T) identifica a un testigo cuando está a 0 y a una trama cuando está a 1. El bit de monitor (M) lo utiliza el monitor activo para evitar que un testigo o una trama pueda circular continuamente por el anillo. Finalmente, los bits de reserva (R) permiten a las estaciones del anillo con tramas de prioridad elevada en espera de ser transmitidas pedir que el siguiente testigo sea de la prioridad que necesitan.

Las direcciones tienen el mismo formato que en 802.3. Normalmente sólo se utilizan las de 6 bytes. El primer bit de este campo indica si la dirección es individual (0) o de grupo (1). El campo Dirección de Origen es siempre una dirección individual e identifica a la estación transmisora. Una dirección de destino compuesta por unos es identificada como una dirección de "broadcast" e indica que la trama está dirigida a todas las estaciones del anillo.

El **Campo de Información** se utiliza para incluir bien datos de usuario o información de control adicional en las tramas MAC. Aunque no hay una longitud máxima especificada para el campo de información, está limitado en la práctica por el tiempo máximo que una estación puede transmitir cuando dispone del testigo.

La **Secuencia de Comprobación de Trama** (FCS) es un campo que contiene un código CRC de 32 bits (el mismo que en 802.3 y 802.4).

El campo FS (frame status) contiene dos bits denominados A y C (Address-recognized y frame-Copied) que están siempre a cero en la trama enviada. Cuando la trama pasa por el ordenador de destino, éste pone a 1 el bit A; si además la interfaz de red ha podido copiar la trama en su buffer pondrá también a 1 el bit C (un ordenador podría no poder copiar una trama por carecer de espacio en su buffer, por ejemplo). Los dos bits siguientes están reservados. La estructura de los cuatro primeros bits se repite idéntica en los cuatro siguientes, de forma que los bits A y C están repetidos. Esto da una mayor seguridad ya que por su posición en la trama el byte FS no es comprobado en el checksum.

La estructura de un token es una versión simplificada de la de una trama. Contiene únicamente los campos SD, AC y ED. En el campo AC el bit de token está siempre puesto a 0. En el campo ED los bits I y E están siempre a 0.

De la estructura de una trama token ring podemos deducir algunas de sus características:

- El protocolo incorpora un mecanismo de acuse de recibo en los bits A y C del campo FS.
- El bit E del campo ED suministra un mecanismo de detección de errores en la transmisión, que también está integrado en el protocolo.
- Por otro lado, el campo AC dispone de tres bits para prioridad, lo cual permite establecer hasta 8 niveles distintos de prioridad.

4.2.4.- Procedimientos de transmisión y paso de testigo

Al recibir desde la estación una información a transmitir, la unidad MAC encapsula los datos en el formato indicado anteriormente y espera a la recepción de un testigo con una prioridad menor o igual que la de la trama. En un sistema que emplee múltiples prioridades, debe seguirse un procedimiento para asegurar que todas las estaciones tengan oportunidad de transmitir tramas en un orden correcto de prioridad.

Cuando la unidad MAC en espera de transmitir una trama de información recibe el testigo y detecta que la prioridad del mismo es igual o menor que la prioridad de la trama que está esperando a ser transmitida retiene el testigo, cambiando el bit de testigo (T) en el campo de Control de Acceso (AC) de 0 a 1 antes de repetir la trama, convirtiendo el testigo en una secuencia de inicio de trama de datos. La unidad MAC deja de repetir la señal entrante y tras la cabecera de la trama introduce el contenido de la trama a transmitir. Mientras transmite el contenido de la trama, se calcula el FCS que se añade al final de ésta, antes de transmitir la secuencia de final de trama.

Una vez que ha comenzado la transmisión, la unidad MAC deja de repetir, eliminando la trama transmitida después de que ésta circule por el anillo. Además, comprueba el estado de los bits de Dirección Reconocida (A) y de Trama Copiada (C) del campo de Estado de Trama (FS) para

determinar si se ha copiado ésta o no. A continuación, y si no tiene más tramas en espera de ser transmitidas genera un nuevo testigo y lo pone en el anillo, para permitir que otra estación consiga acceso al anillo. Es posible transmitir más de una trama, siempre que la prioridad de las demás tramas en espera sea mayor o igual a la prioridad del testigo y que el tiempo total para la transmisión de las tramas esté dentro del tiempo de mantenimiento del testigo.

Además de repetir la señal recibida, la unidad MAC de cada estación activa del anillo, detecta el inicio de cada trama reconociendo las secuencias de bits de inicio de la misma. Determina entonces si simplemente debe retransmitir la trama o copiarla a la estación. Si los bits FF del campo de Control de Trama indican que la trama es de tipo MAC, se copia la trama y se interpretan los bits ZZZZZZ, y si es necesario se actúa sobre ellos; si la trama contiene información y la dirección de destino coincide con la individual de la propia estación o la de su grupo, se copia el contenido de la trama al buffer de trama y se procesa posteriormente. En cualquiera de estos dos casos los bits A y C del campo de Estado de Trama se cambian antes de repetirlos.

Las tramas Token Ring tienen un Interframe Gap menor que Ethernet, de sólo 1 byte (equivalente a 2 μ s) en las redes de 4 Mb/s y de 5 bytes (equivalente a 2,5 μ s) en las de 16 Mb/s. Esto se debe a que en Token Ring no es preciso utilizar el Interframe Gap como indicador del principio o final de la trama, estos están delimitados mediante las secuencias SD y ED.

Resumiendo, el protocolo MAC de Token Ring incorpora una serie de mecanismos que permiten:

- Definir niveles de prioridad
- Disponer de mecanismos de acuse de recibo y detección de errores en la red
- Un sistema de asignación de canal que permite ocupar prácticamente en su totalidad el ancho de banda disponible sin que se produzcan colisiones.

A cambio la necesidad de esperar la llegada del token impone una mayor latencia que Ethernet en situaciones con poca carga.

4.2.5.- Mecanismo de prioridad

Después de formatear una trama y antes de recibir el testigo adecuado para poder transmitir (uno con una prioridad menor o igual que la de la trama), cada vez que la unidad MAC repite una trama de datos o un testigo con una prioridad superior a la esperada se lee el valor de los bits de Reserva (RRR) del campo de Control de Acceso. Si este valor es mayor que la prioridad de la trama en espera, los bits de reserva se repiten sin cambios. Si es menor, la unidad MAC reemplaza el valor actual con la prioridad de la trama en espera. Así, suponiendo que no hay tramas de mayor prioridad esperando a ser transmitidas, el propietario del testigo lo pasará con esta prioridad. En la Figura 4.6 puede apreciarse el mecanismo de prioridad seguido en este caso.

- P_m = prioridad del tráfico en la estación m
- P_r = prioridad del testigo o trama recibido
- R_r = reserva del testigo o trama recibido
- S_r = Pila donde se almacenan los valores viejos de la prioridad del Token
- S_x = Pila donde se almacenan los nuevos valores asignados al Token

El algoritmo que sigue la estación m-ésima es:

1. Para transmitir, espera un testigo tal que $P_r \leq P_m$.
2. Al llegar, bien un testigo con $P_r > P_m$, bien una trama de datos cualquiera, si $R_r < P_m = R_r = P_m$ (i.e. reserva el testigo). Cuando la trama de datos vuelva a su originador éste emitirá un token de la prioridad solicitada, que será la más alta que hubiera pendiente en el anillo.
3. Si la estación se queda con el testigo ($P_m = P_r$), no modifica la prioridad de éste (vuelve a salir con P_r , no con P_m), pero cambia la reserva (R_r), poniéndola a 0.

4. Al generar un nuevo testigo (después de la transmisión):
 - $P_r = \max(P_r, R_r, P_m) =$ Ponemos P_m por si me quedan tramas sin transmitir.
 - $R_r = \max(R_r, P_m) =$ Ídem.
5. Una estación que eleva la prioridad del testigo es responsable de devolverla a su valor original posteriormente. (p.e. si la sube de 3 a 4, luego deberá bajarla de 4 a 3).

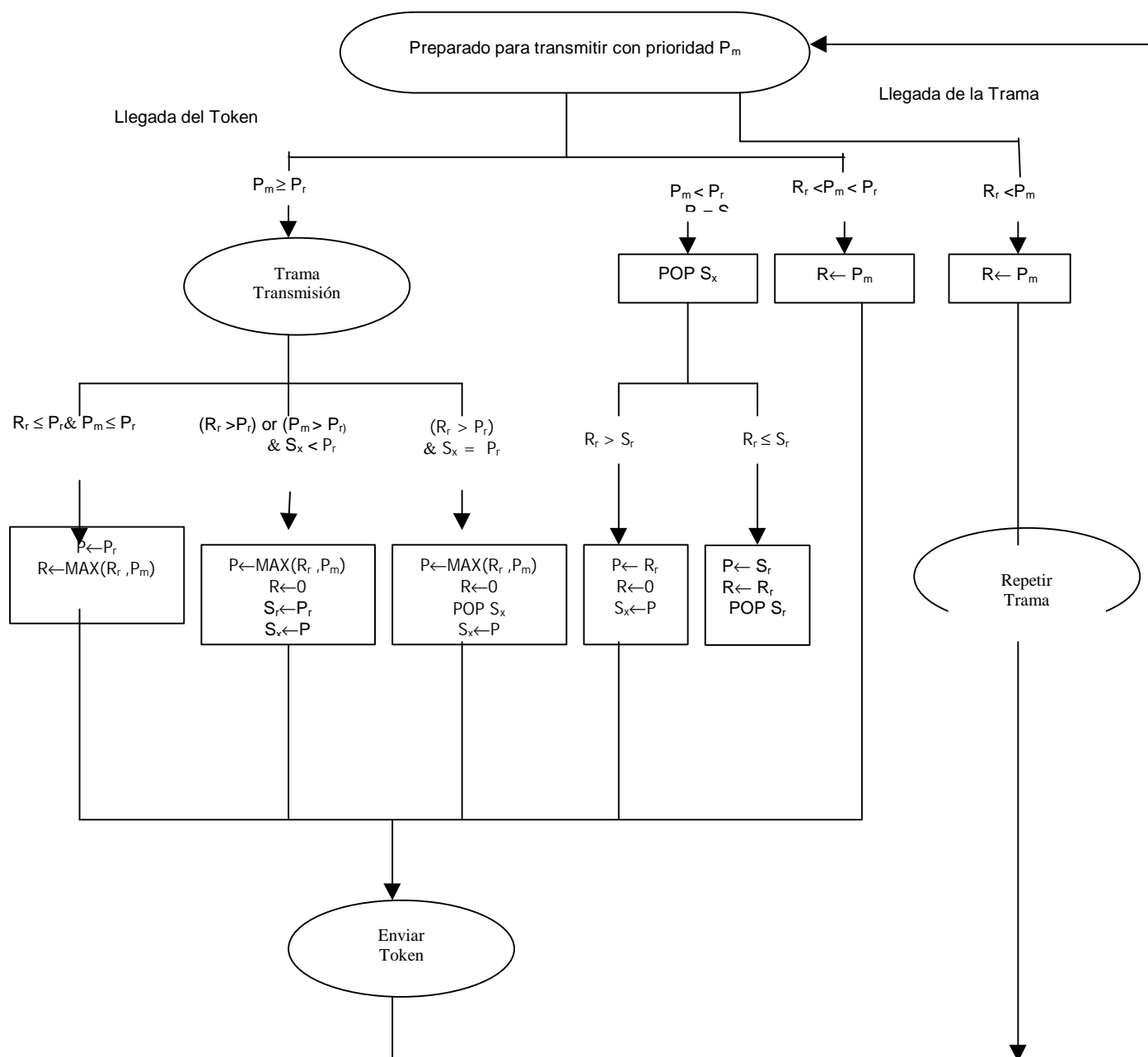


Figura 4.6 Mecanismo de prioridad en una estación en espera de transmitir una trama

Para que el esquema de prioridad sea operativo IEEE 802.5 especifica que la estación que ha subido la prioridad del testigo en una vuelta tiene la obligación de devolverla al estado en que la encontró en la vuelta siguiente (salvo que haya que atender a una nueva reserva y se posponga la reducción de la prioridad del testigo a una vuelta posterior).

En la Figura 4.7 se ilustra el mecanismo de prioridad seguido por una estación en estado de escucha, es decir sin ninguna trama de información pendiente de ser transmitida, que elevó la prioridad del testigo con anterioridad.

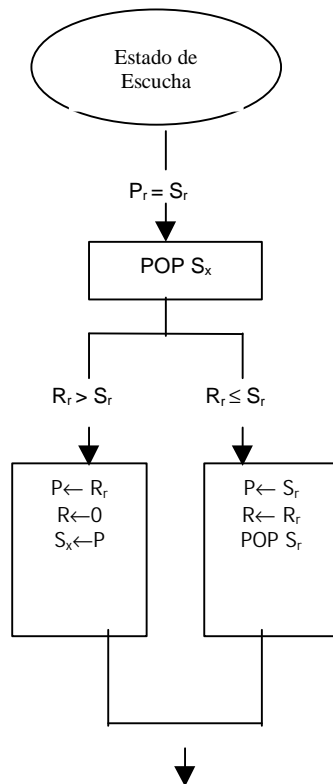


Figura 4.7 Mecanismo de prioridad en una estación en estado de escucha

Aunque Token Ring implementa un mecanismo con ocho niveles de prioridad en la práctica virtualmente todas las aplicaciones diseñadas para Token Ring utilizan únicamente la más alta, ya que a falta de un mecanismo que motivara a emplear prioridades inferiores nadie está interesado en utilizarlas. Esta funcionalidad se ha traducido pues en algo inútil pero complejo y costoso de implementar.

Existe una iniciativa denominada High Speed Token Ring dirigida a modificar el estándar para incluir velocidades de funcionamiento superiores.

4.2.6.- Mantenimiento del anillo

Hasta ahora hemos supuesto que los tokens están permanentemente 'flotando' en la red cuando no hay tramas de datos viajando. Pero que ocurre si por ejemplo se pierde una trama, o si sencillamente la estación encargada de regenerar el token desaparece de repente?. En toda red Token Ring hay una estación denominada *monitor* que se ocupa de resolver estas situaciones y garantizar el normal funcionamiento del protocolo. En caso de problemas restaurará un token en el anillo para que el tráfico pueda seguir circulando normalmente. Cualquier estación de una red token ring está capacitada para actuar como monitor en caso necesario.

Tipo de trama	Función
Duplicate Adress Test (DAT)	Permite que una estación determine que ninguna otra estación del anillo está usando su propia dirección.
Standby Monitor Present (SMP)	Permite a una estación determinar la dirección de su sucesor en el anillo.
Active Monitor Present (AMP)	Se transmiten a intervalos regulares por los monitores activos, cada estación monitoriza su paso.
Claim Token (CT)	Se emplea para determinar un nuevo monitor activo si falla el monitor actual.
Purge (PRG)	Lo emplea un monitor activo nuevo para inicializar todas las estaciones en estado inactivo.
Beacon (BCN)	Se emplea en el procedimiento de "beaconing"

Tabla 4.1

Inicialización

Cuando una estación desea formar parte del anillo, debe llevar a cabo una secuencia de inicialización completa para asegurarse que no hay ninguna estación en el anillo que esté empleando su propia dirección, y en segundo lugar para informar a su vecino inmediato que ha entrado (o reentrado si anteriormente formaba parte del anillo) en el anillo.

El procedimiento de inicialización comienza con la transmisión, por parte de la estación, de una **trama de prueba de dirección duplicada** (DAT) con los bits A del campo estado de la trama (FS) puestos a cero. Al recibir una trama DAT, cada estación activa del anillo inspecciona el campo DA y si determina que corresponde a su propia dirección pone los bits A a uno. Así, si la trama DAT vuelve a la estación que la originó con los bits A puestos a uno, ésta se pondrá en estado de "bypass". Si por el contrario, los bits A son iguales a cero, la estación continúa la secuencia de inicialización transmitiendo una **trama de monitor standby presente** (SMP).

Una estación que recibe una trama SMP con los bits A y C puestos a cero, considera la trama como originada por su vecino inmediato y por lo tanto registra la dirección SA de la trama como la dirección de su vecino corriente arriba (UNA). Con esto se completa la fase de inicialización.

Monitor Standby

Todas las estaciones activas en el anillo son "monitor standby" y sólo una de ellas en cada momento puede ser "monitor activo".

El monitor se ocupa, entre otras, de una importante función. El token es de 24 bits pero no se almacena en ningún ordenador en concreto, sino que va pasando bit a bit de uno a otro. Para que el protocolo pueda funcionar es necesario que el tamaño de la red permita mantener el token 'volando' en todo momento. Por ejemplo, en una red Token Ring de 4 Mb/s se emite un bit cada 0,25 μ s, equivalente a una longitud de 50m (a 200.000 Km/s); en este caso un anillo de 1.200 metros permitiría mantener en el cable los 24 bits del token, aún cuando todos los ordenadores de la red estuvieran fuera de servicio. Inversamente, en un anillo con 24 ordenadores funcionando, independientemente de cual fuera la longitud del anillo, los 24 bits siempre podrían estar en los buffers de los ordenadores que se encuentran a la escucha (cada uno de ellos tiene un buffer de un bit); sin embargo, si el número de ordenadores conectados y la longitud de cable existente no permiten albergar el token la red podría dejar de funcionar al no tener el anillo capacidad suficiente. El monitor se ocupa entonces de facilitar los buffers necesarios para garantizar que en todo momento la red puede albergar los 24 bits del token.

Una vez completada la secuencia de inicialización, la estación puede empezar a transmitir y recibir testigos y tramas normales. Además, la estación entra en estado de monitor Standby para monitorizar continuamente el correcto funcionamiento del anillo. Esto se lleva a cabo monitorizando el paso de testigos y **tramas de monitor activo presente (AMP)** a medida que el interface del anillo las repite.

Cuando una estación detecta la pérdida del monitor activo entra en un estado de "petición de testigo" en el que intenta convertirse en el nuevo monitor activo, tal y como se indica en la Figura 4.8. La **trama de petición de testigo (CT)** se utiliza para resolver la contienda entre todas aquellas estaciones que desean convertirse en monitor activo. Cada estación transmitirá de forma continua tramas CT, inspeccionando al mismo tiempo el campo dirección destino (DA) de las tramas que recibe y actuando de la siguiente forma:

- Si SA es su propia dirección, significa que la trama CT recibida es una de las tramas CT que él mismo envió, y por tanto se convierte en el monitor activo;
- Si SA es menor que su propia dirección, continua enviando tramas CT;
- Si SA es mayor que su propia dirección, cesa la transmisión de tramas CT y vuelve al estado de repetición.

De esta forma, la estación con la dirección de red mayor se convertirá en el nuevo monitor activo.

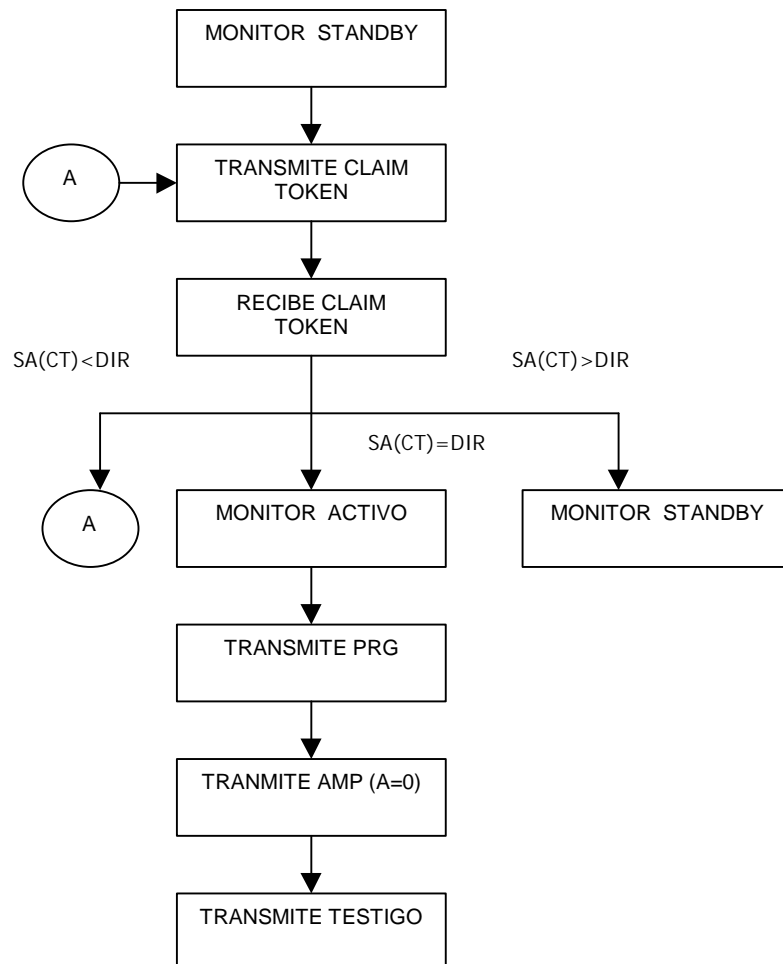


Figura 4.8 Mecanismo de inicialización de la anillo

Si la estación tiene éxito en su intento de convertirse en el nuevo monitor activo, inicia la transmisión de una trama de purga (PRG) para asegurarse antes de transmitir un nuevo testigo de que no hay otros testigos o tramas en el anillo. Cuando una estación recibe una trama PRG que contiene una

dirección SA igual a la suya, entiende que el anillo ha sido purgado con éxito. La estación inicia el proceso de notificación al vecino difundiendo una trama AMP. Después de un tiempo, esto es seguido por la transmisión de un nuevo testigo.

La estación inmediata al monitor activo detecta que los bits A de la trama AMP están a cero y por lo tanto lee la UNA de la trama y actualiza su propia variable UNA. Pone entonces los bits A y C a uno y repite la trama. Las siguientes estaciones detectarán que los bits A y C no son cero y simplemente registran el paso de la trama AMP poniendo a cero el temporizador de AMP.

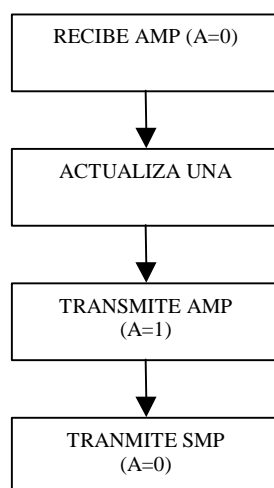


Figura 4.9 Mecanismo de inicialización del anillo en la estación que sigue al monitor activo

La estación inmediata al monitor activo detecta que los bits A de la trama AMP están a cero, por lo que sabe que la estación que le precede es el monitor activo (ya que ninguna otra estación ha recibido previamente la trama AMP). Lee la Dirección de Origen y actualiza su propia variable UNA (que contiene la dirección de la estación que le precede en el anillo). Pone entonces los bits A y C de la trama AMP a 1 y repite la trama. Las siguientes estaciones detectarán que los bits A y C no son cero y simplemente registran el paso de la trama AMP poniendo a cero el temporizador de AMP que controla la existencia de un monitor activo en el anillo. Inmediatamente, la estación que sigue al monitor activo transmitirá una trama de Monitor Standby Presente (SMP) para notificar a la siguiente estación su propia dirección y de esta forma ir constituyendo el anillo. La segunda estación después del monitor activo, al recibir la trama SMP con los bit A y C a 0 leerá la dirección de origen de la misma y actualizará el valor de UNA retransmitiendo la trama SMP con los bit A y C puestos a 1 y generando a continuación su propia trama SMP. En la Figura 4.9. puede apreciarse el mecanismo de la estación que sigue al monitor activo.

Este procedimiento se lleva a cabo por cada estación del anillo y es reinicializado por cada monitor activo que transmite una trama AMP a intervalos regulares. De este modo, cada estación activa del anillo puede detectar fallos en una estación tales como el "jabbering" (envío continuo de testigos); la ausencia de tramas AMP significará que el temporizador AMP de todas las estaciones expirará, iniciando por tanto la transmisión de tramas CT, y seguido, si la falta persiste por un procedimiento de diagnósticos de fallos conocido como "beaconing".

El monitor activo monitoriza la correcta operación del anillo detectando la pérdida del testigo y generando uno nuevo y controlando el fallo en la eliminación de una trama del anillo por parte de la estación que la generó. En el diagrama de la Figura 4.10 pueden verse las funciones desarrolladas por el monitor activo.

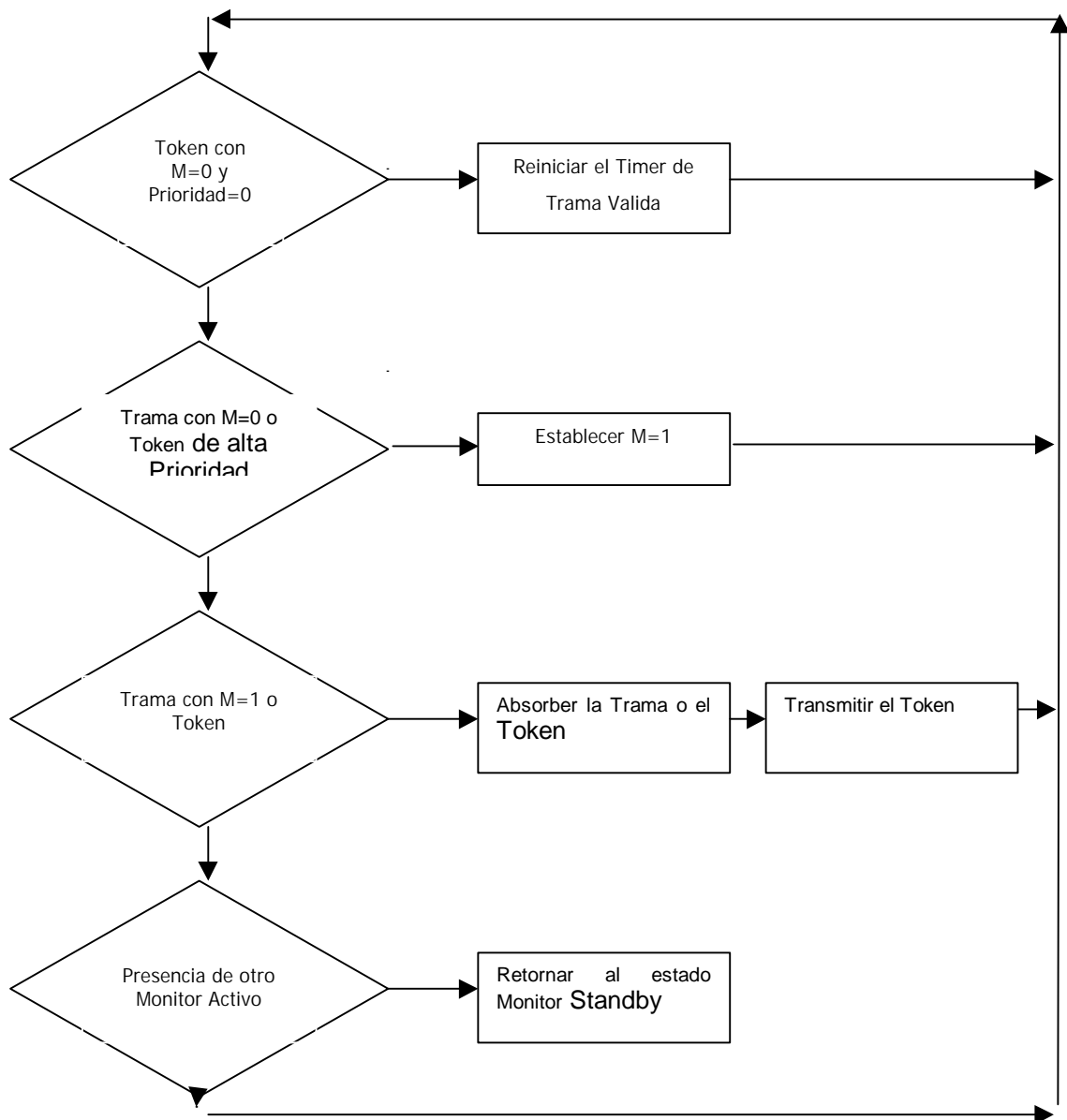


Figura 4.10 Funciones del monitor activo

Beaconing

Las **tramas beacon** (BCN) se utilizan para aislar fallos serios en el anillo, como por ejemplo una ruptura del anillo. Cuando la estación intenta llevar a cabo el procedimiento de "petición de testigo", este proceso expirará al no poder resolverse. En este momento la estación transmite una trama beacon para indicar el fallo.

En el procedimiento de "beaconing" podemos diferenciar los siguientes elementos:

- La estación que reporta el fallo, que se denomina "estación de beaconing".
- Una estación adyacente anillo que precede a la anterior.
- El medio físico del anillo entre ambas.

Normalmente, se entra en estado de beaconing si expiran los temporizadores asociados con el AMP o los procedimientos de paso de testigo. En este estado, se transmiten continuamente tramas de supervisión de beacon (BCN) hasta que o bien se recibe una trama de beacon o expira un temporizador. Si ocurre esto último, se le notifica al nivel de gestión de red y cesa la transmisión. Si

por el contrario una estación recibe una trama beacon con una SA igual a su dirección, se considera que ha desaparecido el problema y la estación queda en estado de monitor standby.

La Figura 4.11(a) muestra un ejemplo donde se ha interrumpido el anillo entre las estaciones F y G. En este ejemplo, la estación G es la estación de beaconing y F es su vecina. Normalmente, se entra en estado de beaconing si expiran los temporizadores asociados con el AMP o los procedimientos de paso de testigo. En este estado, se transmiten continuamente tramas de beacon (BCN) hasta que se recibe una trama de beacon o expira un temporizador. Si ocurre esto último, se le notifica al nivel de gestión de red y cesa la transmisión. Si por el contrario una estación recibe una trama beacon con una Dirección de Origen igual a la suya, considera que ha desaparecido el problema y la estación queda en estado de monitor standby.

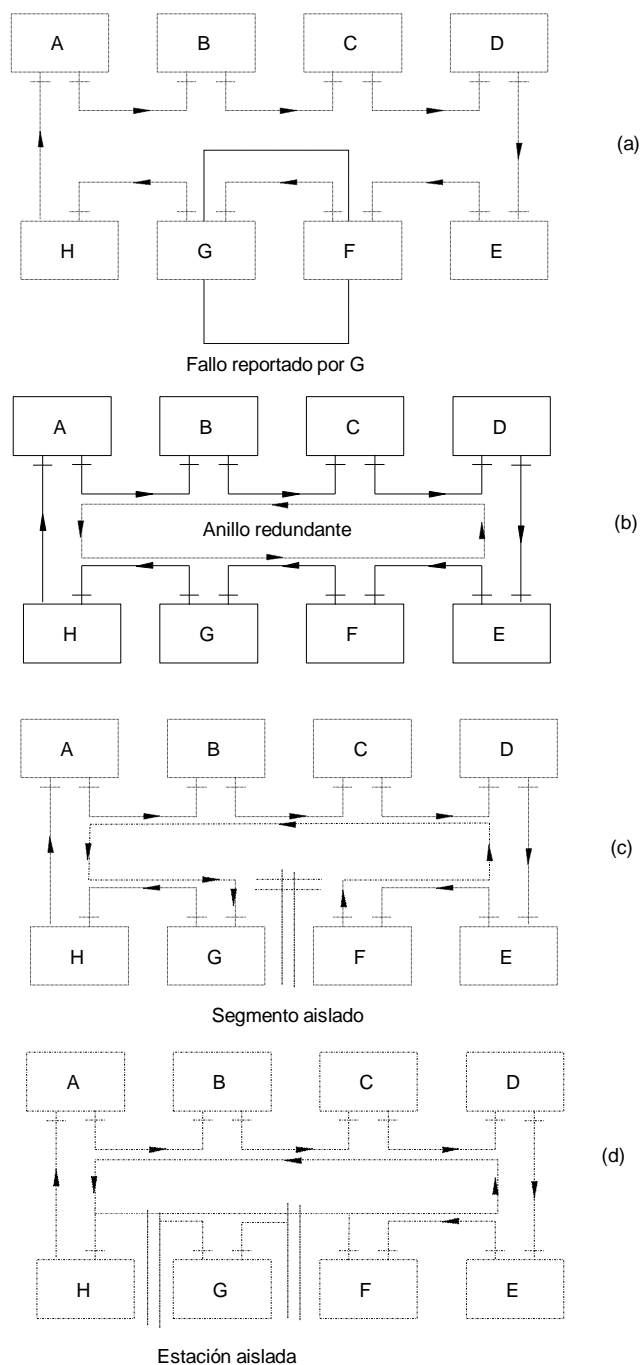


Figura 4.11 Rotura de un anillo

Cuando se produce la rotura de un anillo, se utiliza el segundo anillo redundante cuya dirección de transmisión es opuesta a la del primero para reconstruir el anillo, tal y como se ve en la Figura 4.11 (b).

En este caso, la unidad de acoplamiento además de soportar las funciones que se mencionaron anteriormente, puede emplearse para aislar un segmento averiado en el anillo. En la Figura 4.11 (c) se muestra como se aísla el segmento averiado. Cuando se ha localizado el segmento averiado, los relés de la unidad de acoplamiento de F y G se activan para restablecer un anillo continuo. Si aislando este segmento no se elimina el fallo, el siguiente paso es aislar completamente la estación G, tal y como se muestra en la Figura 4.11(d). Puede verse que en el caso del anillo redundante, éste no tiene conexión directa con la unidad MAC y sólo se usa para poder aislar una sección del anillo. De este modo, el orden de las estaciones del anillo reestablecido es el mismo que el del anillo original.

Puede concluirse que los procedimientos de control de acceso al medio en las redes Token Ring son mucho más complicados que los de un bus CSMA/CD. Debe recordarse, sin embargo que la mayoría de los procedimientos anteriores se implementan en los circuitos de los controladores dentro de la unidad MAC y que por tanto la operación es transparente a los usuarios. Además, gran parte de la gestión del anillo sólo se utiliza cuando se producen fallos, y por tanto, la sobrecarga que originan es en conjunto, pequeña.

4.3.- IEEE 802.4 (TOKEN BUS).

Cuando se desarrollaba el estándar ethernet algunas grandes empresas interesadas en la automatización de fábricas tenían serias dudas de la viabilidad de su aplicación a sistemas en tiempo real. La razón principal de este reparo estaba en el comportamiento no determinista de Ethernet, en principio cabía la posibilidad de que dos ordenadores no pudieran comunicarse debido al exceso de tráfico en la red. No había un límite superior al caso más desfavorable. Además, no era posible reservar capacidad o establecer prioridades.

Token Ring resolvía muchos de los problemas que se le achacaban a Ethernet , pero seguía presentando dos inconvenientes serios: el papel de la estación monitor resultaba demasiado importante, y muchas cosas podían fallar si el monitor dejaba de funcionar o se volvía loco. Además, una topología en bus era mas adecuada que un anillo para la cadena de montaje de una fábrica.

En un intento por resolver estos inconvenientes, General Motors promovió el desarrollo del estándar 802.4, también llamado Token Bus. Esta red se utiliza en algunas fábricas para el control de la maquinaria. Su uso es mucho más restringido que Ethernet o Token Ring, por lo que sólo la describiremos muy brevemente.

De una manera muy simplista podemos decir que Token Bus es un híbrido entre Ethernet y Token Ring, si bien guarda mucho más parecido con esta última red. Tiene topología de bus. Las velocidades pueden ser de 1, 5 o 10 Mb/s. La señal se transmite de forma analógica sobre cable coaxial de 75 ohmios. El medio físico es completamente incompatible con Ethernet y mucho más complejo y caro.

El protocolo MAC es más parecido a Token Ring. Aunque la topología física es de bus las estaciones constituyen un anillo lógico sobre el que va pasando el token.

El derecho de acceso a la red se regula mediante una trama conocida como "testigo". Cuando una estación recibe el testigo, dispone del control del medio durante un cierto tiempo. En este caso, la estación puede transmitir uno o más paquetes, sondear las estaciones y recibir respuestas. Cuando la estación termina o si ha agotado el tiempo que puede retener el testigo, pasa éste a la siguiente estación en la secuencia lógica, que tomará el control del medio. La operación normal consiste por lo tanto en fases alternativas de transmisión de datos y transmisión de testigo.

Puede haber estaciones en el bus que no utilicen el testigo. Estas estaciones sólo pueden responder a sondeos o peticiones de reconocimiento. Por otro lado, también es importante tener en cuenta que la ordenación física de las estaciones sobre el bus es irrelevante e independiente de la ordenación lógica.

Debido a la naturaleza determinista del método de control de acceso al medio y a la capacidad de priorizar la transmisión de tramas, las redes Token Bus se emplean en la industria (automatización de factorías) y en entornos relacionados con estos como el control de procesos. En condiciones normales, la operatoria de este tipo de red es similar a la de una red en anillo con paso de testigo, sin embargo, debido a las diferencias en los dos métodos de acceso al medio (difusión para el bus y secuencial para el anillo), los procedimientos empleados para la gestión lógica del anillo, tales como la inicialización y la pérdida del testigo son diferentes.

Este esquema necesita un mantenimiento considerable. Es necesario que una o varias estaciones lleven a cabo por lo menos las siguientes funciones:

- **Inicialización del anillo.** El anillo debe inicializarse cuando se arranca la red, o después de que se haya roto el anillo lógico. Para ello es necesario algún algoritmo cooperativo, descentralizado que permita decidir quién va primero, quién segundo y así sucesivamente.
- **Adición al anillo.** Debe garantizarse que las estaciones que no participan en el anillo tengan oportunidad periódicamente de insertarse en él.
- **Eliminación del anillo.** Un estación puede retirarse voluntariamente del anillo uniendo lógicamente a su sucesor y predecesor.
- **Gestión de fallos.** Pueden producirse ciertos errores, como por ejemplo direcciones duplicadas (dos estaciones piensan que es su turno) y roturas del anillo (ninguna estación piensa que es su turno).

4.3.1.- El medio físico

Las redes Token Bus emplean normalmente cable coaxial como medio de transmisión y operan bien en banda ancha o en banda base modificada, conocida también como banda portadora. La circuitería de control del interface y de modulación desarrolla las funciones siguientes:

- Codificación de datos transmitidos (modulación).
- Decodificación de datos recibidos (demodulación).
- Generación de reloj.

El estándar IEEE 802.4 especifica las tres opciones de nivel físico que se detallan en la Tabla siguiente:

	Medio de transmisión	Tipo de señales	Velocidad (Mbps)	Longitud máx. del segmento
Banda Ancha	Cable coaxial (75Ω)	Banda Ancha (AM/PSK)	1,5,10	No especificado
Banda Portadora	Cable coaxial (75Ω)	Banda Ancha (FSK)	1,5,10	7600
Fibra Optica	Fibra Optica	ASK - Manchester	5,10,20	No especificado

Tabla 4.2

El primero es un sistema de Banda Ancha que soporta canales de datos a 1, 5 y 10 Mbps con anchuras de banda de 1, 5, 6 y 12 Mhz respectivamente. El estándar recomienda el uso de un sistema de cable simple con convertidor de frecuencia en la cabecera, si bien también está permitido una configuración de cable dual.

El segundo esquema se conoce como Banda Portadora o Banda Ancha de canal sencillo. Dado que la Banda Portadora se dedica a un solo canal de datos, no es necesario cuidar de que la salida del modem esté confinada a una anchura de banda reducida. La energía puede distribuirse en todo el espectro de frecuencias del cable. Como resultado, la electrónica es simple y barata comparada con la de Banda Ancha. Están especificadas velocidades de transmisión de 1, 5 y 10 Mbps para este sistema.

La opción más reciente es la que utiliza fibra óptica a velocidades de 5, 10 y 20 Mbps, utilizando una topología de estrella activa o pasiva.

4.3.2.- Formato de las tramas

El formato de las tramas Token Bus aparece descrito en la Tabla siguiente:

Campo	Longitud (bytes)	Formato o significado
SD (Start Delimiter)	1	JK0JK000
FC (Frame Control)	1	FFZZZZZZ
Dirección de destino	2 ó 6	IEEE 802
Dirección de origen	2 ó 6	IEEE 802
Datos	< 8182	Cualquiera
Checksum	4	CRC
ED (End Delimiter)	1	JK1JK1IE

Tabla 4.3 Formato de las tramas

El Preámbulo se utiliza para sincronizar el reloj del receptor, como en el caso de 802.3, pero puede ser tan corto como un octeto.

Los campos Delimitador de Inicio y Final de Trama (SD y ED) se utilizan para marcar los límites de la trama. Estos dos campos tienen una codificación analógica de símbolos diferentes al 0 y 1, por lo que no pueden aparecer accidentalmente en la información. Como resultado de esto, no se necesita incluir un campo para la longitud.

Para las tramas de datos, el campo de Control de Trama (FC) transporta la prioridad de la trama, así como un indicador que le solicita a la estación destinataria asentir, sobre la recepción correcta o incorrecta de la trama. Sin este indicador, el destinatario no podría enviar ninguna información porque no tiene el testigo. Para las tramas de control, este campo de control de la trama se emplea para especificar el tipo de trama. Entre los tipos que están autorizados se incluyen las tramas de transferencia de testigo y varias tramas de mantenimiento del anillo, así como el mecanismo para dejar entrar nuevas estaciones al anillo y el que permite que salgan estaciones del anillo, etc.

Los campos de Dirección de Destino y de Origen (DA y SA) tienen el mismo formato que en 802.3. Al igual que allí, una red deberá usar direcciones de 2 octetos o de 6 octetos, pero no una mezcla de ambas. La norma 802.4 inicial admite cualquiera de los dos tamaños. El direccionamiento individual y de grupo, así como las asignaciones de dirección local y global son idénticos a los del 802.3.

Cuando se utilizan direcciones de 2 y 6 octetos, el Campo de Datos puede tener una longitud de hasta 8182 y 8174 octetos respectivamente. Esta longitud es más de cinco veces mayor que la trama máxima de 802.3. Con el paso de testigo en bus, los temporizadores se pueden utilizar como una medida antimonopolizadora cuando sea necesario, aunque es muy conveniente poder enviar tramas largas cuando no se persigue tráfico en tiempo real.

El Código de redundancia (FCS) se utiliza para detectar los errores en la transmisión, empleando el mismo algoritmo y polinomio que en 802.3.

La Tabla siguiente describe las tramas de control del paso de testigo en bus. Además del testigo, el uso del resto de las tramas se relaciona con las labores de gestión del anillo.

Tipo de trama	Función
Petición de Testigo Claim Token	Se emplea durante la secuencia de inicialización del anillo lógico para reclamar el testigo.
Solicitud de sucesor Solicit Successor	Se emplea para permitir que una estación entre en el anillo.
¿Quién me sigue? Who follows me	Se utiliza en el procedimiento que permite a una estación determinar la dirección de la estación que le sucede en el anillo, tras una pérdida de testigo.
Resolución de contienda Resolve contention	Se emplea en el procedimiento que permite a una nueva estación entrar en el anillo, cuando varias estaciones desean incorporarse al mismo.
Establecer Sucesor Set successor	Permite a una estación que entra en el anillo informar a su nuevo predecesor que se unido al anillo. También se emplea por las estaciones que desean abandonar el anillo.
Testigo Token	Trama testigo de control de acceso al medio.

Tabla 4.4. Tipos de Tramas Token Bus

4.3.3.- Procedimiento de Transmisión y paso de testigo.

Operación básica

El esquema de la Figura 3.4. muestra la operación básica de una red Token Bus. Existe un sólo testigo, y sólo la estación que está en posesión del testigo puede transmitir una trama. Todas las estaciones que pueden iniciar la transmisión de una trama están enlazadas en forma de un anillo lógico. El testigo se pasa empleando físicamente el bus alrededor de un anillo lógico. Así, cuando una estación recibe el testigo de su predecesor en el anillo, puede transmitir las tramas que tenía listas hasta un máximo definido. Entonces pasa el testigo a su sucesor en el anillo.

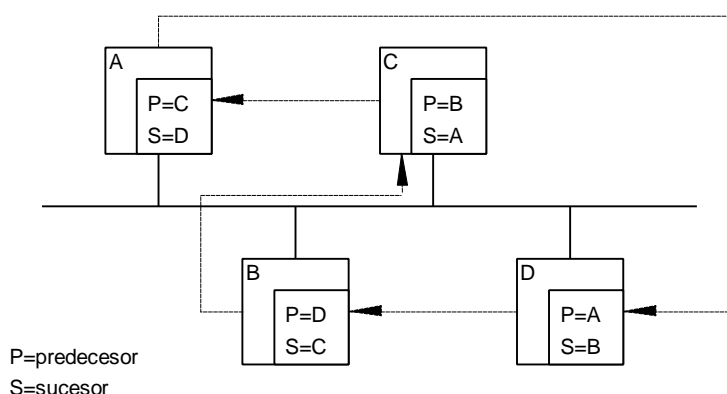


Figura 4.12 Configuración lógica en el anillo de una red Token Bus

Antes de describir los distintos procedimientos de gestión del anillo, quizás sea interesante recalcar las dos propiedades básicas de las redes de tipo bus:

1. En primer lugar, en un bus, todas las estaciones están conectadas directamente al medio de transmisión y por tanto, cuando una estación transmite una trama al medio, todas las estaciones activas de la red la escuchan.
2. En segundo lugar, hay un tiempo máximo que una estación debe esperar antes de suponer que o bien la trama se ha corrompido o que la estación destinataria de la misma está inoperante. Este tiempo se conoce como **ranura de tiempo**, y puede definirse como:

$$\text{Ranura de tiempo} = 2 \cdot (\text{tiempo de transmisión} + \text{tiempo de procesamiento})$$

donde el 'tiempo de transmisión' es el retraso en el peor de los casos de la transmisión desde un transmisor a un receptor en la red, y el 'tiempo de procesamiento' es el tiempo máximo que la unidad MAC de una estación necesita para procesar una trama recibida y generar una respuesta apropiada. Generalmente se añade un margen de seguridad y el valor de la ranura de tiempo se expresa en intervalos de bit redondeados a un número múltiplo de octetos.

En la operación normal, el testigo se pasa de una estación a otra en el anillo lógico empleando una trama corta de testigo. Cada estación sólo necesita conocer por lo tanto la dirección de la siguiente estación en el anillo. Si ocurre que una estación no acepta el testigo, la estación que lo posee emplea una serie de procedimientos de recuperación para encontrar un nuevo sucesor; estos procedimientos son cada vez más drásticos a medida que avanzan los intentos de la estación por encontrar un sucesor. Otros procedimientos están relacionados con la inicialización del anillo y el mantenimiento de la operación correcta del mismo al incorporarse o retirarse una estación del mismo. Aunque es posible asignar prioridades al testigo, sólo se considera un prioridad simple inicialmente.

Paso de testigo

Al recibir un testigo válido, una estación tiene permiso para transmitir las tramas que tenga en espera. Una vez finalizada la transmisión, pasará el testigo a su sucesor, y después de enviarlo, la estación escucha cualquier actividad en el bus para asegurarse de que su sucesor está activo y ha recibido el testigo, pasando por tanto a estado de recepción. El procedimiento completo empleado aparece reflejado en la Figura 4.13.

Si escucha la transmisión de una trama válida, supone que todo va bien y que el sucesor ha recibido el testigo correctamente. Sin embargo, si no escucha una trama válida después de un cierto intervalo de tiempo, debe tomar alguna medida correctora. Si después de enviar el testigo la estación escucha ruido, o bien una trama con un FCS incorrecto, continúa escuchando de uno a cuatro ranuras de tiempo más. Si tampoco ha escuchado nada, la estación supone que el testigo se ha corrompido durante la transmisión y repite la transmisión del testigo.

Alternativamente, si se escucha una trama válida durante el intervalo de cuatro ranuras de tiempo, supone de nuevo que su sucesor tiene el testigo. También, si se escucha un segundo ruido durante este intervalo, la estación lo trata como si su sucesor estuviera transmitiendo una trama válida y supone que el testigo ha sido pasado correctamente.

Si después de repetir la operación de paso de testigo y los procesos de monitorización anteriores, el sucesor no responde al segundo testigo, la estación supone que hay un fallo en el sucesor y procede a establecer un nuevo sucesor. La estación en posesión del testigo pregunta por la identidad del nodo que sucede al que falló, difundiendo una trama "who follows me" con la dirección de su sucesor actual en el campo de datos de la trama. Al recibir esta trama, todas las estaciones comparan la dirección del campo de datos con la trama de su propio predecesor. La estación que encuentra la coincidencia de ambas direcciones responde enviando su propia dirección en una trama "set sucesor". El primer nodo debería recibir la trama "set successor" desde el nodo que está dos posiciones detrás de él en la secuencia lógica. Si es así, el nodo que detecta el testigo ajustará su enlace y enviará el testigo a su nuevo sucesor, puenteando así la estación averiada.

Si por el contrario la estación no recibiese ninguna contestación a la trama "who follows me", la repetirá por segunda vez. Si entonces tampoco hay respuesta, la estación tomará una acción más drástica enviando una trama "solicit successor" con su propia dirección en el campo de dirección de destino de la trama. Esto pide a cualquier estación activa de la red que le responda, y por tanto, si

hay alguna estación activa que escuche la trama, responderá y se reestablecerá el anillo lógico empleando un procedimiento denominado **ventana de respuesta**. Finalmente, si no se recibe ninguna respuesta, la estación supone que se ha producido una catástrofe, por ejemplo que el medio está roto o que su propio receptor está averiado. En estas condiciones, la estación deja de transmitir pero permanece a la escucha de transmisiones de otras estaciones.

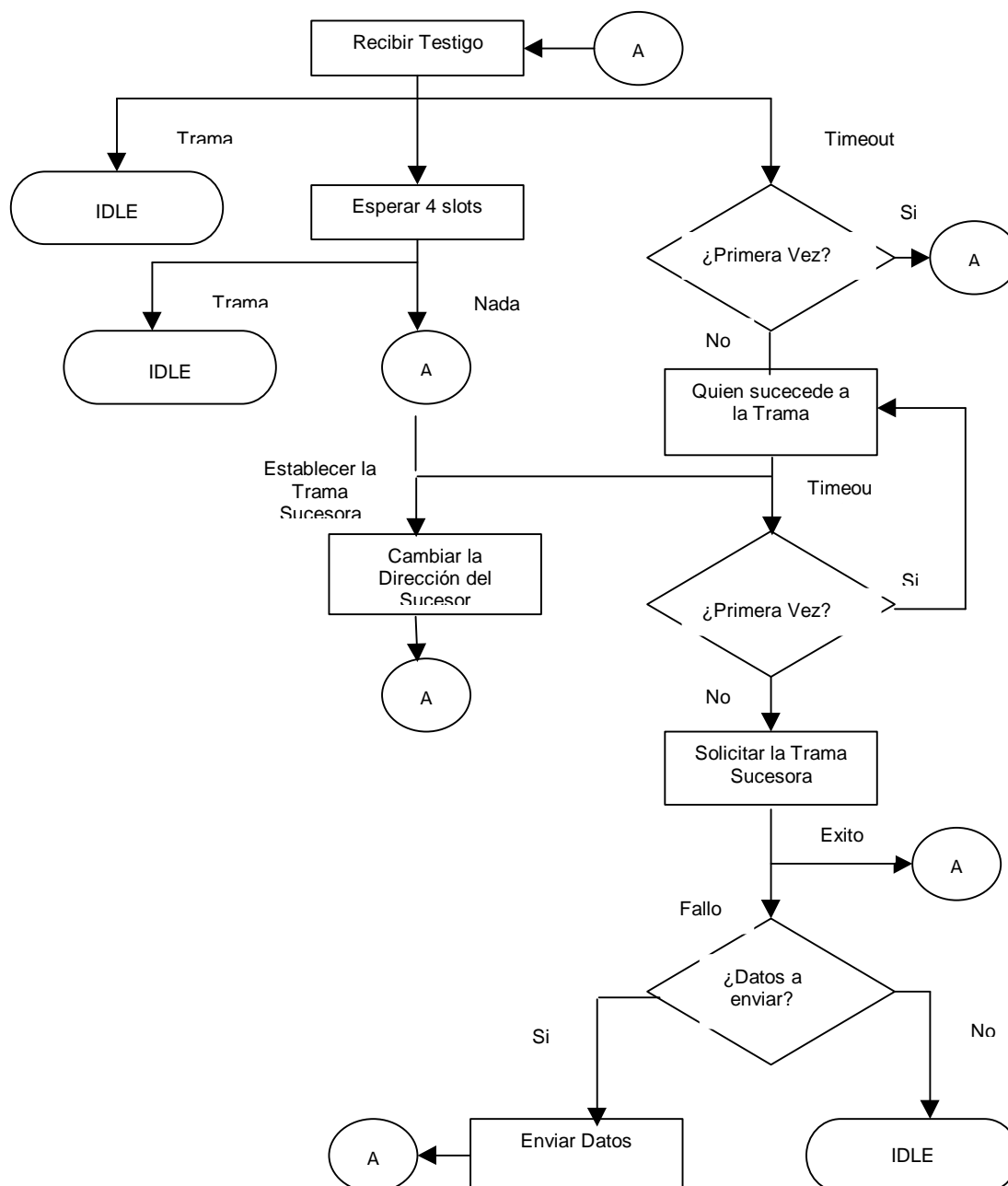


Figura 4.13 Procedimiento de Paso de Testigo

La gestión de fallos por parte del propietario del testigo cubre una contingencia más. Si mientras tiene el testigo, un nodo recibe un paquete indicando que otro nodo tiene el testigo, abandona inmediatamente el testigo pasando al estado de escucha. De esta forma, el número de poseedores de testigo cae inmediatamente a 1 ó 0.

respuesta válida, no se reciba ninguna respuesta o se alcance el número máximo de repeticiones. En los dos últimos casos, el nodo que tiene el testigo abandona el intento de buscar un nuevo sucesor y pasa el testigo a su sucesor actual.

4.3.5.- Inicialización

La inicialización lógica del anillo se produce cuando una o más estaciones detectan falta de actividad en el bus durante un cierto período de tiempo. El testigo en este caso se ha perdido, lo que puede responder a varias causas, tales como que la red se acaba de levantar o que la estación que tenía el testigo ha fallado. Cada estación de la red monitoriza todas las transmisiones del bus y, cuando escucha una transmisión, inicializa el contador conocido como temporizador de inactividad. Una vez que expira este temporizador, el nodo enviará una trama "Claim Token".

Puede haber varias estaciones que quieran enviar simultáneamente dicha trama y por lo tanto, se sigue el siguiente procedimiento de contienda para asegurar que sólo se genere un testigo (esquema similar al de la ventana de respuesta).

Cada inicializador potencial envía una trama "Claim Token" con un campo de información cuya longitud es 0, 2, 4 o 6 veces una ranura de tiempo, en función de los primeros dos bits de la dirección de la estación en la red. Después de enviar su trama "Claim Token", la estación espera un intervalo de tiempo más antes de escuchar el medio de transmisión. Si escucha una transmisión, sabe que otra estación ha enviado una trama "Claim Token" más larga que la suya y por lo tanto deja de intentar convertirse en el primer propietario del testigo, puesto que alguna otra estación tiene un dirección mayor que la suya. Si no escucha ninguna transmisión, la estación repite el proceso anterior empleando los dos bits siguientes de su dirección. Si de nuevo no detecta ninguna transmisión emplea el siguiente par de bits y así sucesivamente hasta que haya empleado todos los bits de su dirección. Si todavía no ha detectado ninguna transmisión, la estación se convierte en la primera propietaria del testigo. El propietario único del testigo continúa el proceso de inicialización empleando el procedimiento de la ventana de respuesta para permitir que entren en el anillo nuevas estaciones.

Aunque una estación puede despedirse del anillo en cualquier momento dejando de responder cuando recibe el testigo, el método más limpio para eliminar una estación del anillo es enviar, tras recibir el testigo, una trama "set successor" a su predecesor con la dirección de la estación que le sucede, pasando a continuación el testigo a la estación sucesora como siempre, en la seguridad de que no forma ya parte del anillo.

4.3.6.- Operación de prioridad

La inicialización lógica del anillo se produce cuando una o más estaciones detectan falta de actividad en el bus durante un cierto período de tiempo. El testigo en este caso se ha perdido, lo que puede responder a varias causas, tales como que la red se acaba de levantar o que la estación que tenía el testigo ha fallado. Cada estación de la red monitoriza todas las transmisiones del bus y, cuando escucha una transmisión, inicializa el contador conocido como temporizador de inactividad. Una vez que expira este temporizador, el nodo enviará una trama "Claim Token".

Puede haber varias estaciones que quieran enviar simultáneamente dicha trama y por lo tanto, se sigue el siguiente procedimiento de contienda para asegurar que sólo se genere un testigo (esquema similar al de la ventana de respuesta).

Cada inicializador potencial envía una trama "Claim Token" con un campo de información cuya longitud es 0, 2, 4 o 6 veces una ranura de tiempo, en función de los primeros dos bits de la dirección de la estación en la red. Después de enviar su trama "Claim Token", la estación espera un intervalo de tiempo más antes de escuchar el medio de transmisión. Si escucha una transmisión, sabe que otra estación ha enviado una trama "Claim Token" más larga que la suya y por lo tanto deja de intentar convertirse en el primer propietario del testigo, puesto que alguna otra estación tiene un dirección mayor que la suya. Si no escucha ninguna transmisión, la estación repite el proceso anterior empleando los dos bits siguientes de su dirección. Si de nuevo no detecta ninguna transmisión emplea el siguiente par de bits y así sucesivamente hasta que haya empleado todos los bits de su dirección. Si todavía no ha detectado ninguna transmisión, la estación se convierte en la primera

propietaria del testigo. El propietario único del testigo continúa el proceso de inicialización empleando el procedimiento de la ventana de respuesta para permitir que entren en el anillo nuevas estaciones. Aunque una estación puede despedirse del anillo en cualquier momento dejando de responder cuando recibe el testigo, el método más limpio para eliminar una estación del anillo es enviar, tras recibir el testigo, una trama "set successor" a su predecesor con la dirección de la estación que le sucede, pasando a continuación el testigo a la estación sucesora como siempre, en la seguridad de que no forma ya parte del anillo. prioridad hasta un máximo dictado por el intervalo de tiempo conocido como "tiempo de mantenimiento de testigo de alta prioridad". Cuando este tiempo expira, debe pasar el testigo a su sucesor. Así, cuando una estación recibe el testigo, envía primero las tramas de mayor prioridad que estaban esperando, y suponiendo que no ha expirado el tiempo anterior, envía sucesivamente el resto de las tramas de menor prioridad, de acuerdo con el siguiente algoritmo.

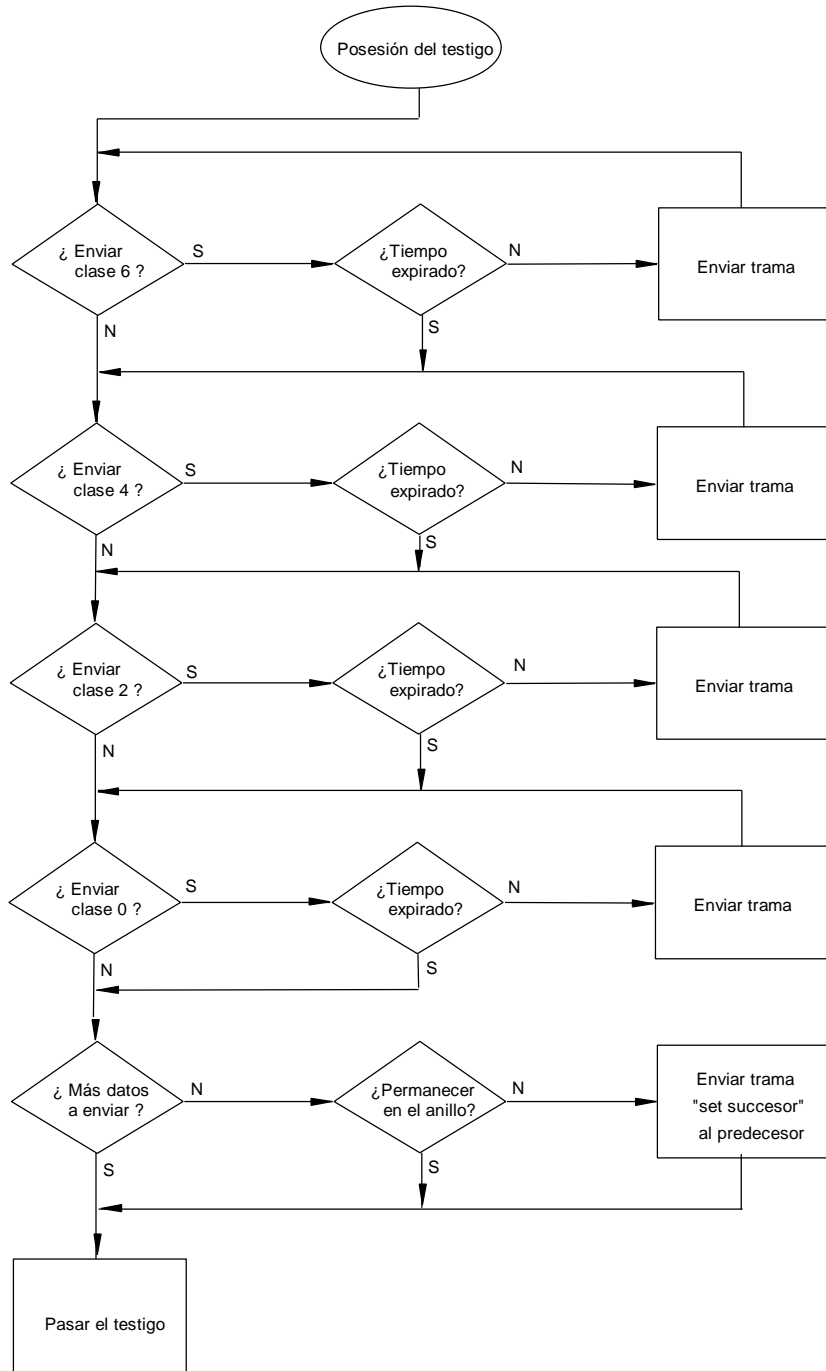


Figura 4.15 Esquema de prioridad en Token Bus

Para explicarlo, definamos las siguientes variables:

- THT** Tiempo de mantenimiento del testigo. El tiempo máximo que una estación puede mantener el testigo para transmitir datos de clase 6.
- TRTi** Tiempo de rotación del testigo para la clase i ($i = 4, 2, 0$). El tiempo máximo que un testigo puede tardar en dar una vuelta completa al anillo y permitir aún transmisiones de tramas de clase i .

Cada vez que una estación entrega el testigo a su sucesora arranca un contador TRT para controlar el tiempo que emplea el testigo en pasar por todas las estaciones y volver a ella (en función de este tiempo podrá transmitir o no tramas de clase 4, 2 ó 0). Cuando una estación recibe el testigo, puede transmitir clases de datos de acuerdo a las reglas siguientes, tal y como se representa en la Figura 4.15.

En primer lugar, la estación puede transmitir datos de clase 6 durante un tiempo THT. Así, para un anillo de n estaciones, durante una circulación del testigo por el anillo, el tiempo máximo disponible para una transmisión de datos de clase 6 es $n \times THT$.

Después de transmitir datos de clase 6, o si no hubiera esta clase de datos para transmitir, puede transmitirse datos de clase 4 sólo si la cantidad de tiempo de la última circulación del testigo (incluyendo cualquier dato de clase 6 ya enviada) fue menor que TRT_4 . Los datos de clase 2 y 0 se manejan del mismo modo que los de clase 4.

Este esquema, dentro de los límites, da preferencia a los paquetes de mayor prioridad. Más específicamente, garantiza que los datos de clases 6 disponen de una cierta porción de la anchura de banda. Son posibles dos casos:

1. Si $n \times THT$ es mayor que el mayor de entre TRT_4 , TRT_2 y TRT_0 , el tiempo máximo de circulación del testigo es de $n \times THT$, y los datos de clase 6 pueden ocupar el ciclo completo excluyendo datos de otras clases.

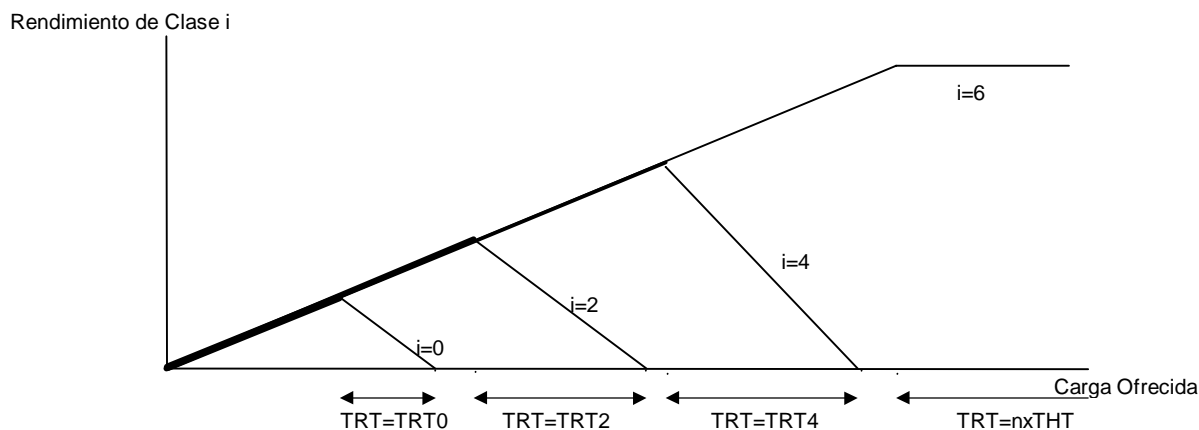
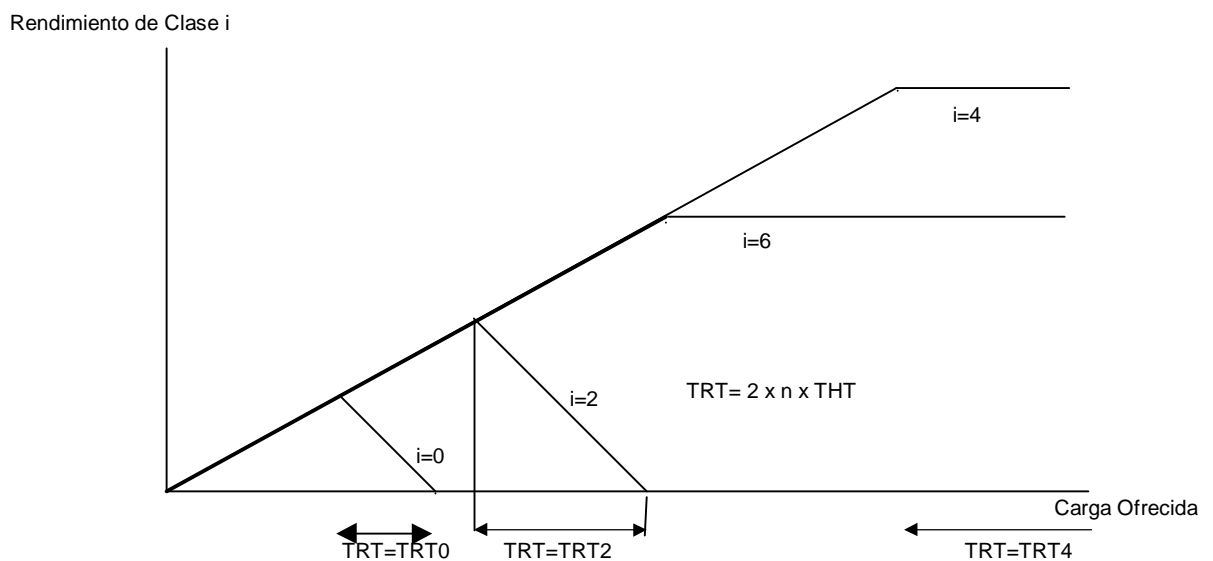
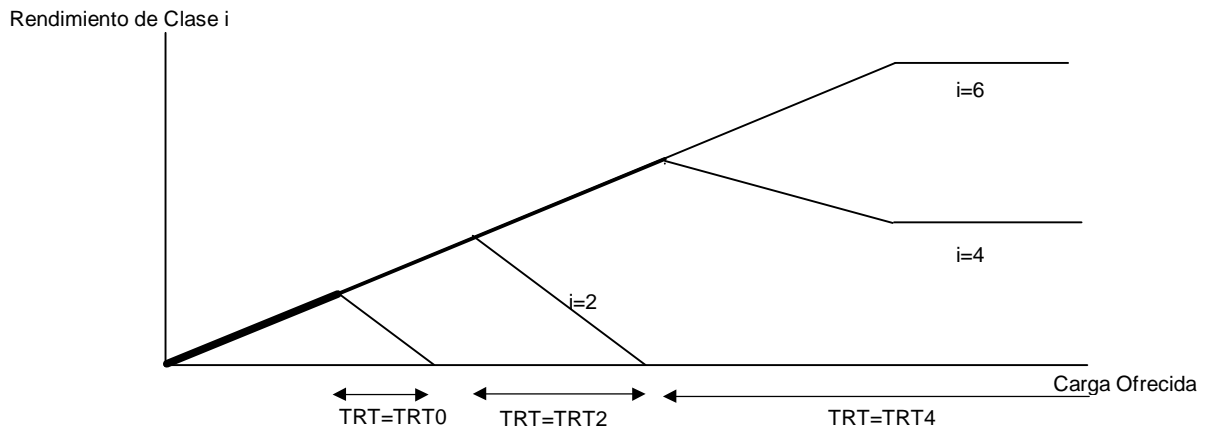


Figura 4.16 $n \times THT > TRT_4$

2. Si $n \times THT$ es menor que alguno de los valores anteriores, el tiempo máximo de circulación del testigo es el mayor de estos valores, y los datos de clase 6 tienen garantizado una porción de dicho tiempo igual a $n \times THT$ (representamos los casos con $TRT_4/2 < n \times THT < TRT_4$ y $n \times THT < TRT_4/2$)



Conclusión

Resulta evidente que el principal inconveniente del Token Bus es su complejidad. La lógica de cada estación excede mucho de la que se necesita para un esquema CSMA/CD. Otra desventaja importante es la sobrecarga introducida en el sistema de transmisiones. En condiciones de carga poco elevadas, una estación puede tener que esperar a varias circulaciones de testigo para conseguir un turno.

A primera vista, podría parecer complicado emplear esta técnica. Sin embargo, es posible conseguirlo con las siguientes consideraciones:

1. Es posible regular el tráfico de varias maneras. Pueden emplearse varios niveles de prioridad y puede permitirse que las estaciones mantengan el testigo distintas cantidades de tiempo.
2. A diferencia de CSMA/CD no hay ninguna limitación de longitud mínima de los paquetes.
3. En tercer lugar, la necesidad de escuchar mientras se transmite impone ciertas restricciones físicas a los sistemas CSMA/CD.
4. Finalmente, bajo carga elevada, Token Bus exhibe un rendimiento muy superior al de los sistemas CSMA/CD.

Las redes Token Bus son deterministas, lo que significa que se conoce el tiempo máximo que una estación debe esperar para transmitir. Por el contrario, el retraso en un sistema CSMA/CD se expresa de forma estadística (incluso podría darse el caso de que una estación no pudiera transmitir indefinidamente). En los procesos de control y otras aplicaciones de tiempo real, es deseable un comportamiento determinista.

4.- LAN CON PASO DE TESTIGO	1
4.1.- Introducción	1
4.2.- IEEE 802.5 (TOKEN RING)	1
4.2.1.- El medio físico	1
4.2.2.- El protocolo de subcapa MAC Token Ring	2
4.2.3.- El protocolo de subcapa MAC Token Ring	3
4.2.4.- Procedimientos de transmisión y paso de testigo	5
4.2.5.- Mecanismo de prioridad	6
4.2.6.- Mantenimiento del anillo	8
4.3.- IEEE 802.4 (TOKEN BUS).	14
4.3.1.- El medio físico	15
4.3.2.- Formato de las tramas	16
4.3.3.- Procedimiento de Transmisión y paso de testigo.	17
4.3.4.- Ventana de respuesta	20
4.3.6.- Operación de prioridad	21