

ARQUITECTURA DE REDES SISTEMAS Y SERVICIOS.

2° Ing. Telecomunicación. Curso 2006/07

EL NIVEL DE ENLACE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. SERVICIOS SUMINISTRADOS A LA CAPA DE RED.....	4
2.1 SERVICIO SIN CONEXIÓN Y SIN ASENTIMIENTO	4
2.2 SERVICIO SIN CONEXIÓN Y CON ASENTIMIENTO	5
2.3 SERVICIO ORIENTADO A CONEXIÓN	5
3. FORMACIÓN DE TRAMAS.....	7
3.1 CUENTA CARACTERES	7
3.2 CARACTERES INICIO Y FINAL.....	7
3.3 BANDERAS INICIO Y FINAL	8
3.4 VIOLACIÓN DE CÓDIGO	8
4. CONTROL DE ERRORES Y DE FLUJO	9
4.1 DETECCIÓN DE ERRORES.....	9
4.2 CORRECCIÓN DE ERRORES.....	9
4.3 CONTROL DE FLUJO	12
5. PROTOCOLOS DE ENLACE	13
5.1 CONSIDERACIONES GENERALES	13
5.2 DATOS DE CONTROL EN LA TRAMA.....	13
5.3 PROTOCOLOS ELEMENTALES.....	14
5.3.1 UNILATERAL NO RESTRINGIDO.....	14
5.3.2 UNILATERAL DE PARADA Y ESPERA	14
5.3.3 UNILATERAL PARA CANAL RUIDOSO.....	15
5.4 VENTANA DESLIZANTE.....	17
5.4.1 VENTANA DESLIZANTE DE UN BIT	19
5.4.2 REPETICIÓN NO SELECTIVA	20
5.4.3 REPETICIÓN SELECTIVA.....	21

6.	<u>MEDIDA DE LA EFICIENCIA DEL ENLACE</u>	24
6.1	INTRODUCCIÓN: RENDIMIENTO Y CADENCIA EFICAZ.....	24
6.2	PROTOCOLOS DE PARADA Y ESPERA SIN ERRORES.....	25
6.3	PROTOCOLOS DE PARADA Y ESPERA CON ERRORES.....	26
6.4	PROTOCOLOS DE VENTANA DESLIZANTE SIN ERRORES.....	27
6.5	PROTOCOLOS DE VENTANA DESLIZANTE CON ERRORES.....	28
7.	<u>DISCIPLINA DE LÍNEA</u>	29
8.	<u>EJEMPLOS I: HDLC</u>	31
8.1	INTRODUCCIÓN:.....	31
8.2	GENERALIDADES.....	31
8.3	CONFIGURACIONES BÁSICAS Y MODOS DE OPERACIÓN.....	32
8.4	TRAMAS HDLC.....	34
8.4.1	TRAMAS SUPERVISORAS.....	35
8.4.2	TRAMAS SIN NUMERAR.....	36
8.5	EJEMPLOS.....	38
9.	<u>EJEMPLOS II: REDES LOCALES</u>	42
9.1	INTRODUCCIÓN:.....	42
9.2	DIRECCIONAMIENTO SEGÚN LA 802.....	42
9.3	CONTROL DE ENLACE LÓGICO: 802.2.....	43
9.4	IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE ACCESO AL SERVICIO: MULTIPLEXIÓN.....	44
9.5	CONTROL DE ACCESO AL MEDIO BASADO EN CSMA/CD: 802.3.....	45
10.	<u>EJEMPLOS III: PPP SOBRE HDLC</u>	48
10.1	EL PROTOCOLO PPP: RFC 1661.....	48
10.2	PPP SOBRE HDLC: RFC 1662 Y 1663.....	52
11.	<u>EJEMPLOS IV:LAPD</u>	54
12.	<u>CONCLUSIONES</u>	59

1. INTRODUCCIÓN

En este tema se presentará el diseño de la capa 2, la capa de enlace. Se verán algoritmos para llevar a cabo una *comunicación fiable y eficiente entre dos máquinas adyacentes*, es decir físicamente conectadas mediante un canal de comunicación que actúa como un cable. Se puede considerar un canal “semejante a un cable” cuando los bits son entregados exactamente en el mismo orden que se transmitieron. Aunque puede parecer un problema trivial, tan fácil como que un equipo transmita y otro reciba datos, hay realizar una serie de tareas para coordinar este “sencillo” diálogo entre dos máquinas adyacentes. Estas tareas, de las que se ocupa el nivel de enlace, podríamos dividir las en tres tipos:

- **Control de errores:** Durante la transmisión pueden ocurrir errores con cierta probabilidad. Los fenómenos de atenuación distorsión y ruido afectarán a la señal transmitida y podrán provocar equívocos en la interpretación de la información recibida, de manera que lo que se transmitió como un uno puede entenderse como un cero en el otro extremo (o viceversa). Una de las tareas del nivel de enlace será asegurarse de corregir estos posibles errores en la transmisión.
- **Control de flujo:** Servirá para coordinar la cantidad de datos que puede enviar el transmisor sin saturar al receptor. Hay que tener en cuenta que las velocidades de proceso pueden no ser las mismas en ambos extremos de la comunicación y que los buffers de entrada del receptor podrían llegar a saturar.
- **Disciplina de línea:** Con estas técnicas se coordina el enlace decidiendo en cada momento qué dispositivo puede transmitir. Así, por ejemplo, en una línea semiduplex las máquinas implicadas en una comunicación tendrán que ponerse de acuerdo en los turnos de transmisión.

Como se verá posteriormente todas estas funciones están muy relacionadas unas con otras y es necesario considerar una serie de factores que afectan a la conexión entre dos equipos como por ejemplo; la probabilidad de errores en la transmisión, que la velocidad de transmisión y de proceso son finitas, que existe un retardo de propagación distinto de cero... todos estos factores tendrán implicaciones en la eficiencia de la transferencia de datos. Para ofrecer las prestaciones especificadas la capa de enlace deberá proporcionar una interfaz de servicio bien definida a la capa de red y utilizará los servicios proporcionados por el nivel físico.

2. SERVICIOS SUMINISTRADOS A LA CAPA DE RED

La función de la capa de enlace será la de proporcionar servicios a la capa de red (no olvidemos que estamos dentro del modelo OSI). El principal servicio ofrecido será transferir datos de la capa de red de la máquina origen a la capa de red de la máquina destino, separada de la anterior únicamente por un enlace. En la capa de red del origen habrá una entidad (proceso), que entregará los bits a la capa de enlace para su transmisión hacia el destino. Una entidad de nivel de enlace recogerá esta información y la procesará convenientemente para transmitirla a su entidad gemela (o paritaria) en el lado receptor. En este procesamiento, entre otras cosas, se añade información de control, sólo útil para las entidades de nivel de enlace, a la información original. Esta información de control es sólo para coordinar el diálogo (protocolo) entre entidades de nivel de enlace y por tanto no pasará, en ningún caso, al nivel de red. Aunque la trayectoria real de los datos será bajar en la torre de protocolos hasta el nivel físico, en este tema estudiaremos únicamente los protocolos entre dos procesos (entidades) en la capa de enlace considerando las capas adyacentes como proveedoras (nivel físico) o consumidoras (nivel de red) de servicios. La información intercambiada entre entidades paritarias del nivel de enlace se agrupa en PDUs que en este caso se suelen conocer como tramas.

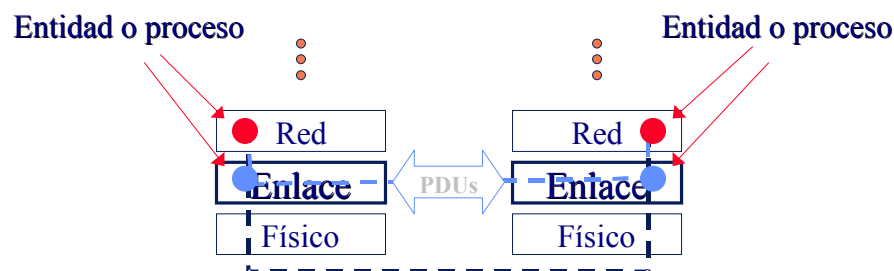


Fig. 1: El nivel de enlace en la torre OSI

Cuestión 1: La finalidad de esta introducción es recordar el concepto de modelo de capas y situar al alumno en el nivel de enlace. ¿Qué tareas tenía el nivel físico? ¿Y el nivel de red?

La capa de enlace se puede diseñar para que ofrezca distintos servicios, por lo tanto los servicios ofrecidos pueden variar de sistema a sistema. Hay tres posibilidades:

- Servicio sin conexión y sin asentimiento
- Servicio sin conexión y con asentimiento
- Servicio orientado a conexión

2.1 Servicio sin conexión y sin asentimiento

El origen transmitirá tramas independientes al destino, sin que se proporcionen asentimientos (reconocimientos) por parte de éste. No se establecerá ninguna conexión previa. Si la trama se perdiera o se dañara durante la transmisión no se realiza ningún intento por recuperarla por parte de la capa de enlace, que ni siquiera se daría cuenta del problema. Este tipo de servicio es muy conveniente cuando la tasa de error resulta muy

baja y la recuperación se delega a capas más altas. Resulta apropiado para los casos de tráfico en tiempo real, como el caso de voz, en la que la tardanza en la llegada de datos es peor que tener datos erróneos. Es muy utilizado en LAN.

Cuestión 2: *En RDSI se especifica que para el servicio de telefonía (conmutación de circuitos sobre canal B) no es necesario utilizar ningún protocolo de enlace. Analiza qué ventajas puede aportar utilizar un protocolo de enlace en aplicaciones telefónicas. ¿Tiene algún sentido?*

2.2 Servicio sin conexión y con asentimiento

En este servicio tampoco se establece una conexión entre ambos extremos, esto implica que se transmiten tramas totalmente independientes unas de otras, no se consideran pertenecientes a la misma conexión y por tanto no están relacionadas y por supuesto no van numeradas. Sin embargo sí existe un asentimiento individual a cada trama transmitida, es decir el receptor informa de que recibió correctamente o incorrectamente una trama, de manera que el emisor puede darse cuenta de que falló la transmisión en algún momento. Cuando el asentimiento no llegue dentro de un intervalo de tiempo especificado o cuando se reciba un asentimiento negativo se consideraría que la trama no llegó y se retransmitirá. De este modo la pérdida de un asentimiento puede ocasionar que una trama se transmita varias veces y por tanto se reciba (en la capa de red) varias veces, tampoco garantiza que el orden en el que se ofrecen las tramas a la capa de red del receptor sea el mismo que el orden en el que se transmitieron las tramas desde el emisor. Lo que sí asegura es que todo lo que se transmite se recibe.

Cuestión 3: *¿En qué ocasiones podría servir esto?*

2.3 Servicio orientado a conexión

Es el servicio más complejo que la capa de enlace puede ofrecer a la de red. Ambos lados de la comunicación establecen una conexión antes de transmitir algún dato y todas las tramas que pertenezcan a esta conexión están relacionadas. Cada una de las tramas transmitidas a través de la conexión se numera y la capa de enlace garantiza que cada una de las tramas se reciba, exactamente una vez y que todas las tramas se reciban en el orden correcto. Por tanto, proporciona a los procesos de la capa de red el equivalente a un flujo de bits fiable. Es el servicio que aporta mayores prestaciones a capas superiores, y el que se verá cuando se expliquen, un poco más adelante, los protocolos de nivel de enlace.

Si se utiliza este servicio la transferencia tiene tres fases distintas. En la primera fase la conexión se establece cuando los dos lados han iniciado las variables y los contadores necesarios para mantener el seguimiento de las tramas recibidas, orden... La segunda fase será la de transmisión, en la que se mandan los datos de interés. Por último la conexión se libera, dejando libres las variables, memorias temporales, así como cualquier recurso que se necesite utilizar para mantener la conexión.

Cuestión 4: *Si el servicio ofrecido es "ligero" es decir, tiene pocas prestaciones, como ocurre con el servicio sin conexión ni asentimiento ¿qué cree que ocurrirá con las tareas de las capas superiores?*

Para la comunicación entre la capa 3 y la 2 utiliza las primitivas de servicio de OSI, que estudiaremos brevemente a continuación. Las primitivas son:

- *Solicitud*: La capa de red utiliza estas primitivas para pedir a la capa de enlace que haga algo (p.e. establecimiento o liberación de la conexión, transmisión de una trama...).
- *Indicación*: Se utilizan para indicarle a la capa de red que se ha producido un evento (p.e. que otra máquina desea establecer o liberar una conexión, que ha llegado una trama...).
- *Respuesta*: La capa de red, en el extremo de recepción, utiliza las primitivas de respuesta para contestar a una indicación anterior.
- *Confirmación*: Proporcionan una manera de saber, en el extremo solicitante, si la solicitud fue realizada con éxito y si no, la razón por la cual no se llevó a cabo.



Fig.2: Primitivas en la interfaz Enlace/Red

3. FORMACIÓN DE TRAMAS

Como se ha visto en el apartado anterior la capa de enlace utilizará el servicio que le proporciona la capa física para proporcionar un servicio a la capa de red. La capa física aceptará los datos enviados por el nivel de enlace e intentará entregarlos al extremo destinatario, aunque no garantiza que este flujo de información esté libre de errores, como se ve en los temas dedicados al nivel físico. Dependerá de la capa de enlace detectar y, si fuera necesario, corregir estos errores.

Para lograr su objetivo las entidades de capa de enlace tienen que intercambiarse, junto a la información del nivel de red a transmitir, información de control del nivel de enlace que les servirá para coordinar su diálogo y ofrecer los servicios requeridos por el nivel superior. En definitiva hay que establecer un protocolo o normas de comunicación entre las entidades de enlace que asegure que se ofrecen al nivel de red los servicios solicitados. Para conseguir esto las entidades de nivel de enlace dividen el flujo de datos a transmitir en trozos discretos a los que añaden la información de control necesaria formando así las PDU de nivel de enlace o *tramas*.

Una de las primeras tareas a la hora de establecer las normas para el diálogo entre entidades paritarias de nivel de enlace será definir cómo se forman estas tramas y cómo identificar el principio y final de las mismas. Una manera de distinguir las tramas podría ser incluir intervalos de tiempo entre éstas, como se hace al escribir entre palabra y palabra, pero este mecanismo exigiría una sincronización muy exacta y compleja entre emisor y receptor, muy difícil de lograr. Por tanto se diseñan métodos alternativos como son:

- Cuenta caracteres
- Caracteres de inicio y final, con inserción de carácter
- Banderas de inicio y final, con inserción de bit
- Violaciones de código en la capa física

3.1 Cuenta caracteres

Se utiliza un campo en la cabecera para especificar el número de caracteres de la trama. En el extremo receptor se sabrá así dónde termina la trama. El problema es que si existe un error de transmisión que distorsiona el campo de cuenta se desincronizan emisor y receptor y no será posible localizar el inicio de la siguiente trama. En la actualidad no se suele utilizar este método de forma aislada, aunque sí que se añade a los que vamos a ver a continuación para dar mayor seguridad.

3.2 Caracteres inicio y final

Cada trama comenzará con una secuencia de caracteres ASCII predeterminada (Un carácter denominado generalmente de escape y otro que indique el principio de trama [DLE][STX]) y terminará con una secuencia distinta (Carácter de escape y otro

que indique el final de trama [DLE][ETX]). De manera que el carácter de escape indicará que lo que sigue es información de principio o fin de trama. Sin embargo podría suceder, con facilidad, que las secuencias de caracteres elegidas como [DLE][STX] y [DLE][ETX] ocurrieran dentro de los datos de nivel de red (los datos útiles que se están transmitiendo), con lo que el proceso de entramado tendría problemas (se identifica un principio o final de trama donde no lo hay). Una forma de resolver este problema consiste en hacer que la capa de enlace del extremo emisor inserte un carácter ASCII de escape [DLE], justo antes de cada ocurrencia del este carácter de escape [DLE] en los datos útiles. Esto obliga a que el receptor tenga que eliminar este carácter [DLE] duplicado antes de entregar los datos a la capa de red. Este proceso deberá ser totalmente transparente a la capa 3. A esta técnica se le conoce como inserción de carácter. El problema principal de este método de entramado es su gran dependencia de la utilización de caracteres de 8 bits y que está orientado por tanto a trabajar con tramas de un número entero de octetos, lo que puede no resultar eficiente en algunos casos.

Cuestión 5: *Analice cómo puede afectar tener que duplicar caracteres al pensar en el rendimiento del enlace, es decir, en la cantidad de datos útiles que se transmiten hacia el nivel de red respecto al número total de bits transmitidos sobre el enlace.*

3.3 Banderas inicio y final

Con este mecanismo se podrá utilizar un número arbitrario de bits por carácter, no está orientado a caracteres de 8 bits. Cada trama comenzará y terminará con un patrón de bits especial (p.e. 01111110). El receptor podrá así identificar el principio y fin de trama. Sin embargo podría ocurrir que la secuencia elegida como bandera se encontrara dentro de los datos útiles, en ese caso hay que utilizar algún mecanismo que asegure la transparencia. Así cada vez que la entidad de nivel de enlace emisora encuentre cinco unos consecutivos en los datos útiles a transmitir deberá insertar un bit 0, que será eliminado por la entidad receptora, todo de forma transparente a la capa de red. Esta técnica se conoce como de inserción de bit y asegura el reconocimiento de la frontera entre dos tramas sin ninguna ambigüedad.

Cuestión 6: *Cree que el rendimiento en este caso será mejor o peor que con la técnica anterior.*

3.4 Violación de código

Sólo se utiliza en redes en las que la codificación que se hace en el medio físico lo permite. Por ejemplo: Si se utiliza el código Manchester en un intervalo de bit se utilizan las secuencias +V -V ó -V +V, pero no +V +V ni -V -V, estas se utilizarán para identificar el principio y final de trama.

Nota: Al estudiar los códigos en banda base en temas posteriores se verá el código Manchester más detenidamente.

4. CONTROL DE ERRORES Y DE FLUJO

Una vez decidida la forma de identificar el principio y fin de las tramas es necesario asegurar que *toda* la información de nivel de red que se transmite dentro de esas tramas se entrega a la entidad de red destino en *orden* y *sin errores*. Esto obliga a las entidades de nivel de enlace a utilizar mecanismos para, en primer lugar, detectar posibles errores en los datos recibidos y, en segundo lugar, recuperarse de los errores ocurridos en caso de ser necesario.

4.1 Detección de errores

En cuanto a la detección de errores en el destino los mecanismos utilizados se basan en añadir a los datos a transmitir información de control (información redundante) que permita que el extremo receptor deduzca que alguno/s de los bits recibidos son erróneos. De este modo la trama tendrá m bits de datos y r bits de comprobación de errores (redundantes). Un ejemplo sencillo de código detector de errores sería un código en el que solamente se utiliza un bit de redundante denominado bit de paridad que se transmite junto al resto de información, en este caso $r=1$. Este bit se selecciona de forma que el número de bits con valor 1 en la trama sea par. Así si ocurre un error en un bit y este cambia de 0 a 1 el número de unos será impar y por tanto el receptor se dará cuenta de que algo ha ido mal.

Ejemplo: Se quiere transmitir el bloque:

00010100010 ($m=11$) el número de unos es 3 (impar) así que será necesario que el bit r sea un 1 para que el número de unos sea par (4). La secuencia a transmitir es entonces:

000101000101 ($m+r=12$), (4 unos, par). Se recibe la secuencia:

010101000101 (Error en el segundo bit), (5 unos, impar), el receptor sabe que debía ser par así que sabe que ha habido algún error.

Cuestión 7: *¿Qué ocurriría si hubiera errores en más de un bit?*

Nota: En los temas de teoría de información se ven códigos de redundancia más eficaces.

4.2 Corrección de errores

En lo referente a la corrección de los posibles errores que ocurran en la transmisión es importante considerar la naturaleza y patrón de estos errores. Generalmente son provocados por fenómenos físicos, ya estudiados en temas anteriores, como ruido, interferencias, atenuación, distorsión, diafonía... De ahí que una característica importante es que los errores tienden a presentarse a ráfagas, más que aisladamente. Es decir, cuando una línea de transmisión falla lo hace durante un intervalo de tiempo continuado (por ejemplo porque ocurre una interferencia por la

puesta en marcha de un motor cercano) por lo que todos los bits que se transmitan en ese intervalo pueden tener errores. Esto tiene ciertas ventajas y desventajas frente a la existencia de errores aislados que afecten a un solo bit. Por un lado como los datos se envían en bloques de bits si los errores fueran aislados con la misma probabilidad de error casi todos los bloques serían erróneos, mientras que si se son a ráfagas hay muchos bloques que no son erróneos. Por ejemplo si se consideran bloques de 1000 bits y que la probabilidad de error es de 0.001 (un bit mal de cada 1000) con una distribución homogénea prácticamente todos los bloques tendrían error, pero si los errores ocurren en ráfagas de 1000 bits erróneos sólo un bloque de cada 1000, aproximadamente, será erróneo. Si hubiera que retransmitir cada vez que un bloque fuera erróneo en el primer caso habría que retransmitir prácticamente todos mientras que en el segundo tan sólo uno de cada 1000, aproximadamente. Sin embargo los errores a ráfagas son más difíciles de detectar y corregir que los errores aislados y más difíciles de modelar analíticamente.

Se han desarrollado dos estrategias fundamentales para enfrentarse a la tarea de recuperación frente a fallos:

FEC (Forward Error Correction): La idea es incluir una cantidad suficiente de información redundante, junto con cada bloque de datos enviado, para permitir en el extremo receptor deducir qué información se transmitió originalmente. Se emplean por tanto códigos correctores de errores como por ejemplo códigos cíclicos, que se verán en temas posteriores. En estos códigos el número de bits redundantes (r) tiene que ser suficientemente grande para permitir esta corrección de los errores y eso puede dar lugar a una disminución de la eficiencia, sobre todo cuando la probabilidad de error crece y el número de bits redundantes tiene que ampliarse. Para evitar esta disminución de eficiencia es necesario limitar el número de bits redundantes y por tanto la capacidad correctora de los códigos está limitada, con lo que en muchas ocasiones se combinan estas técnicas con las de ARQ, que veremos a continuación.

ARQ (Automatic Repeat reQuest): En este caso la información redundante que se incluye sólo pretende permitir que el extremo receptor pueda descubrir que ocurrió un error y si es así se informará al extremo transmisor para solicitar un reenvío de la información. Se utilizan códigos que sólo necesitan detectar los errores y por tanto son necesarios menos bits de redundancia. De manera que la entrega fiable se proporciona gracias a la existencia de una realimentación hacia el transmisor respecto a lo que está sucediendo en el otro extremo del enlace. Es decir que el lado receptor indicará de algún modo al emisor qué está ocurriendo en esa comunicación. Los protocolos de comunicación suelen basarse entonces en el envío, por parte del receptor, de tramas especiales de control (asentimientos positivos o negativos) que contienen información acerca de cómo se han recibido las tramas (sin error o con error). De este modo recibir un asentimiento positivo sobre una trama indica al transmisor que la trama ha llegado bien, mientras que recibir un asentimiento negativo significa que la trama se deberá transmitir de nuevo.

Cuestión 8: *¿Cree que podría funcionar esto sólo con asentimientos positivos? ¿por qué?*

Será necesario considerar también el caso de que una trama se perdiera por completo. En este caso el receptor no reaccionará y no mandará ningún asentimiento, ni positivo ni negativo, por otro lado también se podría perder el asentimiento. En estos casos el efecto sería que el emisor se quedaría parado esperando a recibir un asentimiento que nunca llegará. Esta situación se controla introduciendo el uso de temporizadores en la capa de enlace. Cuando el emisor envía una trama inicia un temporizador de manera que transcurrido un intervalo de tiempo determinado sin recibir noticias del receptor se retransmitirá la trama, sin necesidad de recibir ningún asentimiento negativo. Evidentemente si lo que se había perdido era el asentimiento se corre el peligro de que el receptor acepte dos veces (o más) la misma trama, para evitar esto se asignan números de secuencia a las tramas, de esta forma se identifica cada trama y el receptor puede distinguir tramas originales de tramas retransmitidas (que tendrán el mismo número de secuencia).

Retardo de ida y vuelta

La elección de la duración de los temporizadores exige considerar un importante parámetro el denominado retardo de ida y vuelta asociado al enlace, también conocido como **round-trip delay**.

Se define el **RTD** como *el tiempo desde que se empieza a transmitir el primer bit de una trama hasta el instante en que se recibe (en el transmisor) el último bit del reconocimiento asociado a esa trama.*

Este tiempo es función por un lado del **tiempo de transmisión de las tramas** en el enlace, que dependerá de su régimen binario o capacidad y de la longitud de las tramas a transmitir. Por otro lado del **retardo de propagación en el enlace**, es decir del tiempo transcurrido desde que la señal se introduce en un extremo del “cable” hasta que aparece en el otro extremo. Este retardo será por tanto función de la velocidad de propagación en el enlace y de la longitud del mismo. Resumiendo los tiempos que afectan al RTD son:

$$T_{tx} = \text{Longitud de la trama (b)}/R_b \text{ del enlace (b/s)}$$

$$T_p = \text{Separación física (m)}/\text{Velocidad de propagación (m/s)}$$

La figura 3 representa este parámetro. A lo largo del tema se utilizará este tipo de diagramas para mostrar el intercambio de PDUs o tramas a lo largo del tiempo entre dos entidades el nivel de enlace (Tx y Rx).

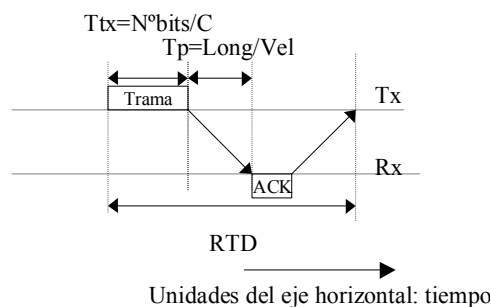


Fig. 3: Round Trip Delay

Este parámetro influye fuertemente en la duración de los temporizadores que se utilizan en los algoritmos de control del enlace. Por un lado la duración del temporizador tiene que ser superior al RTD para evitar retransmisiones innecesarias, por otro lado se debe procurar que el temporizador sea lo más pequeño posible para aumentar la eficiencia del enlace.

Cuestión 8: *¿Qué ocurre si el temporizador es menor que el RTD?*

Cuestión 9: *¿Qué problema hay en que el temporizador sea demasiado grande?*

Considerando todo esto una de las tareas más importantes de las entidades de enlace será el control de temporizadores y números de secuencia de las tramas, con la finalidad de asegurar que éstas sean entregadas una vez, y sólo una vez, y en el orden correcto al nivel de red, de este modo se ofrecerá un servicio orientado a conexión a las entidades de nivel de red.

4.3 Control de flujo

Otra de las tareas del nivel de enlace era el control de flujo. Se deberá asegurar que el extremo emisor envía datos a una tasa suficientemente lenta como para que se puedan procesar estos datos en el extremo receptor sin que éste saturé. Para ello también debe existir realimentación de lo que ocurre en el extremo receptor. Existen varios esquemas de control de flujo pero todos se basan en el mismo principio básico, definir reglas respecto a cuándo el emisor debe transmitir la siguiente trama. De manera que el emisor sólo transmite la siguiente trama cuando tiene constancia de que el receptor ha dado permiso para ello. Por ejemplo el emisor puede tener permiso para transmitir “n” tramas (n créditos de transmisión), cada vez que transmita una trama perderá un crédito y cuando haya transmitido las n tendrá que parar. El receptor podrá enviar créditos de transmisión al emisor cuando quiera, este envío lo hará en función de su capacidad para procesar las tramas que está recibiendo, esto le dará autorización al emisor para seguir transmitiendo, le aumentará el crédito de transmisión. Como se verá más adelante los mecanismos de control de flujo y de errores están íntimamente ligados en los protocolos de nivel de enlace.

5. PROTOCOLOS DE ENLACE

5.1 Consideraciones generales

A partir de este momento se considerará que el servicio que necesita la capa de red es un servicio orientado a conexión y fiable de manera que las entidades de nivel de enlace tienen que realizar todos los procedimientos necesarios para conseguir ofrecer este servicio. Se considerará también que la capa de red siempre tiene datos para transmitir y por tanto la capa de enlace no tiene que esperar a que le lleguen datos de nivel de red. Esto quiere decir que si en algún momento los protocolos exigen una parada de los procedimientos ésta será impuesta por los propios protocolos de enlace y no porque no haya datos que transmitir por parte del nivel de red. Por supuesto no será necesario analizar las cabeceras de niveles superiores, todo lo que venga del nivel de red se consideran datos a transmitir, esta consideración es propia de los modelos de capas.

***Cuestión 10:** ¿Qué ventajas tiene el hecho de que las entidades de un nivel no necesiten analizar las cabeceras de orden superior?*

Al aceptar un paquete de la capa de red la capa de enlace lo encapsula en una trama, agregándole una cabecera y una cola con información de control del enlace. De este modo una trama estará formada **por DATOS a TRANSMITIR + DATOS de CONTROL**. En estos bits de control se incluyen también los de redundancia para el control de errores. El emisor calcula el código de redundancia y lo incluye en la trama mientras que en el extremo receptor se comprobará este código asegurándose así de que efectivamente los datos llegaron sin error. Cuando se comprueba que la trama llegó correctamente, se entregarán los datos útiles de la trama a la capa de red, por supuesto en ningún caso se entregará la cabecera de trama a la capa de red y se asegura así la autonomía de los protocolos de distintas capas.

5.2 Datos de control en la trama

Número de Secuencia: será un entero que se utiliza para numerar las tramas con objeto de identificarlas separadamente pero proporcionando una relación entre ellas (servicio orientado a conexión). Se define la constante Máximo Número de Secuencia (MNS), que podrá ser distinto para cada protocolo. El número de secuencia irá en el rango de 0 hasta MNS, incluido éste.

Código de Redundancia: para que el receptor verifique la integridad de los datos recibidos. Si es suficientemente grande puede incluso servir para corregir los errores de transmisión. A partir de ahora consideraremos sólo la posibilidad de detectar errores y no de corregirlos gracias a la información redundante.

Tipo de trama: será un campo (o varios) que permiten identificar el tipo de trama que se está intercambiando. Cuando se estudie HDLC, que es un caso particular de protocolo de nivel de enlace, se verán ejemplos de los tipos de tramas que pueden

existir. Como adelanto decir que hay tramas que no llevan información de nivel de red y que sólo sirven para llevar el control de los procedimientos del nivel de enlace.

Asentimiento: como se verá más adelante uno de los campos de control de la trama será el campo de asentimiento, que servirá para indicar al otro lado las tramas que se recibieron correctamente.

Supondremos que el canal es inseguro en la mayoría de los protocolos, por lo que se podrán perder tramas enteras. Para recuperarse de estos errores la capa de enlace emisora utiliza temporizadores siempre que envía una trama y retransmite si estos vencen. Vamos a ver distintos protocolos de complejidad creciente. Si en todo caso el servicio buscado es el de un servicio orientado a conexión y fiable entonces en los protocolos ligeros, de pocas prestaciones, es necesario imponer condiciones para que el servicio ofrecido realmente esté cumpliendo lo que se pide. En los protocolos más complejos, sin embargo, no se impondrán restricciones externas.

5.3 Protocolos elementales

5.3.1 *Unilateral no restringido*

Es un protocolo muy sencillo. Los datos de nivel de red se transmiten en una sola dirección (unilateral) de manera que uno de los extremos del enlace actúa siempre como transmisor y el otro siempre como receptor. Para considerar que el servicio ofrecido por el nivel de enlace utilizando este protocolo es orientado a conexión es necesario que no haya errores, no se pierden datos en el canal y que la velocidad de proceso de las tramas recibidas sea infinita (utopía). El proceso emisor opera en la capa de enlace de la máquina fuente y el receptor en la capa de enlace de la máquina destino.

Este protocolo consiste en no hacer prácticamente nada, como indica la figura 4. No se usan números de secuencia ni asentimientos, sólo se utiliza el campo de información de las tramas. Simplemente el equipo transmisor mandará los datos que le llegan de la capa de red y el receptor los cogerá y los mandará a la capa de red receptora. Si las condiciones no fueran las que se han especificado el servicio proporcionado por este protocolo sería no orientado a conexión y sin asentimiento (no fiable). Como sólo hay tráfico en un sentido un canal simplex serviría para llevar a cabo este proceso.

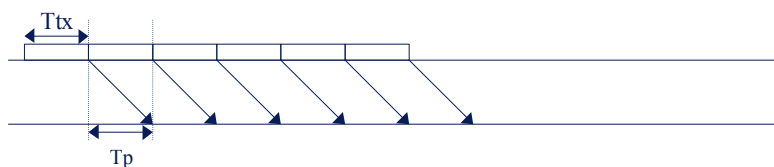


Fig. 4: Protocolo unilateral no restringido

5.3.2 *Unilateral de parada y espera*

Sigue siendo un lado el transmisor y otro el receptor (unilateral). En este caso el único “esfuerzo” de la capa de enlace consiste en que se proporciona una realimentación al emisor por parte del receptor. El transmisor sólo está autorizado a enviar una trama,

cuando el receptor pase la información a la capa de red devolverá un asentimiento hacia el otro lado que efectivamente autoriza al emisor a enviar la siguiente trama (de ahí el nombre de parada y espera, se envía, se para y se espera al asentimiento). Este procedimiento evita que el emisor inunde la parte receptora transmitiendo datos a una velocidad superior de la que la parte receptora puede procesar y por tanto proporciona un sencillo mecanismo de control de flujo. Hay que considerar que se necesita un tiempo para procesar la trama, como se aprecia en la figura 5, y que si el transmisor envía tramas a una tasa demasiado elevada podría hacer saturar el buffer de recepción, que no tendría capacidad para almacenar tantas tramas, con este mecanismo esto nunca ocurriría ya que las tramas se mandan de una en una.

Aunque la información de nivel de red sólo viaja en un sentido es necesario transferir datos bilateralmente, ya que los asentimientos se transmiten en sentido contrario. Se llevará a cabo una estricta alternancia de flujo; emisor envía trama, receptor envía ACK, emisor envía otra trama... Un canal físico semi-duplex serviría para este caso. En el procedimiento mostrado no hay ningún mecanismo de control de errores, de manera que para ofrecer el servicio orientado a conexión es imprescindible que el canal sea sin errores.

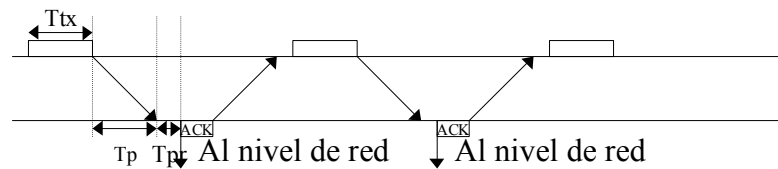


Fig. 5: Protocolo unilateral de parada y espera

5.3.3 Unilateral para canal ruidoso

Este protocolo de nivel de enlace es más complejo y ofrecerá un servicio orientado a conexión aún cuando exista la posibilidad de que las tramas tengan errores o se pierdan. Se añaden mecanismos para detectar errores, como se explicó anteriormente se añade redundancia de control que permite al receptor comprobar si lo que se recibe es realmente lo que se transmitió. De este modo el receptor sólo envía el asentimiento cuando la trama llega correctamente, si tiene errores se desecha y no se envía asentimiento. Si el emisor está demasiado tiempo esperando el asentimiento le vence un temporizador y reenvía la trama, este procedimiento se repetiría hasta que por fin se reciba el asentimiento positivo.

El inconveniente de este tratamiento sería que la trama que se perdiera fuera la de asentimiento y por tanto se recibieran tramas duplicadas. De manera que hay que añadir algún mecanismo que permita que el receptor distinga una trama que ve por primera vez de aquella que es retransmitida. La manera de hacer esto es que el emisor coloque un número de secuencia en la cabecera de cada trama transmitida, es decir identificar la trama con un número. De este modo el receptor comprueba el número de secuencia de cada trama recibida y puede deducir si se trata de una nueva trama o de un duplicado que debe desechar y no enviar al nivel de red.

Cuestión 11: *¿Cuándo debe enviar asentimiento el receptor la primera vez que se reciba la trama bien o todas las veces que se reciba bien?*

Para optimizar la eficiencia del protocolo será deseable tener la cabecera lo menor posible ¿Cuál será el mínimo número de bits necesarios para el número de secuencia? La única ambigüedad que existe en este protocolo se encuentra entre una trama y su sucesora directa (m y $m+1$). Si se pierde o se daña la trama m el receptor no la reconocerá, así que el emisor seguirá tratando de enviarla. Una vez que se recibe correctamente, el receptor devuelve el ACK. Según se reciba o no este ACK en el lado transmisor, la siguiente trama que se recibirá el otro lado será la $m+1$ (si se recibe correctamente el asentimiento) o de nuevo la m (si se pierde el ack). En el primer caso todo ha ido bien, se asiente a la $m+1$ y se espera la siguiente. En el segundo caso es necesario que el receptor la identifique como un duplicado y no la reenvíe al nivel de red, así que hay que evitar confundir la m con la $m+1$. Concluyendo, debido a que el protocolo es de parada y espera la única posibilidad en recepción es recibir realmente la trama esperada o recibir de nuevo la anterior (si hubo problemas con el asentimiento) de manera que sólo es necesario distinguir dos tramas. Así que un número de secuencia de un bit, 0 ó 1, es suficiente para evitar confusiones. En cada instante de tiempo el receptor espera el siguiente número de secuencia. Cualquier trama que llegue con un número de secuencia incorrecto se rechaza como un duplicado. Cuando llega la trama con el número de secuencia correcto se acepta y se manda a la capa de red, cambiando el número de secuencia esperado. La figura 6 muestra el funcionamiento de este protocolo.

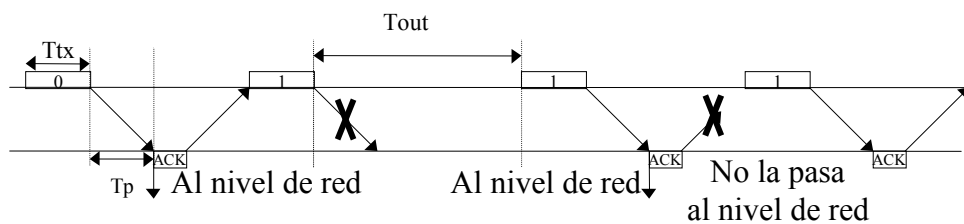


Fig. 6: Protocolo de parada y espera con control de errores.

A estos protocolos, en los que el emisor espera un asentimiento positivo antes de avanzar a la siguiente trama, se les suele denominar como PAR (Asentimiento con retransmisión positivo). Los datos de información viajan en una sola dirección, aunque la transmisión es bidireccional (semi-duplex por la alternancia de eventos).

El protocolo maneja bien la posibilidad de que se pierdan tramas pero es necesario controlar muy bien la duración de los temporizadores que deben ser suficientemente largos para impedir vencimientos prematuros. La figura 7 muestra un caso con el temporizador mal ajustado y que da lugar a un funcionamiento defectuoso.

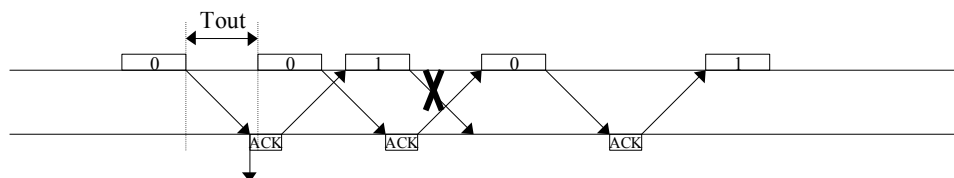


Fig. 7: Funcionamiento defectuoso del protocolo

Cuestión 12: Analiza detenidamente el error en el protocolo de la figura 7.

5.4 VENTANA DESLIZANTE

En los protocolos anteriores la información del nivel de red se transmite en una sola dirección, pero casi siempre existe la necesidad de transmitir en ambas direcciones y además simultáneamente, es decir que la comunicación entre entidades de red, por lo general, será full-duplex. Se podría considerar utilizar dos circuitos físicos separados, uno para cada sentido de la comunicación entre las entidades de red, cada circuito constaría de un canal para datos y otro para asentimientos. Pero en ese caso la capacidad del canal de asentimientos se desperdiciaría mucho, ya que las tramas de asentimiento pueden ser de pequeña longitud al no contener datos de red. Una mejor idea será utilizar el mismo circuito para datos en ambas direcciones, de forma que las tramas con información de las entidades de red del sistema A hacia las entidades de red del B se mezclan con las tramas de asentimiento que viajan en ese mismo sentido, es decir las que asienten a la información que se transmitió desde B a A. De este modo transmitiremos tramas de datos y de asentimiento sobre el mismo canal y se utiliza parte del campo de control para distinguirlas.

Pero existe una forma aún más eficiente de aprovechar la capacidad del canal, el método de *Superposición o piggybacking*. Al utilizar esta técnica en lugar de enviar inmediatamente los asentimientos en un sentido se espera a tener información que transmitir en ese sentido y se envía todo junto en la misma trama, como se muestra en la figura 8. De esta forma el asentimiento desde A hacia B se adjunta a la trama de datos en este mismo sentido, para ello en la cabecera de la trama se añade un campo de asentimiento. Así se aprovecha mejor el ancho de banda disponible del canal ya que añadir un campo de asentimiento en la cabecera de una trama supone sólo enviar unos cuantos bits más, en tanto que mandar una trama exclusivamente para esto necesita una cabecera completa, código redundancia... Este método presenta la complicación de tener que calcular correctamente cuánto tiempo debe esperar la capa de enlace a que llegue un paquete desde el nivel de red sobre el que se superpondrá el asentimiento. Si en el plazo fijado no llega nada para transmitir desde la capa de red es necesario enviar el asentimiento sólo, ya que si no el otro lado se quedaría eternamente esperando.



Fig. 8: Superposición de datos y asentimientos

En los protocolos de ventana deslizante cada trama de salida contiene un número de secuencia (NS en la figura 8), cuyo valor se encuentra en un rango de 0 a un valor máximo ($2^n - 1$, siendo n el número de bits asignados al campo de secuencia). En cada protocolo se utilizará un número de bits distinto, según las necesidades concretas. Los números de secuencia se van asignando de forma secuencial, valga la redundancia, a las tramas que se van formando. Cuando se alcanza el máximo número de secuencia se vuelve a empezar por el cero, es decir que la numeración es cíclica.

Son dos los conceptos clave en este tipo de protocolos:

- **La ventana de transmisión:** En estos protocolos el emisor puede enviar varias tramas consecutivas, sin necesidad de esperar el asentimiento a una para transmitir la siguiente.

La ventana de transmisión en un momento determinado es el conjunto de números de secuencia correspondientes a tramas que ya se han enviado y de las que aún no ha recibido asentimiento.

Cuando se manda una trama su número de secuencia se introduce en la ventana de transmisión, cuando se recibe el asentimiento correspondiente éste se saca de la ventana de transmisión. El tamaño de esta ventana está limitado, de manera que hay un número máximo de tramas que pueden estar esperando a ser asentidas. Este mecanismo es por tanto una transmisión basada en créditos, enviar una trama implica consumir un crédito, recibir un asentimiento es ganar un crédito. Mientras que no se reciba el asentimiento a una trama ésta se mantiene en la memoria del emisor, de modo que si fuera necesaria la retransmisión, porque venciera el temporizador sin recibir el asentimiento correspondiente, no hay que pedir los datos de nuevo al nivel de red haciendo el procedimiento totalmente transparente a éste.

Cuestión 13: ¿Qué implicación tendrá el tamaño máximo de la ventana de transmisión en la memoria necesaria en el transmisor?

- **La ventana de recepción:** En el receptor se mantiene una ventana de recepción que corresponde a la lista de los números de secuencia de las tramas que éste está autorizado a aceptar.

La ventana de recepción es el conjunto de números de secuencia que el receptor está autorizado a aceptar en un momento determinado

Cualquier trama que llegue y cuyo número de secuencia no esté en esta ventana se descarta, si está dentro de la ventana sí se acepta. Sin embargo es importante recordar que los datos deben ser pasados al nivel de red en orden. De manera que sólo si se recibe la trama con el número de secuencia del borde inferior de la ventana, la primera que se está esperando en orden, se pasa a la capa de red y se envía asentimiento. Cada vez que esto ocurra se modifica la ventana de recepción ya que los números de secuencia que ahora se van a aceptar son otros. Si la trama recibida pertenece a la ventana de recepción pero no es la primera esperada entonces el receptor la almacena mientras llegan las que tendrían que haber llegado antes y no se envía asentimiento ni se modifica la ventana de recepción. Cuando lleguen las esperadas en orden se enviarán al nivel de red, se asentirá a la última trama correcta y ordenada que se recibió y se modificará la ventana de recepción. El asentimiento recibido indicará al emisor que todas las anteriores también se recibieron bien (los asentimientos son por tanto acumulativos, un asentimiento a una trama asiente a las anteriores también).

Las ventanas de emisión y recepción no tienen que tener el mismo tamaño.

Cuestión 14: ¿Cómo puede ocurrir que se reciban tramas desordenadas en el receptor?

Cuestión 15: ¿Qué significa avanzar o modificar la ventana de recepción?

Cuestión 16: Analice si hay algún beneficio en que la ventana de recepción sea mayor que la de transmisión.

Cuestión 17: En una comunicación full-duplex (ambos lados envían y reciben) ¿cuántas ventanas de recepción y transmisión hay que controlar?

5.4.1 Ventana deslizante de un bit

Se va a utilizar un tamaño máximo de ventana de transmisión de 1 y el tamaño de la ventana de recepción también será 1. Como sólo puede haber una trama pendiente de asentimiento el protocolo es de parada y espera, ya que el emisor envía una trama y espera su asentimiento antes de poder enviar la siguiente. En este caso es suficiente tener dos números de secuencia, sólo se puede confundir una trama con la antecesora o la sucesora. La entidad de enlace emisora recoge los datos a transmitir del nivel de red y forma la primera trama (número de secuencia 0) que se envía al otro extremo. La entidad receptora comprueba la trama recibida y ve si el número de secuencia coincide con el esperado, si es así se desliza una posición la ventana de recepción (que ahora pasaría a ser 1) y se asiente. La figura 9 muestra este procedimiento. En círculo del extremo superior representa la ventana de transmisión de ese lado y el del extremo inferior la de recepción del otro. El primer número que aparece en las tramas es el número de secuencia de la trama, mientras que el segundo es el asentimiento. Existen dos posibilidades para el campo de asentimiento de la trama, o bien se envía el número de la última trama que se recibió correctamente o bien lo que se envía es el número de la primera trama que se está esperando, cualquiera de las dos posibilidades funciona exactamente igual. En el ejemplo se está enviando el número de la trama esperada.

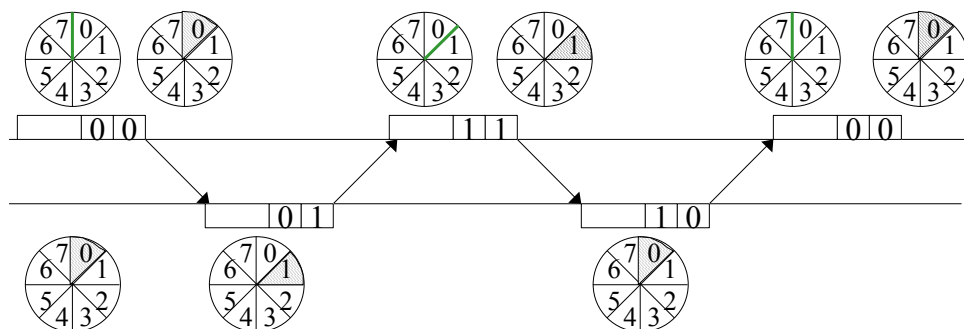


Fig. 9: Protocolo de ventana deslizante de un bit

Si el asentimiento recibido es a la trama que el emisor acaba de enviar entonces se da cuenta que ya se ha recibido correctamente en el otro extremo y vuelve a buscar más información de la capa de red para formar la siguiente trama. Si el asentimiento no es a la trama anteriormente transmitida la retransmite. Puede ocurrir un caso en el que el protocolo descrito no sea eficiente, y es cuando ambos extremos empiecen la transmisión de forma simultánea. La figura 10 muestra este caso.

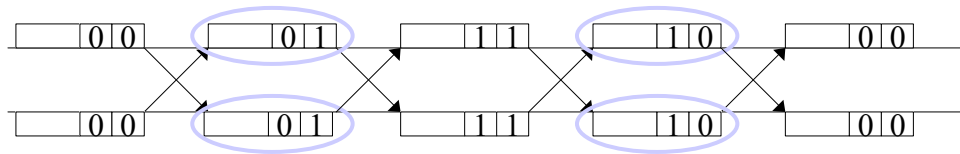


Fig. 10: Protocolo de ventana deslizante de un bit cuando ambos extremos comienzan a transmitir simultáneamente.

Cuestión 18: Analiza detenidamente la figura 10 ¿Qué problema hay?

5.4.2 Repetición no selectiva

En este caso el tamaño máximo de la ventana de transmisión es N y la ventana de recepción tendrá tamaño 1. Se permitirá entonces *enviar N tramas y tenerlas pendientes de asentimiento*. Si se llena la ventana (se transmiten N tramas y no se recibe asentimiento a ninguna de ellas) el emisor queda bloqueado esperando asentimientos. Con la adecuada selección de los parámetros el emisor será capaz de transmitir tramas de forma continua y sin tener que parar porque la ventana sature, ya que aunque se gaste un crédito cada vez que se envía una trama se ganará otro cada vez que se reciba un asentimiento. Así el emisor comienza transmitiendo la trama 0, la 1... si antes de llegar a la N recibe el asentimiento de la 0 puede seguir transmitiendo sin necesidad de esperar, si recibe el asentimiento a la 1 también... de manera que, si todo va bien, irán llegando asentimientos de forma periódica y el transmisor siempre tendrá crédito para transmitir. Esta técnica de envío continuo se denomina también pipelining.

Cuestión 19: Dibuja dos esquemas del funcionamiento de este protocolo si no hay errores, uno con envío no continuo y otro con envío continuo.

Cuestión 20: ¿Qué parámetros influirán para que haya o no envío continuo?

Ahora bien esto plantea un problema. Si hay N tramas pendientes de asentimiento (en la ventana de transmisión) y una de ellas llega dañada ¿Qué se hace con el resto de las tramas que llegan correctamente y detrás de la dañada? En este caso la ventana de recepción es 1 y por tanto el receptor *sólo acepta una trama, la que le toca según el orden*. El planteamiento de este protocolo es el llamado de *repetición no selectiva*, lo que quiere decir que el receptor desechará todas las tramas que no sean la esperada en orden, aunque lleguen sin error, y por supuesto dejará de enviar asentimientos porque no han sido aceptadas en recepción. De esta forma la entidad de enlace receptora rechaza cualquier trama excepto la siguiente que debe pasar a la capa de red. Como a partir de la trama que llega con error se dejan de transmitir asentimientos los temporizadores de las tramas de la ventana de transmisión irán venciendo de forma ordenada y se irán retransmitiendo todas las tramas desde la que llegó con error. Este procedimiento, como se muestra en la figura 11, obliga a la retransmisión de todas las tramas que se transmitieron después de una con error, por eso este protocolo es conocido también como vuelta atrás n (Go-back- n), esto puede suponer un desperdicio considerable de la capacidad del enlace ya que se retransmiten tramas que en realidad llegaron sin error.

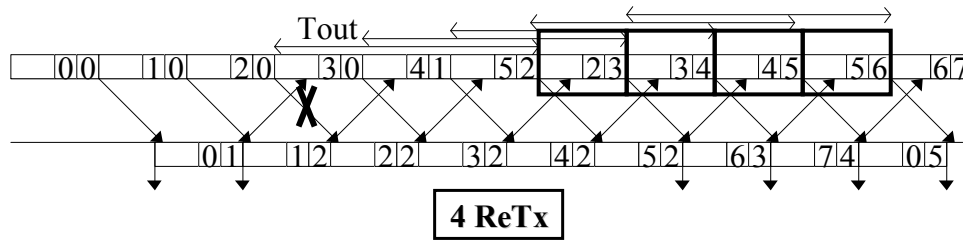


Fig. 11: Protocolo de ventana deslizante con repetición no selectiva y envío continuo.

Nota: Fíjate como un asentimiento indica al otro lado que esa trama se envió bien al nivel de red

5.4.3 Repetición selectiva

En este caso la ventana de transmisión sigue siendo N y la ventana receptora tiene un tamaño mayor que 1, M . El receptor aceptará todas las tramas que pertenecen a la ventana de recepción. Si además la trama que llega es la primera esperada (la que toca según el orden) se enviará al nivel de red, se avanzará la ventana de recepción y se enviará el asentimiento correspondiente. Si no es la esperada en orden no se puede enviar todavía la información al nivel de red, hay que esperar a las anteriores, así que se almacena hasta recibir las anteriores. De este modo si hay un error en una trama el receptor irá almacenando todas las que lleguen después y que pertenezcan a la ventana de recepción.

Cuestión 21: ¿Por qué no se pasan al nivel de red todas las tramas que lleguen correctas aunque no sea la primera esperada?

Cuestión 22: ¿Habrá que asentir inmediatamente las tramas que han llegado bien pero fuera de orden? ¿Por qué?

Cuando el emisor vea que una trama en concreto se perdió (porque vence el temporizador para esperar el asentimiento correspondiente) se retransmitirá y a partir de ahí, como antes, los temporizadores de las otras tramas también empezarán a vencer ya que, aunque se recibieron bien, no se había recibido asentimiento del otro lado.

Hasta aquí todo parece igual que el protocolo anteriormente mostrado, la diferencia estriba en que cuando se reciba la trama del borde inferior de la ventana de recepción (la esperada en orden) el extremo receptor mandará, en orden, al nivel de red todas las tramas que tenía almacenadas y que ahora sí que puede pasar ordenadas. Entonces enviará al lado emisor un asentimiento indicando la siguiente trama que se espera, que es la siguiente a la última que haya enviado hacia el nivel de red, y actualizará la ventana de recepción. El asentimiento enviado servirá para confirmar al emisor que todas las tramas anteriores efectivamente han llegado bien y ahora seguirá a partir de la última que se pasó correctamente al nivel superior, la figura 12 muestra como en este caso el número de tramas retransmitidas puede reducirse considerablemente.

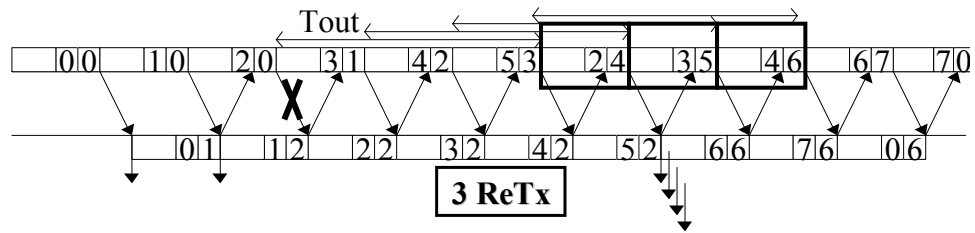


Fig. 12: Protocolo de ventana deslizante con repetición selectiva y envío continuo.

Cuestión 23: Compara la figura 11 con la 12. ¿Qué diferencias observas?

Cuestión 24: Dibuja un diagrama de este protocolo en el que ocurra lo siguiente: Se envían 10 tramas y llegan mal la primera y la quinta...todas las demás llegan bien al otro extremo.

Por supuesto se necesitará suficiente espacio en la memoria del receptor para almacenar las tramas fuera de secuencia. La mayor ventaja de este protocolo es la posibilidad de añadir **tramas de rechazo (o de asentimiento negativo)**, es decir que el receptor puede enviar una trama especial al emisor indicándole que se ha recibido mal una trama en concreto, de manera que cuando el emisor recibe este asentimiento negativo retransmite exclusivamente la trama que llegó mal. Esta trama, por tanto, es una solicitud de retransmisión de la trama especificada en el asentimiento negativo. En este caso el aprovechamiento del ancho de banda disponible puede ser máximo ya que sólo es necesario retransmitir las tramas que han llegado mal al otro lado.

Es importante considerar el número máximo de secuencia que hay que utilizar. Lo más sencillo es pensar que el número máximo de secuencia coincidiera con el tamaño de la ventana (N), sólo se pueden enviar N tramas seguidas, aunque los números de secuencia posibles son $N+1$ ($0,1,\dots,N$).

Cuestión 25: ¿Por qué $N+1$ números de secuencia y no N ?

Esto va bien cuando la ventana de recepción es 1 pero si es mayor que uno puede ocurrir un problema. Imagine un caso con ventana de transmisión y recepción 3, los números de secuencia irían de 0 a 3 (4). Se transmite la primera ventana bien (las tramas de 0 a 2). Entonces el receptor envía los ACK y avanza su ventana de recepción, ahora esperaría las siguientes, de la 4 a la 6 que tendrían los números de secuencia 3,0,1. Pero ocurre un desastre en la línea y se pierden todos los asentimientos. ¿Qué ocurriría en ese caso? La figura 13 muestra este ejemplo.

6. MEDIDA DE LA EFICIENCIA DEL ENLACE

6.1 Introducción: Rendimiento y cadencia eficaz.

La eficiencia del enlace se puede medir con dos parámetros íntimamente relacionados, el rendimiento y la cadencia eficaz.

Empecemos definiendo el concepto de *rendimiento* del enlace.

El rendimiento especifica la relación entre el número de bits transmitidos entre las entidades de red durante un periodo y el número de bits que se pueden transmitir, durante ese periodo, entre las entidades de enlace.

Es decir la utilización del enlace para transmitir datos útiles y la utilización real que se hace del mismo. En términos temporales indica relación entre el tiempo que se utiliza el enlace exclusivamente para hacer la transmisión de los datos de red y el tiempo que se necesita para que esa transmisión pueda ser efectuada. Si se piensa en una sola trama sería el tiempo que se usa para transmitir los bits del campo de información entre el tiempo que se utiliza el enlace, de forma exclusiva, para que la trama completa llegue correctamente al destino. El tiempo que se utiliza el enlace exclusivamente para transmitir determinados bits útiles se denomina normalmente *Tiempo de Ocupación*.

$$\text{Rendimiento} = \text{Ttx datos útiles} / \text{Tocupación}$$

De manera que si entre 2 entidades de nivel de red se transmiten 1000 bits y la capacidad del enlace que se está utilizando es de 1000 bps el tiempo que efectivamente se utiliza el enlace para hacer la transmisión de datos útiles es de sólo 1 segundo. Sin embargo para que realmente esa información llegue al nivel de red de forma correcta es necesario transmitir también información de control del nivel de enlace, puede que los protocolos obliguen a hacer paradas, quizás haya que retransmitir tramas...lo que generalmente supondrá un tiempo de ocupación mayor. El caso óptimo sería utilizar un protocolo de enlace que no necesitara bits de control, paradas, retransmisiones... en ese caso el tiempo de ocupación coincidiría con el tiempo de transmisión de datos útiles y el rendimiento será 1. Como ya se ha visto a lo largo del tema este tipo de protocolos es impracticable y por tanto el rendimiento del enlace siempre estará por debajo de 1, el reto será conseguir protocolos con el rendimiento lo más alto posible optimizando así la utilización del canal.

Otro parámetro para medir la utilización efectiva que se está haciendo del enlace es la *Cadencia eficaz*. La cadencia eficaz podría definirse como el régimen binario efectivo del enlace, es decir, como los bits por segundo que se están intercambiando las entidades de nivel de red.

$$\text{Cef} = \text{Bits útiles transmitidos} / \text{Tocupación}$$

Como se puede observar este parámetro está muy relacionado con el rendimiento ya que ambos dan una medida de la eficiencia del enlace, aunque utilizan distintas unidades.

Cuestión 26: ¿Conociendo uno de los dos parámetros cómo obtendría el otro?

Muchos son los aspectos que influyen en el rendimiento de los protocolos de enlace: El tamaño de las tramas, de las cabeceras, los tamaños de ventana, los temporizadores, el RTD, la probabilidad de error...lo más importante es entender el concepto de rendimiento y calcularlo en función del protocolo concreto que se está estudiando. A continuación se presentan algunos ejemplos para protocolos simples, pero es necesario no olvidar que hay que estudiar cada caso en particular.

6.2 Protocolos de Parada y Espera sin errores

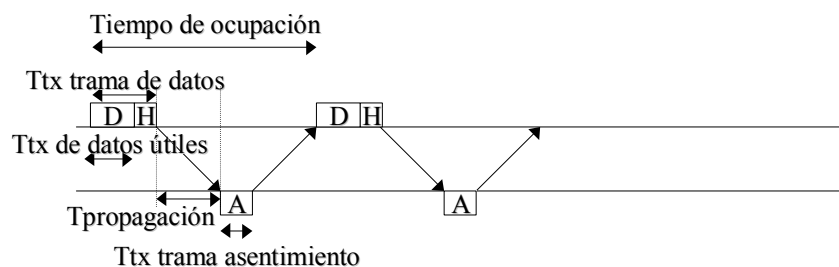


Fig. 14: Parámetros que afectan al rendimiento en un protocolo de parada y espera sin errores.

En este caso se va a considerar un protocolo unilateral de parada y espera con tramas de tamaño fijo. Se va a calcular la capacidad que efectivamente se está utilizando para enviar los datos del nivel de red. Los parámetros considerados, muchos de ellos reflejados en la figura 14 son:

- C= Capacidad del enlace (bits/s)
- D= Número de bits útiles en la trama
- H= Número de bits de cabecera en la trama
- A= Número de bits en la trama de asentimiento

De modo que las entidades de nivel de red se intercambian los datos en bloques de tamaño D (datos útiles de la trama de enlace). La pregunta sería ¿cuánto tiempo es necesario ocupar el enlace para que esos D bits lleguen bien al destino? Es otras palabras ¿Cuál es el tiempo de ocupación del enlace para transmitir esos D bits? Observando la figura 14 se puede ver que en este caso el tiempo de ocupación iría desde que se empieza a transmitir el primer bit de la trama hasta que se recibe el asentimiento correspondiente (el RTD), ya que durante el tiempo en que el emisor está parado el enlace no se puede utilizar para otra cosa que no sea esperar el asentimiento y por tanto se está usando el enlace para soportar los mecanismos necesarios para que la trama llegue correctamente al destino. En este caso por tanto la cadencia eficaz sería D/Toc y el rendimiento $D/(C \cdot Toc)$.

6.3 Protocolos de Parada y Espera con errores

Seguimos considerando protocolos de parada y espera unilaterales, pero en este caso añadimos la posibilidad de que ocurran errores. Es necesario considerar que para que una trama llegue correctamente al destino puede ser necesario realizar retransmisiones, ya que algunas tramas pueden llegar dañadas. La figura 15 representa el caso en que ocurre un solo error pero podrían ocurrir más y en ese caso sería necesario realizar más de una retransmisión.

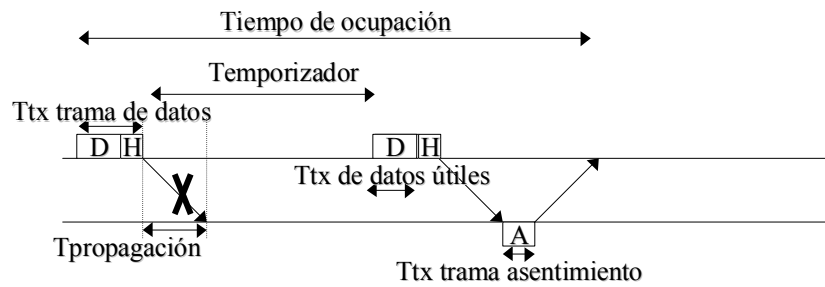


Fig. 15: Protocolo de parada y espera con una trama errónea.

En este caso el tiempo de ocupación no es constante para cada trama ya que hay tramas que se transmiten bien la primera vez, otras que necesitan una retransmisión, dos... es decir que el tiempo de ocupación es una variable aleatoria y no tiene por tanto un valor constante. En este caso es necesario trabajar con el valor medio de esta variable, hay que calcular el valor medio del tiempo de ocupación. La media de una variable aleatoria se calcula realizando la suma de los productos de cada posible valor de la variable por la probabilidad de que ocurra dicho valor.

$$\bar{T}_{oc} = \sum_{i=0}^{\infty} T_{oci} * P_i$$

El tiempo de ocupación en cada caso dependerá del número de transmisiones que sea necesario hacer para que por fin la trama llegue bien al destino, eso dependerá de la probabilidad de error de la trama. La figura 16 representa el número de transmisiones frente al tiempo de ocupación y la probabilidad de cada caso. Pet es la probabilidad de que una trama llegue con error.

n Transmisiones	Tiempo ocupación con n transmisiones	Probabilidad n transmisiones
1	RTD	1- Pet
2	Ttx+Tout+RTD	Pet*(1-Pet)
3	2* (Ttx+Tout)+RTD	Pet ² *(1-Pet)
4	3* (Ttx+Tout)+RTD	Pet ³ *(1-Pet)
n	n-1 * (Ttx+Tout)+RTD	Pet ⁿ⁻¹ *(1-Pet)

Fig. 16: Número de transmisiones, tiempo de ocupación y Probabilidad

Habría ahora que calcular la media del tiempo de ocupación que sería:

$$\overline{T_{oc}} = \sum_{i=0}^{\infty} ((i-1) * (T_{tx} + T_{out}) + RTD) * P_{et}^{i-1} * (1 - P_{et})$$

Cuestión 27: ¿Cómo calcularía este sumatorio?

En este caso el cálculo podría simplificarse observando que el tiempo de ocupación medio será el número medio de veces que una trama se transmite mal por $T_{tx} + T_{out}$ más lo que se ocupa con la transmisión de la correcta el RTD. Para calcular el número medio de transmisiones por trama sólo hay que hacer la media de la variable aleatoria número de transmisiones (n):

$$\overline{N} = \sum_{n=0}^{\infty} n * P_n = \sum_{n=0}^{\infty} n * P_{et}^{n-1} * (1 - P_{et}) = (1 - P_{et}) \sum_{n=0}^{\infty} n * P_{et}^{n-1} = 1 / (1 - P_{et})$$

Si este es el número medio de veces que hay que transmitir una trama para que llegue bien el T_{oc} quedaría:

$$\overline{T_{oc}} = (\overline{N} - 1) * (T_{tx} + T_{out}) + RTD$$

Para calcular la cadencia eficaz o el rendimiento basta con recordar el número de bits útiles de una trama (D en este caso).

Cuestión 28: ¿Cómo quedarían la C_{ef} y el rendimiento?

6.4 Protocolos de ventana deslizante sin errores

Es necesario distinguir en este caso si hay o no envío continuo, la figura 17 muestra el caso con envío continuo. Al contrario que en los protocolos anteriores, en los que había parada, aquí mientras se espera el asentimiento se está usando el enlace para transmitir más tramas, por lo tanto no se puede considerar este tiempo como parte del tiempo de ocupación ya que el canal no se usa en exclusiva para que la trama que se está considerando llegue al otro lado. Por tanto el tiempo que se ocupa el canal de forma exclusiva para que una trama llegue bien al receptor es en este caso el tiempo de transmisión de la trama ya que el resto del tiempo el canal se usa para transmitir otras tramas y nunca hay retransmisiones porque no hay errores.

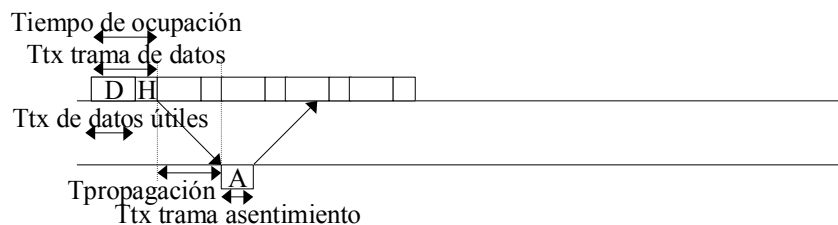


Fig. 17: Protocolo de ventana deslizante sin errores y con envío continuo.

En caso de que no existiera envío continuo y el transmisor quedara detenido en algún momento este tiempo que el emisor está detenido sí que hay que considerarlo como parte del tiempo de ocupación, ya que durante ese tiempo el enlace no puede ser utilizado para enviar nada. La figura 18 muestra este caso. Para hacer un cálculo más sencillo se podría utilizar toda la ventana para calcular el tiempo de ocupación, en ese caso el número de datos útiles transmitidos no sería los datos transmitidos en una trama si no los transmitidos en toda la ventana.

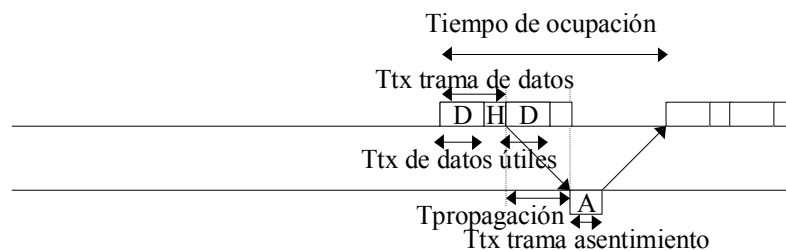


Fig. 18: Protocolo de ventana deslizante sin errores y sin envío continuo.

Cuestión 29: ¿Cómo quedarían la Cef y el rendimiento?

6.5 Protocolos de ventana deslizante con errores

Son más los factores que hay que considerar ahora y por tanto es necesario estudiar cada protocolo detenidamente. Habrá que estudiar si el protocolo es con rechazo selectivo o simple. La figura 19 muestra el caso de rechazo simple. En esta ocasión como cada vez que una trama llega errónea hay que retransmitir todas las tramas que se transmitieron después de ésta el tiempo de ocupación para la transmisión de una trama será el número medio de transmisiones incorrectas por el tiempo que se usa en transmitir la trama incorrecta y todas las que después habrá que retransmitir también (ya que la transmisión de todas las demás es tiempo perdido en este caso) más el tiempo de transmisión de la trama correcta.

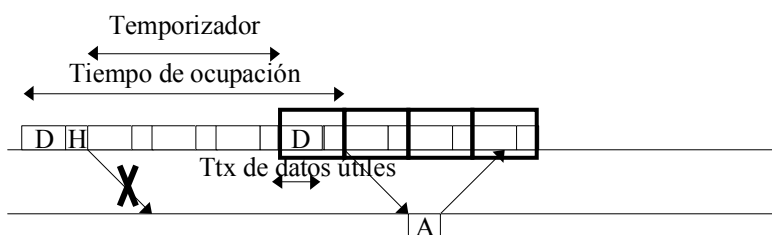


Fig. 19: Protocolo de ventana deslizante con rechazo simple y envío continuo cuando hay errores

Si se logra envío continuo, rechazo selectivo y se usan tramas de asentimiento negativo el rendimiento puede aumentar mucho.

Cuestión 30: ¿Cómo quedarían la Cef y el rendimiento en estos dos casos?

7. DISCIPLINA DE LÍNEA

Con el mecanismo de ventana deslizante, y el uso de técnicas de detección de errores, se pueden acometer las tareas de control de errores impuestas al nivel de enlace. Las tareas de control de flujo también podrían considerarse resueltas al ser la transmisión basada en créditos, de manera que si el receptor deja de enviar asentimientos se asegura de que el transmisor dejará de transmitir en algún momento. De todos modos, cuando se estudien protocolos reales, como HDLC, se verá que existen tramas específicas para el control de flujo.

Pero la tercera tarea del nivel de enlace, la disciplina de línea, queda aún por resolver. Recordemos que la disciplina de línea consistía en repartir adecuadamente la capacidad de un enlace compartido entre distintos terminales. Hasta el momento sólo habíamos considerado un enlace punto a punto, por lo que no teníamos que resolver este problema. Los escenarios más habituales en los que ya no es posible obviar este problema y es necesario realizar esta tarea son las LAN (Redes de Área Local) y algunas redes de acceso (Redes de cable, GSM, LMDS...).

En un medio compartido sólo una terminal puede realizar una transmisión con éxito en un momento determinado. De este modo será necesario algún mecanismo para repartir el ancho de banda disponible entre los distintos terminales. Este mecanismo debe asegurar:

- Que hay un reparto adecuado del ancho de banda.
- Que cada terminal puede hacer la transmisión en un periodo razonable de tiempo.
- Que la pérdida de ancho de banda debida al propio mecanismo de arbitraje sea mínima.

Se podrían hacer varias clasificaciones de los métodos que se han desarrollado para compartir el ancho de banda de un enlace, que dependerán del parámetro por el que se clasifiquen los métodos. Así podríamos distinguir:

Según el responsable del reparto del ancho de banda

- **Métodos centralizados:** Existe un equipo central que se encarga de repartir la capacidad disponible de la forma más adecuada.
- **Métodos distribuidos:** No existe un equipo maestro, sino que todos los terminales tienen el mismo rango jerárquico y participan en la adecuada distribución del ancho de banda.

Según la resolución del reparto de ancho de banda

- **Concesión de permisos:** Solamente puede transmitir el terminal que tenga permiso para hacerlo en un momento dado, de modo que nunca puede haber colisiones. Las técnicas principales basadas en permisos son:
 - **Polling (o sondeo/selección):** En los que un equipo actúa como maestro concediendo permiso de transmisión a los demás. De este modo sólo puede transmitir el terminal que tenga permiso para

hacerlo ocupando todo el ancho de banda disponible durante el tiempo que tenga este permiso. La transmisión siempre será desde el equipo terminal al equipo central o viceversa. Veremos como se utiliza en líneas multipunto en HDLC.

- **Testigos:** Solamente puede transmitir el equipo que posea el testigo. Cuando un equipo termine de transmitir pasará ese testigo al siguiente. Se utiliza en redes de área local de tipo Token Ring (802.5)
- **Reserva:** En los que se realiza una multiplexión en el medio físico que dependerá de las necesidades de los equipos que comparten ese medio. De este modo el terminal hace una solicitud de ancho de banda y se le asigna un canal determinado dentro del ancho de banda total (por ejemplo una ranura de tiempo determinada en una trama física). Dado que este canal sólo puede ser utilizado por ese terminal en ningún momento podrán ocurrir colisiones en el mismo. Se usa por ejemplo en redes de cable, en el acceso radio de GSM o en redes de área local de tipo DQDB.
- **Contienda:** Este es el único caso en el que podría darse el caso de que varios terminales transmitieran simultáneamente y por tanto ninguno de ellos lograría una transmisión correcta. Es decir es el único caso en el que pueden existir colisiones. Los mecanismos de contienda tratan de minimizar las colisiones utilizando métodos como la detección de portadora (o escucha del canal). Por otro lado tienen que contar con métodos para la detección y resolución de colisiones.

Todos los mecanismos necesitan utilizar parte del ancho de banda disponible en su ejecución. Hay que pasar mensajes que den permiso para realizar una transmisión, hay que intercambiar mensajes para realizar una reserva de un canal o se pueden realizar transmisiones que no llegan a ser válidas y por tanto son tiempo perdido.

Dado que los mecanismos de acceso a un medio compartido pueden llegar a ser bastante complejos y para facilitar el desarrollo de los mismos, de forma independiente a las técnicas de resolución de errores y gestión de flujo, puede resultar conveniente, en ciertas ocasiones, subdividir la capa de enlace en dos, como muestra la figura 20. De este modo se podría dividir la capa de enlace en:

LLC (Logical Link Control): o capa de control de enlace lógico. Encargada fundamentalmente de las tareas de control de errores y control de flujo.

MAC (Medium Access Control): o capa de control de acceso al medio. Encargada principalmente de las tareas de disciplina de línea.

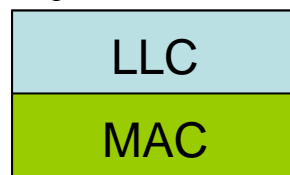


Fig. 20: División de la capa de enlace.

8. EJEMPLOS I: HDLC

8.1 Introducción:

Se han estudiado hasta aquí los mecanismos básicos de los protocolos de nivel de enlace, sin especificar ninguna implementación concreta de éstos. Se podrían dividir las implementaciones de protocolos de enlace existentes en dos grandes grupos, *protocolos asíncronos y protocolos síncronos*. En el primer caso la transmisión entre entidades de enlace es asíncrona, es decir que una unidad de datos se transmite entre ambos extremos sin coordinación del tiempo ya que no existe un reloj común entre transmisor y receptor. Esto obliga al uso de bits adicionales para controlar el principio y fin de la transmisión de información y para facilitar la extracción de datos. De manera que estos protocolos tienen problemas de velocidad y han quedado prácticamente relegados al uso en los módems sustituyéndose por protocolos síncronos en otros entornos que necesitan más eficiencia como LAN, MAN o WAN. Dentro de los protocolos asíncronos pueden destacarse XMODEM, YMODEM, ZMODEM, BLAST o Kermit.

En cuanto a los protocolos síncronos se dividen en dos grandes grupos, los *protocolos orientados a carácter y los orientados a bit*. Los primeros interpretan una trama como una sucesión de caracteres y toda la información de control está en un formato de algún sistema de codificación de carácter (p.e. ASCII). De los protocolos de este tipo el más conocido es el BSC (Binary synchronous communication) desarrollado por IBM. En cuanto a los segundos, los orientados a bit, interpretan la trama como una sucesión de bits cuyo significado se extrae según su posición en la trama, que por supuesto tiene un formato bien definido. De este modo la información de control puede estar dada por uno varios bits, según las necesidades. Los más conocidos de este tipo son SDLC, HDLC y la familia LAP. Estos protocolos son más eficientes que los protocolos orientados a carácter y son los más utilizados en la actualidad, por ello estudiaremos más en profundidad un protocolo de esta familia: HDLC

8.2 Generalidades

HDLC (High data link control) se basa en el usado en la capa de enlace en SNA (SDLC). ANSI modificó este protocolo y generó el ADCCP que más tarde la ISO convierte en el HDLC (ISO 4335:1991). Posteriormente la UIT-T lo modifica y especifica la familia LAP (B,D,M...). Muchas de las ideas que se ven en este apartado son comunes a todos estos protocolos, aunque las explicaciones están centradas en HDLC.

Todos estos protocolos están basados en los mismos principios. Son orientados a bit, como se ha especificado, y utilizan el mecanismo de inserción de bit, estudiado al principio de este tema, para lograr la transparencia de datos. La estructura de la trama es también común:

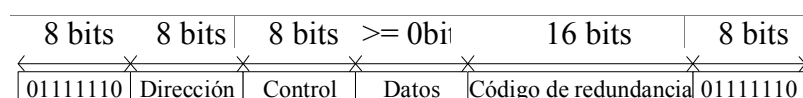


Fig. 21: Formato general de trama

- Las banderas indican el principio y fin de trama, si las tramas se transmiten consecutivamente la bandera de inicio de una podría sustituir a la de fin de la anterior, ahorrándose así la transmisión de 8 bits. Las banderas se transmiten continuamente si la línea está inactiva.
- El campo dirección se utiliza fundamental en líneas multipunto, es decir, cuando el enlace está compartido por varios terminales, como muestra la figura 22. En este caso la dirección se emplea para identificar el terminal. Si fuera necesario utilizar más de un octeto podría utilizarse. En caso de necesitar más de un octeto el primer bit del último octeto de dirección irá a 1 y en todos los demás octetos de dirección el primer bit irá a cero. En las líneas punto a punto, dos terminales directamente unidos como indica la figura 23, se usa para distinguir los comandos (órdenes) de las respuestas, la dirección que se envía siempre es la del que trabaja como secundario (el destino en las órdenes o el origen en las respuestas). En el siguiente apartado se estudian las configuraciones básicas y se revisará esta idea. El uso de este campo es como sigue:
 - 00000000 Dirección Nula
 - 0xxxxxxx Puede haber más octetos
 - 1xxxxxxx Octeto final (dirección extendida)
 - 11111111 Difusión
- El campo de control se usa para los números de secuencia, asentimientos e información relativa a otras tareas que necesiten realizar las entidades de enlace.
- En el campo de datos se envía la información del nivel de red (y de enlace en algunas tramas de control que necesiten información). Puede ser arbitrariamente largo, aunque la eficiencia del código de redundancia decrecerá a medida que se aumente la longitud de la trama, ya que la probabilidad de errores aumentará. En el campo de redundancia se utiliza una variante del código de redundancia cíclico CRC dado por la UIT-T y este código controla los posibles errores tanto en los datos como en las cabeceras.

8.3 Configuraciones básicas y modos de operación

Las distintas variantes del protocolo HDLC pueden funcionar con distintas configuraciones básicas:

- **Configuración no equilibrada o no balanceada** (Mostrada en la figura 21): Un equipo trabaja como principal, dando órdenes y los demás como secundarios, respondiendo a estos comandos. El enlace tiene que ser compartido entre todos los secundarios y para lograr esto se utilizan ciclos de sondeo y selección gobernados por el principal. En el ciclo de sondeo el principal recoge datos de los secundarios, uno a uno, en el de selección el principal envía datos a los secundarios. La dirección que se envía en las tramas siempre es la del terminal secundario al que se envía la orden o que responde.

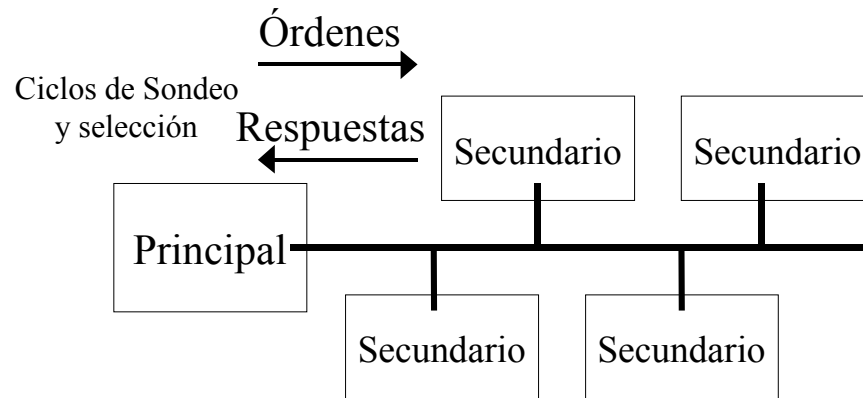


Fig. 22: Configuración NO equilibrada

- **Configuración equilibrada o balanceada** (Mostrada en la figura 23): en este caso se tiene una configuración punto a punto en la que ambos lados pueden intercambiar el papel de principal y secundario, de manera que se envían órdenes y respuestas según las necesidades. Siempre se enviará la dirección del secundario (el que recibe la orden o envía la respuesta).

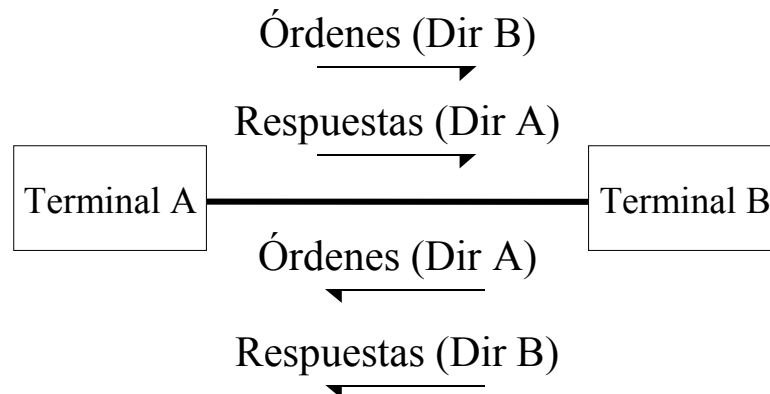


Fig. 23: Configuración Equilibrada

El término asíncrono se utiliza para indicar que las estaciones no necesitan recibir una señal preliminar procedente de otra estación antes de comenzar a transmitir tráfico. Es decir no se necesita ninguna autorización antes de transmitir cualquier trama, no existe sondeo.

Sobre estas configuraciones básicas se pueden utilizar distintos modos de operación:

Modo Normal (NRM o UN, Normal Response Mode o Unbalanced Normal): Utilizado en enlaces multipunto (1 principal y N secundarias), muy normal en entornos centralizados. Evidentemente la configuración de este modo será la multipunto.

Modo Asíncrono no balanceado (ARM o UA, Asynchronous Response Mode o Unbalanced Asynchronous): Usado en enlaces punto a punto, se basará en utilizar la configuración punto a punto pero trabajando siempre uno como principal y el otro como secundario. En este caso los secundarios pueden transmitir sin permiso del principal ya que no habría problema de colisión al tener líneas punto a punto.

Modo Asíncrono Balanceado (ABM o BA, Asynchornous Balanced Mode o Balanced Asinchronous): Se utiliza también en enlaces punto a punto. En este caso las dos estaciones alternan los papeles de principal y secundario según sea conveniente (balanceado).

8.4 Tramas HDLC

Hay tres tipos de tramas:

- Información: Transportan información del nivel de red en el campo información.
- Supervisora: Se utilizan para asentir tramas (positiva y negativamente) y controlar el flujo en el enlace. También informan del estado a la entidad de enlace del otro lado.
- Sin numerar: En general tienen propósitos de control del enlace de datos que veremos más adelante.

En la figura 24 se presenta el campo de control en cada una de estas tramas.

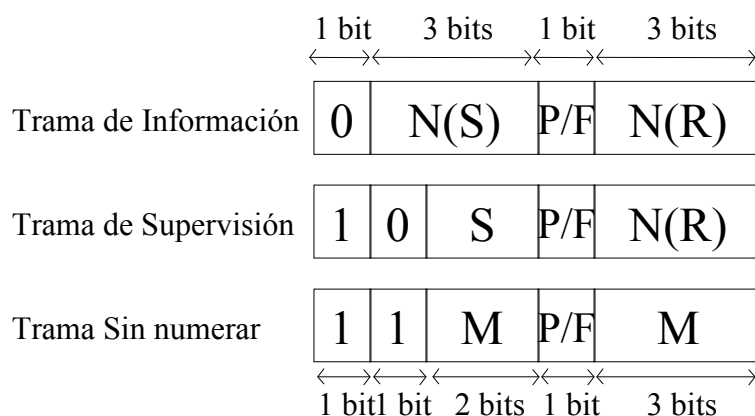


Fig. 24: Campo de control de las tramas HDLC

Como se observa en la figura el campo de “número de secuencia” de las tramas de información, N(S), tiene tres bits y se utiliza para indicar el orden de la trama dentro de una secuencia de tramas (facilita la entrega en orden al nivel de red y la identificación de tramas perdidas o erróneas).

Cuestión 31: ¿Cuál sería el tamaño máximo de la ventana de transmisión?

El campo “número de asentimiento” N(R), que aparece en las tramas de información y las de supervisión, se utiliza para enviar asentimientos superpuestos. En este campo se pone **el número de secuencia de la siguiente trama que se espera**. Por otro lado el bit P/F, pregunta/final o comando/respuesta, se usa para tareas de disciplina de línea consiguiendo así una gestión adecuada del enlace. Solamente tiene sentido cuando está activo (bit=1) y significa P si lo activa una estación principal (es decir si va en una orden) o F si lo activa una secundaria (es decir si va en una respuesta). El funcionamiento es sencillo y depende de la configuración que se esté usando:

En configuración multipunto: Durante el ciclo de sondeo el concentrador invita a un terminal a enviar datos (orden) enviándole una trama con el bit P activo (bit a 1). A partir de ese momento el terminal empieza a enviar datos y en la última trama

(trama de respuesta) activa el bit F (lo pone a uno) de manera que así el principal sabe que ya no le va a enviar más datos y puede pasar a sondear otro terminal. Puede considerarse como la existencia de un testigo que da permiso para transmitir sobre el enlace, con el bit P el principal envía el testigo a un secundario concreto, con el bit F el secundario devuelve el testigo al principal. Como puede observarse el bit P/F es el mismo, simplemente cuando lo activa el equipo principal es P (es decir en una orden significa P) mientras que cuando lo activa el secundario es F (es decir en una respuesta significa F).

En configuración punto a punto: En este caso se suele utilizar el bit P/F para preguntar sobre el estado de la entidad de enlace gemela. De manera que si un lado activa el bit P cuando está enviando una orden, o comando, obliga al otro lado a enviar una trama de respuesta con el bit F activo. De nuevo se puede considerar que el que actúa de principal utiliza el bit como P mientras que el que actúa de secundario lo utiliza como F.

***Cuestión 32:** Piense en un caso en el que a uno de los dos lados le interese activar el bit P*

8.4.1 Tramas supervisoras

Existen 4 tipos de tramas supervisoras que se distinguen por el campo S (Tipo), según la figura 24:

- **00: RR Receptor listo**, indica que la siguiente trama esperada es la que tiene el número de secuencia indicado en el campo N(R). Se usa cuando no hay tráfico en sentido contrario para la superposición del asentimiento a la información.

***Cuestión 33:** ¿Por qué es necesario esta trama y no simplemente se espera a que haya algo que transmitir en el otro sentido?*

- **01: REJ Asentimiento negativo o rechazo**. Indica que la trama con el número de secuencia indicado en N(R) no se recibió bien y solicita al otro lado que se retransmita *esa y todas las tramas que se hayan enviado después*.

***Cuestión 34:** Este tipo de retransmisión es característica de protocolos con ¿Qué tamaño de ventana de recepción? ¿Qué tipo de rechazo es?*

- **10: RNR Receptor no listo**. Es una trama de asentimiento positivo, indica que la siguiente trama que se espera es la que va en el campo N(R), y por tanto todas las anteriores se recibieron bien. Pero en este caso se solicita al otro lado que deje de transmitir. Sirve por tanto como un mecanismo de control de flujo, que asegura que si hay algún problema en el receptor el emisor no lo inundará con tramas que no se podrán gestionar. Cuando de nuevo el receptor está listo se enviará alguna trama supervisora para que continúe la comunicación (RR,REJ...)

- **11: SREJ Rechazo selectivo.** Con esta trama se solicita la retransmisión, exclusivamente, de la trama que se indica en el campo N(R). Es una trama exclusiva de HDLC (No existe en SDLC ni LAPB)

Cuestión 35: ¿Qué tamaño de ventana de recepción se necesita? Relaciónelo con los números de secuencia.

8.4.2 Tramas sin numerar

Las tramas sin numerar se utilizan normalmente para propósitos de control, es decir que no transmiten información del nivel de red (salvo la trama UI que veremos más adelante). No se utilizan todas siempre si no que depende de la variante de protocolo que se esté utilizando, como se vio anteriormente existen distintos modos de operación en HDLC y como se verá inmediatamente distintos procedimientos, según el que se esté usando se usarán unas tramas u otras. En la figura 25 se representa una tabla con todas las tramas HDLC, y se pueden observar los distintos tipos de tramas sin numerar que hay.

TIPO	COMANDO	CAMPO DE CONTROL				RESPUESTA ¿BÁSICO?		MODO DE OPERACIÓN		
INFORMACIÓN	I	0	SEC ENVIÓ	P/F	SEC RECEP	I	SÍ			
	RR	1	0	0	0	P/F	SEC RECEP	RR	SÍ	
	REJ	1	0	0	1	P/F	SEC RECEP	REJ		
	RNR	1	0	1	0	P/F	SEC RECEP	RNR	SÍ	
SUPERVISORA	SREJ	1	0	1	1	P/F	SEC RECEP	SREJ		
	UI	1	1	0	0	P/F	0 0 0	UI		
	SNRM	1	1	0	0	P	0 0 1			UN
	DISC	1	1	0	0	P/F	0 1 0	RD	SÍ	
	UP	1	1	0	0	P	1 0 0			
		1	1	0	0	F	1 1 0	UA	SÍ	
	SIM	1	1	1	0	P/F	0 0 0	RIM		
		1	1	1	1	F	0 0 1	FRMR	SÍ	
	SARM	1	1	1	1	P/F	0 0 0	DM	SÍ(DM)	UA
	RSET	1	1	1	1	P	0 0 1			
	SARME	1	1	1	1	P	0 1 0			UA (Nume. Extendida)
	SNRME	1	1	1	1	P	0 1 1			UN (Nume. Extendida)
	SABM	1	1	1	1	P	1 0 0			AB
	XID	1	1	1	1	P/F	1 0 1	XID		
SIN NUMERAR	SABME	1	1	1	1	P	1 1 0			AB (Nume. Extendida)

Fig. 25: Tramas HDLC

Cuestión 36: Compara la figura 23 y la 22, observa que los bits S y M del campo de control determinan el tipo de trama.

Cuestión 37: Observa el campo bit P/F de las tramas. ¿Por qué en todas las tramas que sólo pueden ser comandos este bit sólo puede ser P? ¿Por qué en todas las tramas que sólo pueden ser respuestas este bit sólo puede ser F?

A continuación se verán algunas de las tramas sin numerar más importantes.

FRMR: Llegó trama con semántica errónea, no entendible por el receptor, pero con CRC correcto. Por ejemplo se envía si se recibe un asentimiento de trama fuera de

ventana, una trama supervisora con menos de 32bits, una trama de control inexistente en el protocolo que se está usando...

XID: Trama para el intercambio de identificadores.

UA: Asentimiento sin numerar, para asentir las tramas de control. Las tramas de control también pueden perderse o dañarse y es necesario que el otro extremo confirme que se recibieron bien. Evidentemente en este caso no se necesita numeración porque las tramas de control no van numeradas y sólo una trama de control puede estar pendiente de ser asentida en un momento dado

UI: Información sin numerar, se utiliza cuando una entidad de capa 3 (red) solicita la transferencia de información sin acuse de recibo. Se pueden perder sin notificación ya que no llevan número de secuencia y no se asienten. El servicio de transmisión de datos ofrecido por la capa de enlace si se usa esta trama es sin conexión ni asentimiento.

Hay una serie de tramas que sirven para el establecimiento de la conexión, con ellas los extremos reinician números de secuencia, contadores, temporizadores y todos los parámetros que necesiten usar durante la conexión. Según el modo de operación de HDLC con el que se vaya a funcionar se utilizará una trama de conexión u otra.

SARM: Establecimiento del modo asíncrono no balanceado.

SARME: Asíncrono no balanceado con numeración extendida (7 bits para número de secuencia, ventana de transmisión mayor)

SNRM: Establecimiento del modo normal (no balanceado)

SNRME: Modo normal con numeración extendida (7 bits para secuencia, ventana de transmisión mayor)

SABM: Establecimiento del modo asíncrono balanceado

SABME: Modo asíncrono balanceado con numeración extendida (7 bits para secuencia, ventana de transmisión mayor)

Otro conjunto de tramas sirve para desconectar

DISC: Uno de los extremos anuncia que se va a desconectar

RD: Un terminal secundario pide al principal que envíe un DISC

DM: Respuesta negativa a una orden de activación de conexión o positiva a una orden de desconexión.

Como se dijo anteriormente existen distintas clases de procedimientos en HDLC, la figura 26 representa estos procedimientos con las tramas y restricciones concretas de cada uno de ellos. Puede observarse que hay una serie de tramas básicas que se utilizan siempre (en la figura 25 se señala cuáles son). Un protocolo se identifica por el modo de operación (UN, UA, BA) y una serie de números que indican los procedimientos que se utilizan, mostrados en la figura 26, que indican restricciones y tramas concretas.

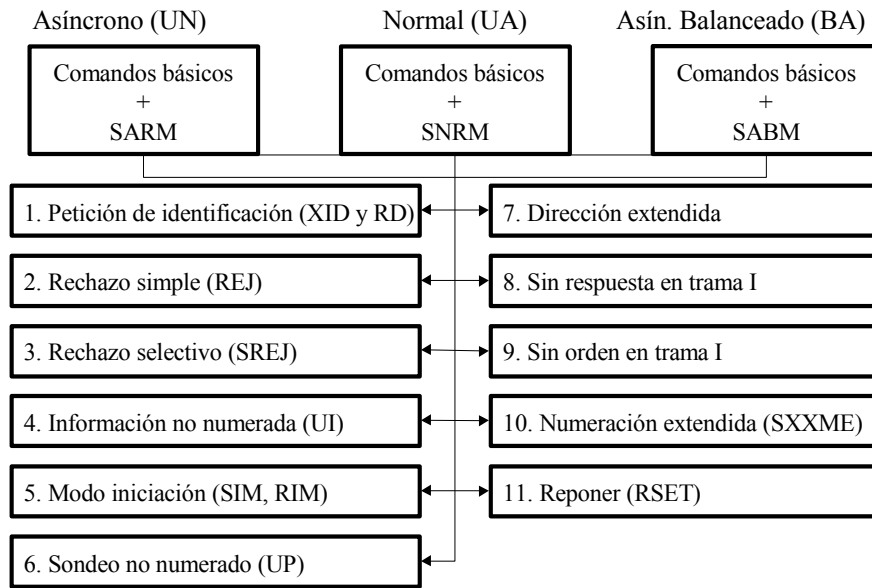


Fig 26: Tramas y restricciones según el procedimiento

Así si se utiliza BA 2,8 se estará utilizando modo de operación balanceado, con rechazo simple y que no se pueden enviar respuestas (es decir activar el bit F) en las tramas I.

Si se usa UN 3,4 se estará utilizando modo de operación normal, con rechazo selectivo y tramas de información no numerada.

8.5 Ejemplos

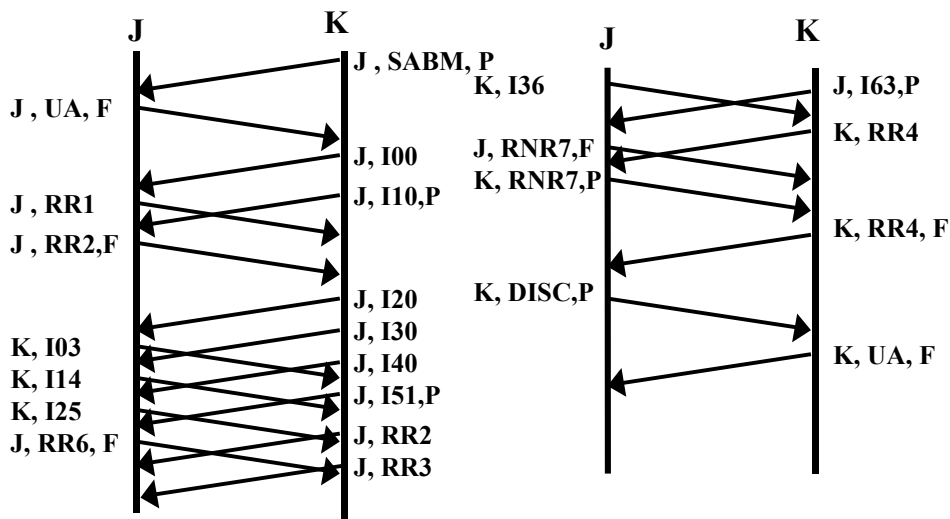


Fig. 27: Ejemplo 1: Protocolo BA 2,8 sin errores

Cuestión 38: Fíjate en el uso de los bits P/F, ¿Cómo se responde a los bits P activos? ¿Cuándo se activa el bit P qué dirección se usa? ¿Y cuándo se activa el bit F?

Cuestión 39: Identifica las restricciones o tramas de los procedimientos 2,8

Los dos protocolos anteriormente señalados son los más utilizados y el resto de figuras son ejemplos que representan casos particulares de los mismos. En todos ellos las tramas se representan de la siguiente forma. En primer lugar se indica la dirección que va en la trama, a continuación el tipo de trama y por último se indica si está activo el bit P o el F. En las tramas de información se indican, además, el número de secuencia de la trama N(S) y el asentimiento N(R). En tramas supervisoras se indica el campo N(R)

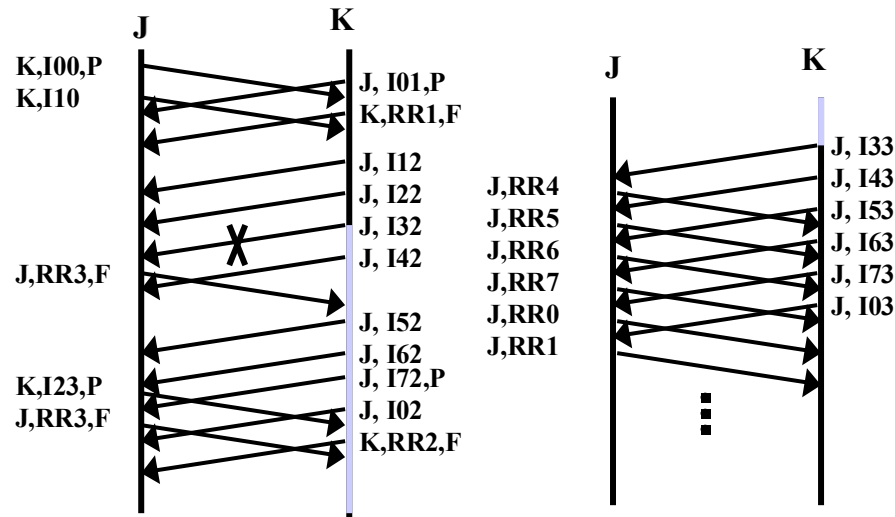


Fig. 28: Ejemplo 2: Protocolo BA 2,8 con errores

Cuestión 40: Fíjese en la reacción a fallos: ¿Cuándo falla una trama cuáles se retransmiten? ¿Qué ventana de recepción hay? ¿Y de transmisión?

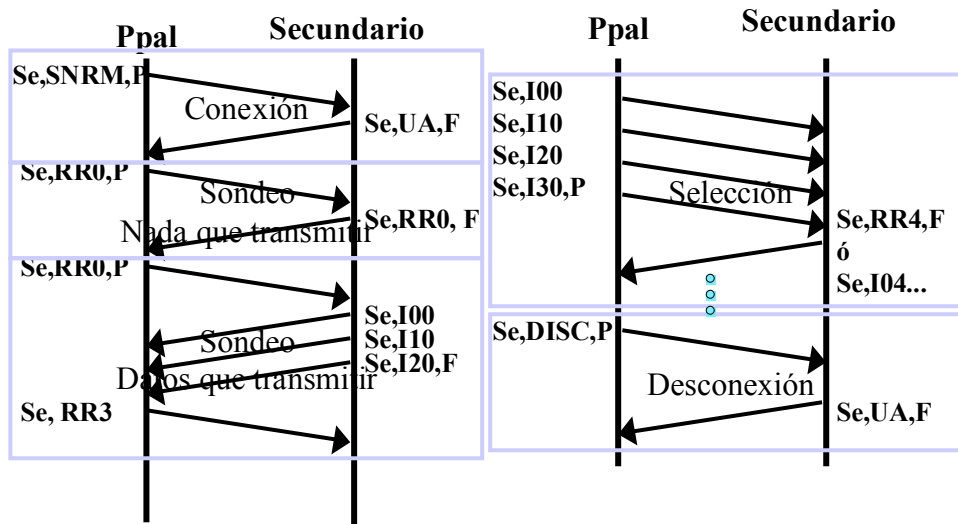


Fig. 29: Ejemplo 3: Protocolo UN 3,4 sin errores

Cuestión 41: Identifique las restricciones o tramas de los procedimientos 3,4

Cuestión 42: Identifique los ciclos de sondeo y selección. ¿Cuándo empieza el ciclo de sondeo? ¿Cuándo termina? ¿Quién envía la información en el ciclo de sondeo? ¿Y en el de selección?

Cuestión 43: ¿Qué pasaría si fuera el secundario el que quisiera desconectar? Repase las tramas sin numerar que se usan para desconectar.

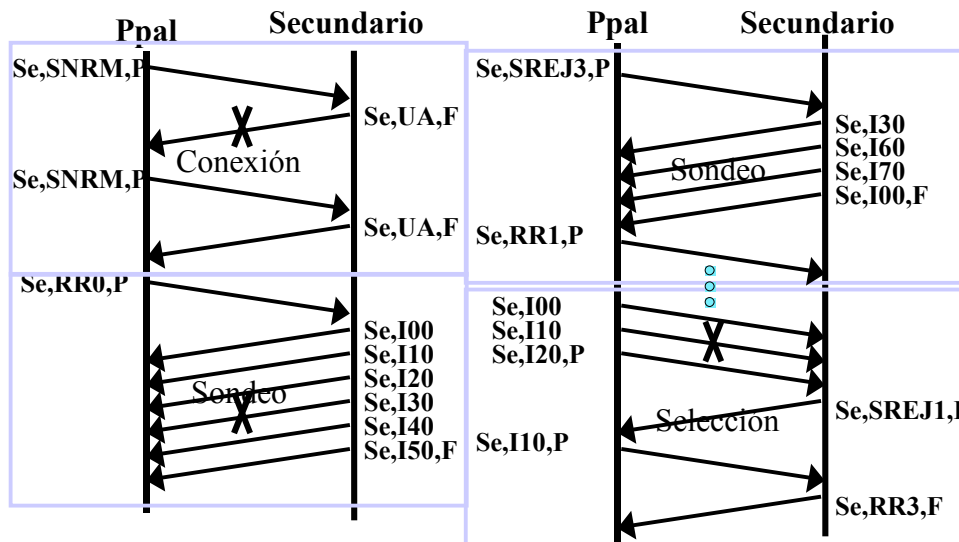


Fig. 30: Ejemplo 4: Protocolo UN 3,4 con errores

Cuestión 44: ¿Qué ocurre aquí cuando una trama llega mal? ¿Cuáles hay que retransmitir?

Los protocolos de nivel de enlace más utilizados en la actualidad están basados en HDLC. La tabla que se muestra a continuación refleja estos protocolos y dónde se utilizan principalmente.

Protocolo	Protocolo	Uso
HDLC	High level Data Link Control	Norma ISO 13239
ADCCP	Advanced Data Communications Control Procedure	Norma ANSI x3.66
LLC	Logical Link Control	Norma IEEE 802.2 para LANs
LAP-B	Link Access Procedure Balanced	X.25 (RPDCP)
LAP-D	Link Access Procedure D-channel	RDSI (Señalización) Q.921
LAP-F	Link Access Procedure for Frame Mode Bearer Services	Frame Relay Q.922
LAP-M	Link Access Procedure – Modem	Módems RTC (V.32, V.34, etc.)
PPP	Point to Point Protocol	Conexiones pto a pto internet

Fig. 31 Protocolos basados en HDLC

LLC2: BA 1,2,10,

LAPB BA 2,8

LAPD BA 1,2,4,7,8,10

LAPF BA 1,2,4,7,10

9. EJEMPLOS II: REDES LOCALES

9.1 Introducción:

El IEEE constituyó un comité (el 802) cuyo propósito fue normalizar las redes de área local, realizando no una sino varias normas. En redes de área local sólo se normalizan las dos capas inferiores del modelo OSI; física y enlace. Dividiendo esta última en subcapas LLC y MAC, como habíamos visto anteriormente.

El comité 802 se subdividió en varios subcomités, cada uno encargado de una tarea. Algunos de los más relevantes son:

802.1: Que normaliza conceptos comunes a todas las redes locales, como el direccionamiento, gestión o los relacionados con los puentes.

802.2: Que define la subcapa LLC.

802.3: Que define la subcapa MAC y la capa física cuando se utiliza CSMA/CD (Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisión), método heredado de las redes ethernet y que veremos más adelante en este tema.

802.4: Que define la subcapa MAC y la capa física cuando se utiliza paso de testigo en una topología de red de tipo bus.

802.5: Que define la subcapa MAC y la capa física cuando se utiliza paso de testigo en una topología de red de tipo anillo (Token Ring).

802.6: Que define la subcapa MAC y la capa física cuando se utiliza topología de doble bus (DQDB, Distributed Queue Dual Bus).

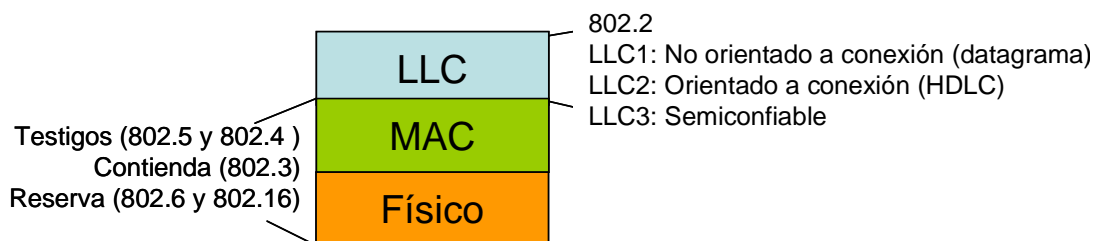


Fig. 32 Subcomités del 802 y ámbito de aplicación

9.2 Direccionamiento según la 802

Dado que estamos ante un medio compartido, en el que todos los equipos ven todos los paquetes que son transmitidos es necesario incluir un campo destino en cada trama, para que el destino la identifique y la procese adecuadamente. Por otro lado también será necesario identificar la fuente, para que el destino sepa qué estación le ha mandado la trama. De manera que el comité 802 tenía que estandarizar el formato de direcciones para redes locales. Se decidió que cualquier red local (salvo la especificada en la norma 802.6) puede utilizar direcciones de 48 o de 16 bits (en la 802.6 existe además la posibilidad de usar direcciones de 60 bits).

Lo habitual es usar direcciones de 48 bits, que facilitan que cada equipo sea provisto de un identificador global único en el momento en el que se fabrica. Para ello el IEEE actúa como autoridad global y es responsable de la asignación de bloques de

origen y el destino. El campo de SAP es de 8 bits, pero dos de ellos están reservados para tareas específicas. Uno indica si la asignación de SAP es global o local, si es global significa que el identificador de protocolo (o de SAP), ha sido asignado por el IEEE y que por tanto es único globalmente (como los puertos well known en UDP). El otro es para indicar que si la dirección identifica a más de un SAP (grupo), que se usa cuando una SDU va destinada a más de una entidad de red, o si va destinada a un único SAP (individual). La dirección SAP en la que todos los bits están a 1 es la dirección de difusión, que indica que va destinada a todos los SAP.

9.5 Control de Acceso al medio basado en CSMA/CD: 802.3

Uno de los mecanismos normalizados por el IEEE para el control de acceso al medio es el de CSMA/CD, que significa “Carrier sense multiple access with collision detection” es decir, acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisión. Esta tecnología fue definida en la norma 802.3, y es una de las muchas técnicas que pueden utilizarse dentro de la subcapa MAC (Medium Access Control), o subcapa de control de acceso al medio. En realidad el mecanismo CSMA/CD definido en la 802.3 está heredado de uno anterior que había sido diseñado por las corporaciones Xerox, Digital e Intel y bautizado como DIX o Ethernet, pero incluye algunas modificaciones, por ejemplo en el formato de trama, como se indica en la figura 35.

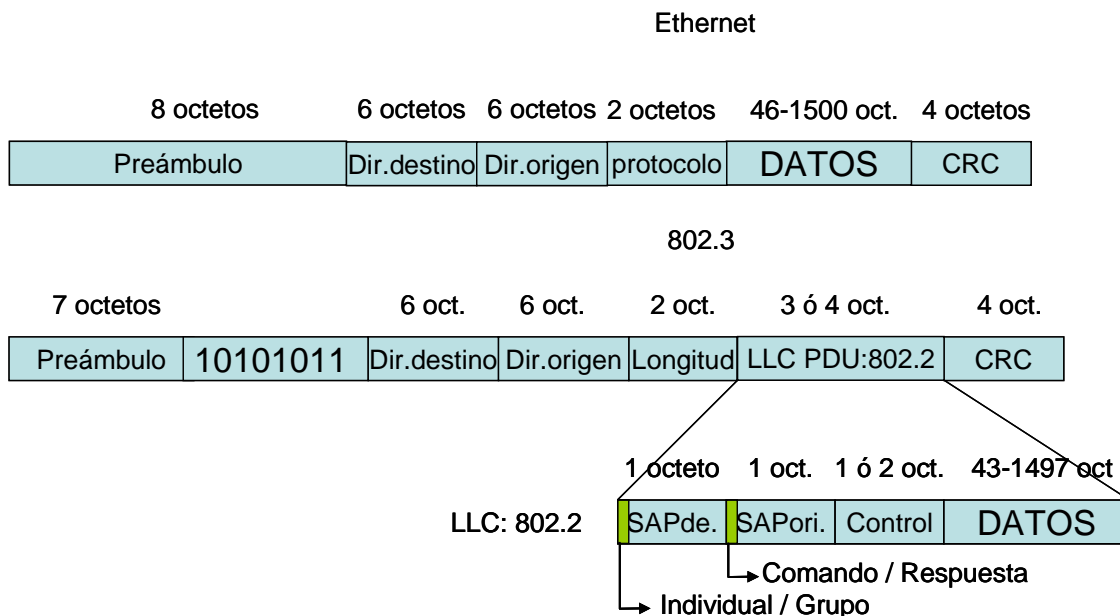


Fig. 35 Formato de tramas en Ethernet y en la 802.3

Escucha de portadora significa que antes de que un equipo transmita primero escucha para comprobar si hay algún otro equipo transmitiendo. Hasta que no se comprueba que el medio de transmisión no está siendo usado no se transmite.

Detección de colisión significa que el equipo comprueba si se ha producido una colisión, monitorizando el medio de transmisión, incluso cuando ya se está transmitiendo. Esta comprobación es necesaria ya que dos equipos pueden detectar que no se está realizando una transmisión y comenzar a transmitir al mismo tiempo, o bien un equipo puede no detectar que se está transmitiendo porque debido al retardo de propagación la trama todavía no ha llegado hasta su posición. Esto nos indica que

cuanto más corto es el cable, menor el retardo de propagación y por tanto más difícil será que ocurra una colisión. De este modo la longitud máxima de la red estará determinada en la norma 802.3 y dependerá del tipo de medio de transmisión utilizado.

Por otro lado para que durante la transmisión de una trama el equipo transmisor pueda detectar que ha ocurrido una transmisión es necesario que el tiempo de transmisión sea suficiente para asegurar que cualquier trama, generada desde cualquier equipo, incluso el más lejano, es escuchada durante la transmisión de la trama. Es decir que la longitud de las tramas deberá ser suficiente para poder detectar una colisión mientras se hace la transmisión de la misma. De este modo la longitud mínima de la trama también será un parámetro definido en la 802.3.

El procedimiento para la transmisión será:

1. Un equipo que desea transmitir una trama escucha al medio para ver si otro está transmitiendo en ese momento.

2. Si se comprueba que ningún otro está transmitiendo se realiza la transmisión de la trama.

3. Cuando dos o más entidades tienen tramas que transmitir, es posible que transmitan casi en el mismo instante, resultando en una colisión en el medio de transmisión.

4. Cuando se produce una colisión todas las transmisiones son fallidas, de modo que todos los equipos ignoran las tramas recibidas.

5. Si un dispositivo que está transmitiendo detecta una colisión, envía una señal de expansión para notificar a todos los demás que ha ocurrido una colisión. La señal de expansión de colisión asegura que todos los equipos de la red local se enteren de que ha ocurrido una colisión.

6. Los equipos transmisores detienen sus transmisiones tan pronto como detectan la colisión.

7. Cada uno de ellos espera un periodo de tiempo aleatorio e intenta de nuevo la transmisión siguiendo el mismo procedimiento.

Existen una gran variedad de implementaciones de IEEE 802.3 según la capa física que se vaya a utilizar. Para distinguir entre ellas, se ha desarrollado una notación. Esta notación especifica tres características de la implementación.

- La tasa de transferencia de datos, o régimen binario, en Mb/s
- El método de señalización utilizado
- La máxima longitud de segmento de cable (en cientos de metros) del tipo de medio.

Algunos tipos de estas implementaciones de IEEE 802.3 y sus características son:

Ethernet

1BASE-5

1Mb/s sobre cable par trenzado a una distancia máxima de 250m.

10BASE-5

10Mb/s sobre cable coaxial de 50 Ω troncal y AUI (attachment unit interface) de cable par trenzado a una distancia máxima de 500m.

10BASE-2

10Mb/s sobre cable coaxial delgado de 50 Ω con una distancia máxima de 185m.

10BROAD-36

10Mb/s sobre cable coaxial de banda ancha de 75 Ω con una distancia máxima de 3600m.

10BASE-T

10 Mb/s sobre cable par trenzado sin blindaje (Unshielded Twisted Pair o UTP) siguiendo una topología de cableado horizontal en forma de estrella, con una distancia máxima de 100m desde una estación a un hub.

10BASE-F

El nivel físico definido para banda base a 10Mb/s sobre fibra óptica con una distancia máxima de 2.000 metros (2Km).

Fast Ethernet

100BASE-TX

100Mb/s sobre dos pares (cada uno de los pares de categoría 5 o superior) de cable UTP o dos pares de cable STP.

100BASE-T4

100Mb/s sobre 4 pares de cable UTP de categoría 3 (o superior).

100BASE-FX

100Mb/s sobre un sistema de cableado de dos fibras ópticas de 62.5/125 μm .

100BASE-T2

100Mb/s sobre 2 pares de categoría 3 (o superior) de cable UTP.

Gigabit Ethernet

1000BASE-SX

1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

1000BASE-LX

1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras monomodo o multimodo (50/125 μm or 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

1000BASE-CX

1000Mb/s (1Gb/s) sobre cableado de cobre blindado balanceado de 150 Ω . Este es un cable especial con una longitud máxima de 25m.

1000BASE-T

1000Mb/s (1Gb/s) sobre 4 pares de categoría 5 o superior de cable UTP, con una distancia máxima de cableado de 100m

10. EJEMPLOS III: PPP SOBRE HDLC

10.1 El protocolo PPP: RFC 1661

El protocolo PPP (Point to point protocol), o protocolo punto a punto, está especificado en la RFC 1661.

Dentro de PPP se pueden distinguir 3 componentes o prestaciones fundamentales.

- Un mecanismo para transportar información destinada a distintos protocolos sobre el mismo enlace punto a punto. Es decir proporciona un mecanismo multiprotocolo.
- Incluye el protocolo de control de enlace (LCP), que permite establecer, configurar y probar el enlace.
- Existe una familia de protocolos de control de red (NCP) para configurar el uso de distintos protocolos de red, dado que el servicio ofrecido a cada uno de estos protocolos tiene requisitos muy distintos.

El formato del paquete PPP (o PDU PPP) se representa en la figura 36, y como se puede comprobar incluye una cabecera que identifica el tipo de protocolo que viaja en el campo de datos. Esta cabecera puede ser de 1 ó 2 octetos. La idea es similar al uso del identificador del SAP en las tramas LLC, que como ya habíamos visto permite la multiplexión de distintos protocolos sobre el mismo enlace. Si el campo de protocolo comienza con un 0 significa que se usa un identificador de protocolo estandarizado o “well known”, mientras que si comienza con un 1 significa que el identificador de protocolo es propietario.



Fig. 36 Formato de la PDU PPP

En función del rango de numeración al que corresponde el campo “protocolo” la información que viaja en el campo de datos puede ser:

- Un protocolo determinado del nivel de red
- Información asociada a algún protocolo de control de red (NCP)
- Información asociada al protocolo de control de enlace (LCP)

La longitud del campo de datos es variable, desde cero hasta un tamaño máximo que está fijado por el parámetro negociable MRU (Maximum Receive Unit), que por defecto es 1500 octetos. El paquete PPP incluye además un campo de relleno, ya que en algunas ocasiones interesa que el tamaño de la PDU sea fijo, e igual a MRU, y por tanto se rellena hasta alcanzar ese tamaño.

El único requisito impuesto por PPP es disponer de un enlace físico full-duplex (ya sea dedicado o conmutado), de manera que PPP puede utilizarse en entornos muy diversos. El principal interés en estudiar este protocolo es que se suele utilizar actualmente para las conexiones punto a punto en internet, por debajo del nivel de

interred. Será especialmente interesante utilizar PPP sobre HDLC para conseguir la prestación de multiprotocolo en HDLC, que no tenía esta facilidad.

En la RFC 1661 se define la organización y metodología de PPP, la encapsulación de distintos protocolos y un mecanismo extensible de negociación de opciones, que permite negociar un amplio conjunto de parámetros de configuración y proporciona funciones de gestión adicionales. El protocolo de control de enlace (LCP, Link Control Protocol) de PPP se describe precisamente en términos de este mecanismo de negociación de parámetros. Para que la configuración pueda ser lo más automática posible los parámetros de configuración tienen un valor por defecto, de manera que todo lo que no se negocia toma ese valor.

Operación de enlace en PPP

Para establecer una comunicación sobre un enlace punto a punto las entidades PPP deben primero intercambiar una serie de PDUs correspondientes al protocolo LCP, para configurar y comprobar el enlace y para autenticarse con su paritaria. A continuación se intercambian PDUs del protocolo NCP para elegir y configurar el (o los) protocolos de red que se van a utilizar sobre el enlace, esto permitirá que la información se entregue en el SAP adecuado a cada protocolo y por tanto la multiplexión sobre el mismo enlace de distintos protocolos de red. Por supuesto tanto las PDUs LCP como las NCP son también PDUs PPP, pero el campo protocolo en las primeras indica LCP y en las segundas NCP.

El diagrama de estados representado en la figura 37 muestra los distintos estados en los que se puede encontrar un enlace PPP.

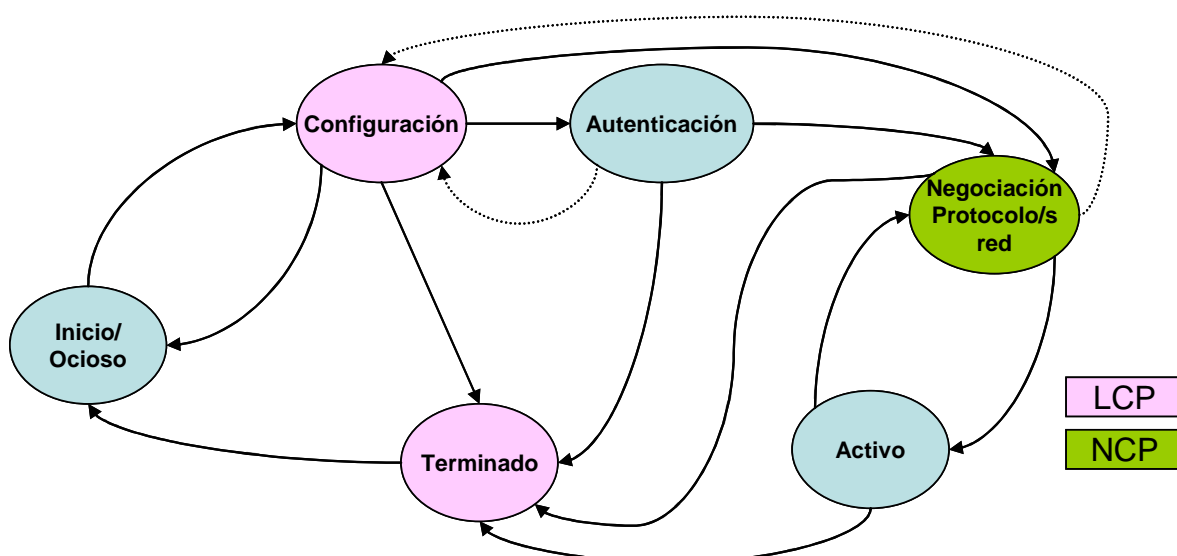


Fig. 37 Estados del enlace PPP

Durante las fases de configuración y terminación se utiliza el protocolo LCP y en la fase de negociación de protocolos de red el protocolo NCP. La fase de autenticación de entidades es opcional y no está normalizado el protocolo que se utilizará. En el estado activo el enlace está listo y preparado para entregar SDUs con información de cualquiera de los protocolos que se configuraron en la fase de negociación de protocolos.

Desde los estados de negociación y de autenticación puede volverse al de configuración si se recibe un paquete LCP de petición de configuración.

Protocolo de control del enlace (LCP)

Si en el campo de protocolo de la trama PPP aparece el identificador “c021” (en hexadecimal), es decir “1100000000100001” en binario, significa que en el campo de datos de la trama PPP viaja exactamente un mensaje LCP. Este paquete LCP tiene el formato mostrado en la figura 38.

1 oct.	1 oct.	2 oct.	0 ó más oct.
Código	Identifi.	Longitud	DATOS

Fig. 38 Formato del paquete LCP

El octeto de código sirve para distinguir el tipo de paquete LCP. Hay tres clases de paquetes LCP, y dentro de cada clase distintos tipos de paquetes.

- **De configuración del enlace:** para establecer y configurar el enlace:

Código	Paquete
1	<i>Configure-Request</i>
2	<i>Configure-Ack</i>
3	<i>Configure-Nak</i>
4	<i>Configure-Reject</i>

- **De terminación del enlace:** y

Código	Paquete
5	<i>Terminate-Request</i>
6	<i>Terminate-Ack</i>

- **De Mantenimiento del enlace:** para gestionar, comprobar y depurar el enlace.

Código	Paquete
7	<i>Code-Reject</i>
8	<i>Protocol-Reject</i>
9	<i>Echo-Request</i>
10	<i>Echo-Reply</i>
11	<i>Discard-Request</i>

El tipo de paquete LCP que se está recibiendo se reconoce por el campo de código del paquete. Si se recibiera un paquete con un código no reconocido se enviaría el paquete *Code-Reject*

El campo identificador sirve para poder reconocer la respuesta a una petición anterior y el campo longitud indica el tamaño del paquete LCP, con todos los campos incluidos. Por supuesto el paquete LCP nunca puede superar el tamaño MRU (es decir

el máximo tamaño del campo de datos de la trama PPP que es un parámetro configurable, como ya vimos).

El mensaje *Configure-Request* se utiliza en el inicio del enlace para configurarlo, cambiando el valor por defecto de los parámetros que sea necesario. De manera que es necesario indicar los parámetros a configurar y el valor que se le quiere dar a cada parámetro. Los parámetros se indican como muestra la figura 39. El campo de tipo indica el parámetro que se quiere configurar y el campo valor el valor que se le quiere dar a dicho parámetro. Para indicar la longitud de la opción de configuración es necesario también incluir un campo que transporta la longitud de los campos Tipo/Longitud/Valor.

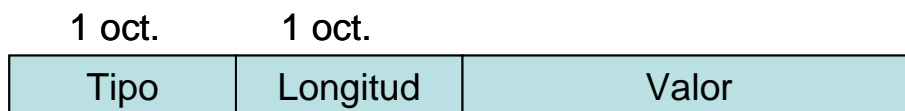


Fig. 39 Opción de configuración, en el campo de datos de un paquete *Configure-Request*

Algunos de los parámetros configurables a través de LCP son:

Tipo=1: Máximo tamaño de unidad recibida (MRU)

Tipo=3: Protocolo de autenticación que se va a utilizar (e.j. Para el Protocolo de autenticación basado en Password el campo **Valor**="c023")

Tipo=4: Protocolo de monitorización de calidad que se va a utilizar (opcional)

Tipo=7: Compresión en el campo de protocolo

Tipo=8: Compresión en los campos de dirección y control

Cada opción configurable tiene un valor por defecto, de modo que si no existe negociación para ese parámetro se utiliza el valor por defecto.

Cuestión 47: Indique cómo sería una PDU PPP que llevara un mensaje LCP *Configure-Request* para establecer la MRU a 1000 octetos y el uso del protocolo de autenticación basado en password

Si todas las opciones de configuración recibidas en un *Configure-Request* son aceptadas entonces el receptor transmite un *Configure-Ack*. En este paquete de asentimiento el campo "**Identificador**" del paquete LCP debe coincidir con el campo "**Identificador**" que tenía el paquete *Configure-Request* correspondiente, además se envían todas las opciones, exactamente igual que se recibieron en el *Configure-Request*.

Cuestión 48: Indique cómo sería una PDU PPP que llevara un mensaje LCP respondiendo a la solicitud de la cuestión 47 e indicando que todas las opciones han sido aceptadas.

En caso de que alguna de las opciones de configuración que figuran en un *Configure-Request* no fueran aceptadas se envía un mensaje *Configure-Nak* en el que se incluyen únicamente las opciones que no fueron aceptadas.

Cuestión 49: Indique cómo sería una PDU PPP que llevara un mensaje LCP respondiendo a la solicitud de la cuestión 47 e indicando que no se acepta la opción de establecer el valor 1000 para la MRU.

Si alguna de las opciones de configuración que figuran en un *Configure-Request* no pueden ser negociadas o no son reconocibles por el receptor se envía un *Configure-Reject* en el que figuran únicamente las opciones no negociables o no entendidas.

Cuestión 50: Indique cómo sería una PDU PPP que llevara un mensaje LCP respondiendo a la solicitud de la cuestión 47 e indicando que el protocolo de autenticación no es negociable.

10.2 PPP sobre HDLC: RFC 1662 y 1663

Dado que en las tramas HDLC no se distingue el tipo de protocolo al que pertenece la información de red transportada en el campo de datos, puede resultar interesante utilizar el protocolo PPP sobre HDLC para conseguir hacer esta distinción y así entregar la información en un el SAP adecuado.

Por otro lado dado que PPP no ofrece un servicio orientado a conexión puede ser interesante utilizar HDLC para ofrecer esa conexión en caso de que el protocolo del nivel superior necesite el servicio orientado a conexión.

Precisamente en la RFC 1662 se describe como se puede transportar un paquete PPP dentro de una trama HDLC y en la 1663 cómo usar HDLC para conseguir una transmisión fiable (orientada a conexión) para transportar paquetes PPP.

El formato de una trama HDLC que contenga una PDU PPP está representado en la figura 40.

1 oct.	1 oct.	1 oct.	1 ó 2 oct.	X oct.	2 ó 4 oct.	1 oct.
01111110	1111111111	Control	Id. protocolo	DATOS	CRC	01111110

Fig. 40 Formato de trama HDLC transportando paquetes PPP

Como se puede observar en el campo dirección de la trama HDLC todos los bits están a uno, al utilizarse en enlaces punto a punto no es necesario indicar la dirección destino. Por otro lado se observa la restricción de que el campo de datos sea un múltiplo de 8 bits, es decir un número entero de octetos, restricción que HDLC no imponía ya que era un protocolo orientado a bit, pero que sí impone PPP que es orientado a carácter. El campo de CRC puede extenderse hasta 4 octetos (recordemos que en HDLC se solían utilizar 2 octetos). Por lo demás es exactamente el formato de trama HDLC que ya conocemos.

Existen dos posibilidades de trabajar sobre HDLC:

Modo no numerado

Considerando que en la mayoría de las ocasiones PPP se utiliza para dar servicio a protocolos de internet en modo datagrama (no orientado a conexión), como IP, no es de extrañar que una de las formas más habituales de usar HDLC para transportar mensajes

PPP sea precisamente en modo no confiable, o no orientado a conexión. En este caso las tramas HDLC que se utilizan son únicamente las UI (Información no numerada), que recordemos que se corresponden con el campo de control “11000000”. Teniendo en cuenta que en las especificaciones de las RFC el orden de representación de cada octeto es desde el bit más significativo al menos, al contrario que en ISO que ordena los bits de cada octeto en función de la transmisión, todas las tramas HDLC que se utilizan para ofrecer el servicio no orientado a conexión transportando paquetes PPP serían tal y como se muestra en la figura 41.

1 oct.	1 oct.	1 oct.	1 ó 2 oct.	X oct.	2 ó 4 oct.	1 oct.
01111110	1111111111	00000011	Id. protocolo	DATOS	CRC	01111110

Fig. 41 Trama HDLC transportando paquetes PPP y ofreciendo servicio no orientado a conexión.

Dada que esta configuración es la más usual si en el estado de configuración del enlace de PPP no se negocia el modo numerado por defecto se utilizará este modo no numerado, no orientado a conexión.

Se puede comprobar que el campo dirección y el campo de control son siempre iguales en este caso, de manera que en la fase de configuración del enlace de PPP se puede negociar la opción de “*Compresión de los campos de dirección y control*”, que recordemos que se correspondía con la opción tipo 8. Esta compresión consiste en no enviar estos dos campos, ya que en realidad no se utilizan.

Modo numerado

Si en la fase de configuración del enlace se negocia el modo numerado, y la negociación llega a buen puerto, entonces se puede utilizar HDLC ofreciendo el servicio de conexión. La opción de configuración se corresponde al tipo=11, por supuesto se transmitiría en un paquete LCP de tipo *Configuration-Request*. Teniendo en cuenta que, como habíamos dicho, en las RFC se representa en cada octeto del bit más significativo al menos, la opción quedaría como indica la figura 42.

1 oct.	1 oct.	1 oct.	
11010000	Longitud	Ventana (1-127)	Dirección HDLC

Fig. 42 Campo de opción para la negociación del modo numerado.

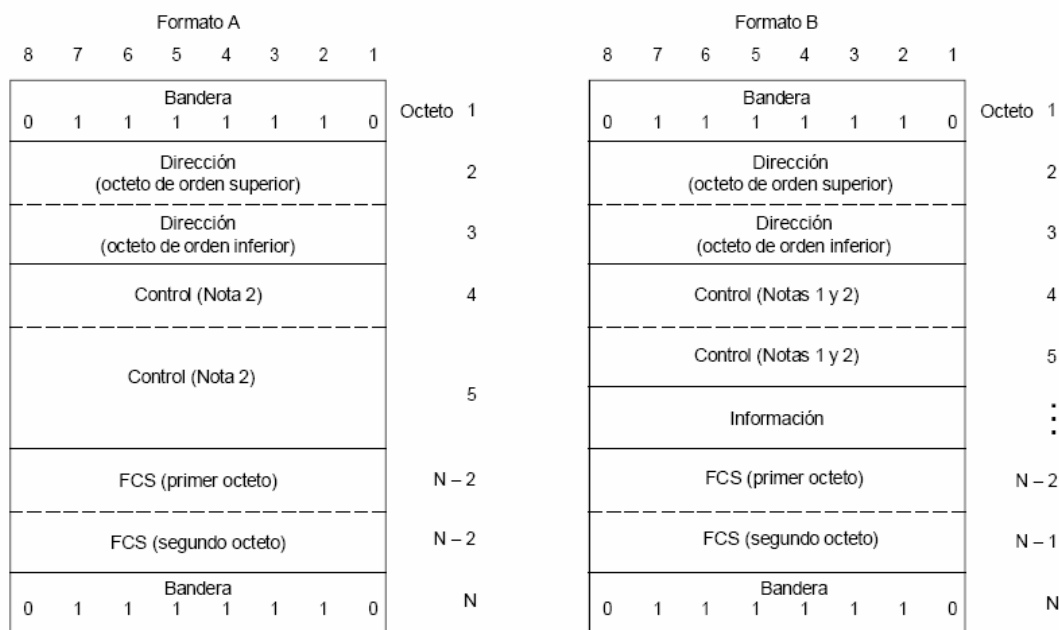
El primer octeto después del campo longitud representa la ventana de recepción del que envía la solicitud de configuración y debe estar entre 1 y 127. Con un asentimiento negativo (*Configure-Nak*) se puede reducir el tamaño de la ventana solicitado, pero nunca aumentarlo.

Una vez negociados los tamaños de las ventanas y las direcciones HDLC que se van a utilizar el protocolo utilizado es LAPB, que es HDLC en modo asíncrono balanceado. De este modo la primera trama HDLC intercambiada tendrá que ser, obligatoriamente, SABM o SABME (en caso de tener numeración extendida), una vez aceptada la conexión por el otro extremo se procederá como ya conocemos.

11. EJEMPLOS IV:LAPD

La Recomendación Q.921 de la UIT-T (Sistema de señalización digital de abonado N°1. Interfaz usuario-red de la RDSI. Especificación de la capa de enlace de datos) especifica la estructura de trama, los elementos de procedimiento, los formatos de los campos y los métodos para el funcionamiento correcto del procedimiento de acceso al enlace por el canal D (Protocolo LAPD).

Como se puede observar en la figura 43 las tramas LAPD son conformes a HDLC.



T1161580-94/d01

NOTAS

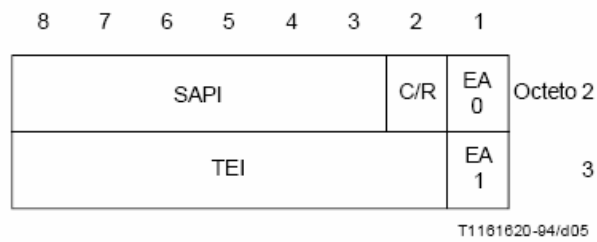
- 1 Para el funcionamiento con acuse de recibo se aplica el formato B y se utiliza un campo de control de 1 octeto.
- 2 Para el funcionamiento multitrama, las tramas con números de secuencia contienen un campo de control de dos octetos y las tramas sin números de secuencia contienen un campo de control de un octeto. Las tramas de transferencia de información de gestión de la conexión contienen un campo de control de un octeto.

FIGURA 1/Q.921
Formatos de trama

Fig. 43 Formato de tramas LAPD

Como se puede comprobar el campo de dirección es de dos octetos, es decir que se utiliza el procedimiento de dirección extendida de HDLC. El formato de este campo de dirección está representado en la figura 44 y éste incluye el identificador del punto de acceso al servicio destino y el identificador de terminal.

El bit C/R indica si una trama es una instrucción o una respuesta. El lado usuario enviará instrucciones con el bit C/R puesto a «0» y respuestas con el bit C/R puesto a «1». El lado red actuará de forma opuesta; es decir, las instrucciones se transmiten con C/R puesto a «1» y las respuestas se transmiten con C/R puesto a «0».



EA Bit de extensión del campo de dirección
 C/R Bit de campo de instrucción/respuesta
 SAPI Identificador de punto de acceso al servicio
 TEI Identificador de punto extremo terminal

FIGURA 5/Q.921

Formato del campo de dirección

Fig.44 Formato del campo de dirección

Cuestión 51: ¿Qué significan los bits EA del campo de dirección? ¿Qué relación hay con HDLC?

LAPD es HDLC trabajando en un modo determinado, más concretamente asíncrono balanceado. La figura 45 muestra las tramas HDLC que se pueden utilizar: I, RR, RNR, REJ, SABME, DM, UI, DISC, UA, FRMR, XID.

En la norma se definen todos los procedimientos de operación, la negociación de parámetros en el enlace, la gestión de temporizadores... y además las primitivas intercambiadas entre el nivel de red y el nivel de enlace, entre el nivel de enlace y el físico, entre el plano de gestión y el nivel de enlace y entre el plano de gestión y el nivel físico (ya que en RDSI se añade un plano de gestión que no estaba inicialmente considerado en el modelo OSI). La figura 46 muestra únicamente las primitivas entre el nivel de red y el de enlace.

CUADRO 5/Q.921

Instrucciones y respuestas (módulo 128)

Aplicación	Formato	Instrucciones	Respuestas	Codificación								Oct.	
				8	7	6	5	4	3	2	1		
Transferencia de información sin acuse de recibo y con acuse de recibo multitrama	Transferencia de información	I (información)		N(S)							0	4	
				N(R)							P	5	
	Supervisión	RR (preparado para recibir)	RR (preparado para recibir)	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
				N(R)							P/F	5	
		RNR (no preparado para recibir)	RNR (no preparado para recibir)	0	0	0	0	0	1	0	1	4	
				N(R)							P/F	5	
		REJ (rechazo)	REJ (rechazo)	0	0	0	0	1	0	0	1	4	
				N(R)							P/F	5	
	No numerado	SABME (establecimiento del modo balanceado asíncrono ampliado)		0	1	1	P	1	1	1	1	4	
				0	0	0	F	1	1	1	1	4	
		UI (información no numerada)		0	0	0	P	0	0	1	1	4	
				0	1	0	P	0	0	1	1	4	
			UA (acuse de recibo no numerado)		0	1	1	F	0	0	1	1	4
					1	0	0	F	0	1	1	1	4
Gestión de conexión	XID (intercambio de identificación) (Nota)	XID (intercambio de identificación) (Nota)	1	0	1	P/F	1	1	1	1	4		

NOTE – El empleo de la trama XID para fines distintos de la negociación de parámetros (véase 5.4) queda en estudio.

Fig. 45 Tramas HDLC permitidas en LAPD

CUADRO 6/Q.921

Primitivas relacionadas con la Recomendación Q.921

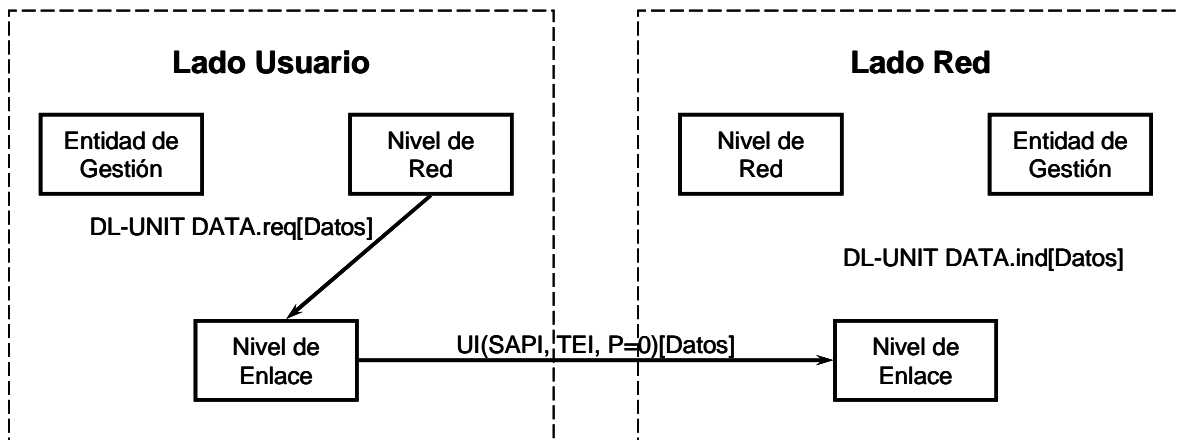
Nombre genérico	Tipo				Parámetros		Contenido de datos de parámetros
	Petición	Indicación	Respuesta	Confir- mación	Indicador de prioridad	Datos de parámetro	
L3 ↔ L2							(Nota 1)
DL-ESTABLECI- MIENTO	X	X	–	X	–	–	–
DL-LIBERACIÓN	X	X	–	X	–	–	–
DL-DATOS	X	X	–	–	–	X	PDU de capa 3 (mensaje entre pares)
DL-DATO UNIDAD	X	X	–	–	–	X	PDU de capa 3 (Mensaje entre pares)

Fig. 46 Primitivas entre la capa de red y la de enlace

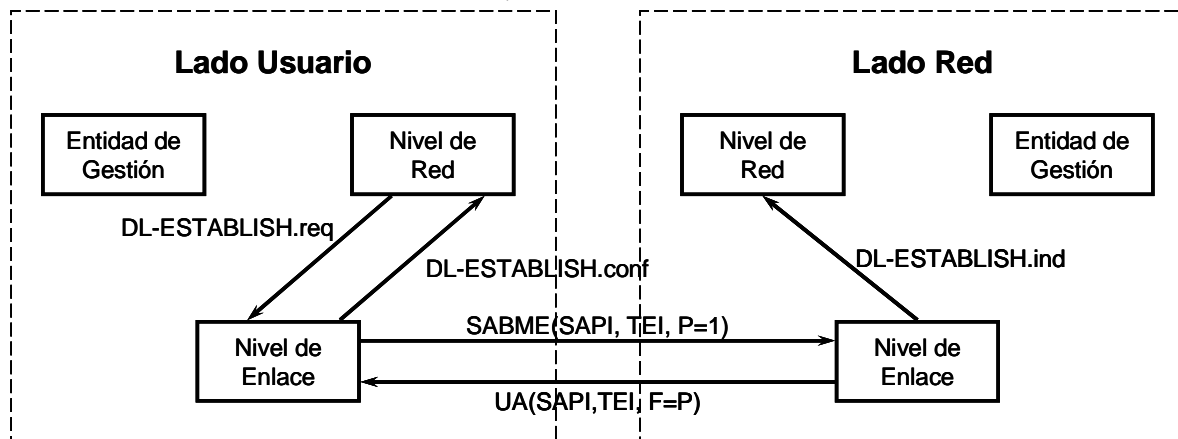
Para terminar se mostrará como la solicitud de determinado servicio al nivel de enlace, es decir el envío de una primitiva de petición, provocará que el protocolo de enlace comience a funcionar para proporcionar el servicio solicitado. Vemos la petición

de establecimiento y de liberación de conexión, la petición de envío de datos en una conexión y la solicitud de envío de datos sin conexión.

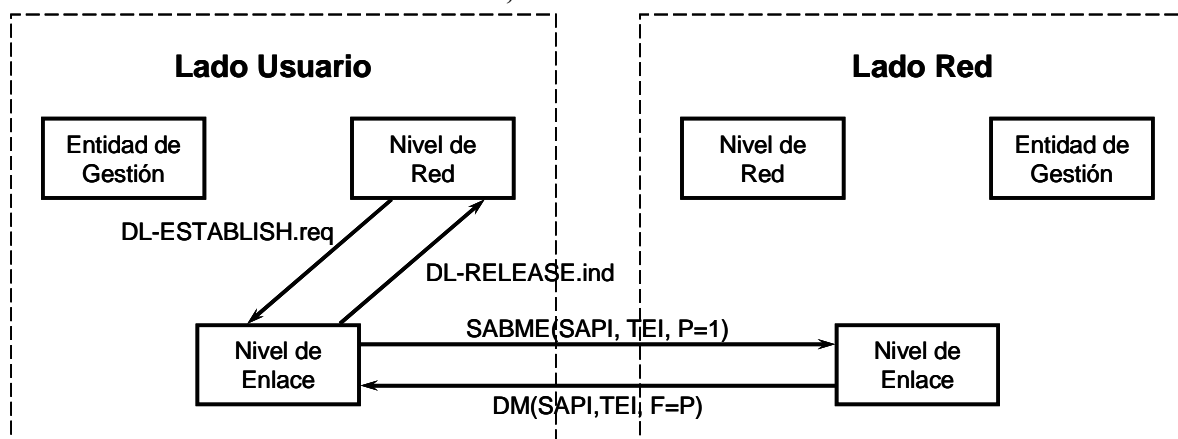
Transmisión de información sin acuse de recibo



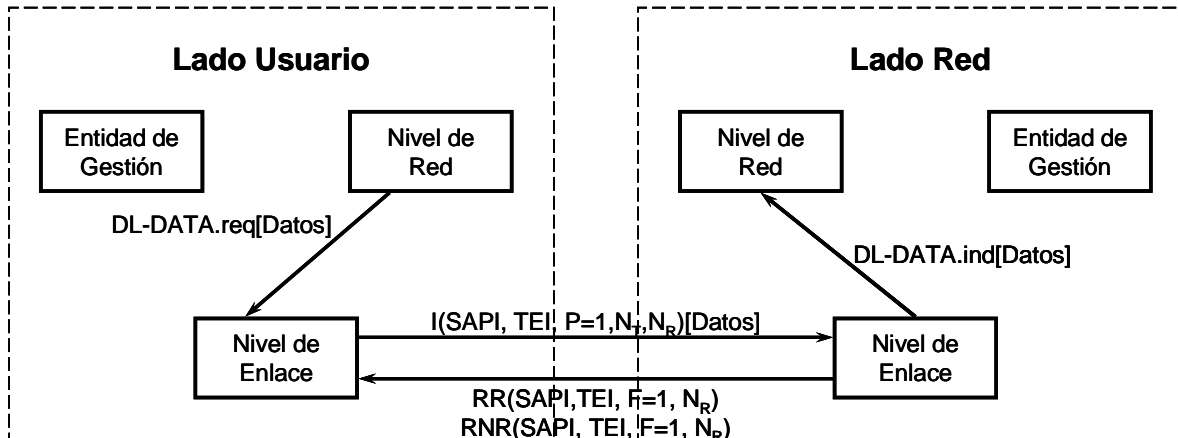
Establecimiento de la conexión, con éxito



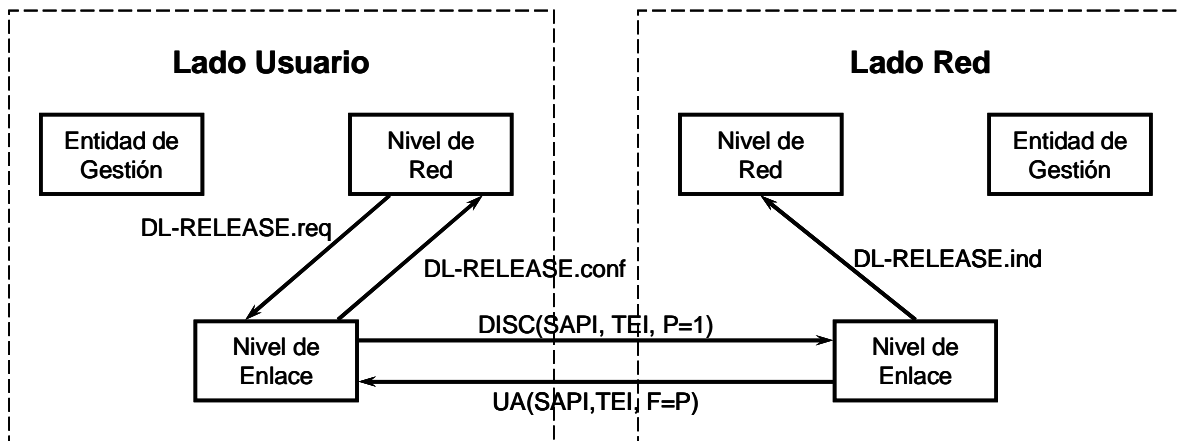
Establecimiento de la conexión, fallido



Transferencia de información, bit P activo



Liberación de la conexión



12. CONCLUSIONES

Al final de este tema el alumno debe tener claras las funciones del nivel de enlace y su papel dentro de los modelos de capas. Debe dominar los conceptos básicos de los protocolos de nivel 2; control de errores y de flujo, ventanas de transmisión y recepción, números de secuencia y asentimientos, cadencia eficaz y rendimiento...

Como caso particular se presenta el protocolo HDLC que servirá muy bien como base para el estudio de otros protocolos de nivel 2 ya que es el origen de los más utilizados actualmente.

Cuestión 52: Según lo visto de estos protocolos ¿Se asegura la transmisión fiable entre dos aplicaciones remotas comunicándose a través de una WAN? ¿Por qué?

Cuestiones

1. Se utiliza un protocolo de nivel de enlace con tramas de 1016 bits y cabeceras de 2 octetos. Cuando la trama llega correctamente se envía como asentimiento una trama sin datos. El enlace que conecta dos equipos tiene una capacidad de 2'048 Mb/s, una longitud de 5 metros y la velocidad de propagación en el medio es $2 \cdot 10^8$ m/s. Suponiendo que no hay errores calcule el RTD del enlace.
2. En un protocolo de nivel de enlace se tienen los siguientes valores: Tiempo de transmisión de trama (Ttx), Tiempo de propagación (Tp), Tiempo de asentimiento de trama (Desde que se envía el último bit de la trama hasta que se recibe el asentimiento correspondiente, Tas) y Temporizador de retransmisión de trama igual al tiempo de asentimiento de trama (Tas)
 - a) ¿Cuál será el tamaño mínimo de la ventana de transmisión para que haya envío continuo? Justifique la respuesta.
 - b) Suponiendo que se utiliza justamente la ventana de transmisión del apartado anterior calcule el tamaño de la ventana de recepción necesario para mejorar el rendimiento respecto al que se tiene con una ventana de recepción de uno. Justifique la respuesta
3. El siguiente cuadro muestra el formato del campo de control en las tramas del protocolo LAPD, utilizado en RDSI.

Cuadro 4/Q.921 – Formatos de campo de control

Bits del campo de control (módulo 128)	8	7	6	5	4	3	2	1	
Formato I	N(S)							0	Octeto 4
	N(R)							P	5
Formato S	X	X	X	X	S	S	0	1	Octeto 4
	N(R)							P/F	5
Formato U	M	M	M	P/F	M	M	1	1	Octeto 4
N(S) Número secuencial en emisión del transmisor	M		Bit de la función de modificación						
N(R) Número secuencial en recepción del transmisor	P/F		Bit de petición cuando se transmite como instrucción; bit final cuando se transmite como respuesta						
S Bit de la función de supervisión	X		Reservado y puesto a 0						

Sabiendo que está basado en **HDLC** y que es un protocolo **balanceado** indique el número máximo de tramas pendientes de asentimiento que podría llegar a soportar el protocolo y qué trama de inicio de conexión se va a utilizar en LAPD.