

Los protocolos del nivel de enlace

En esta Unidad de Trabajo se pretende sentar firmemente las bases de la redes de área local en cuanto al transporte de los datos, los protocolos de la capa de enlace. Profundizaremos progresivamente en las distintas funciones y características propias de este nivel, de modo que quede preparado para la definición de los estándares de redes de área local, que serán desarrollados en la Unidad de Trabajo siguiente.

Algunos protocolos de nivel de enlace tienen muchos años de existencia, especialmente los orientados a carácter. Los protocolos orientados a bit son más modernos y están agrupados en torno al estándar propuesto por OSI al definir el protocolo HDLC. Se estudiarán algunos de estos protocolos derivados del HDLC.

1 Introducción

Lo más característico en la operación de control de enlace de datos, según el modelo de arquitectura OSI, es el gobierno del transporte de datos posible entre un emisor y un receptor en un único enlace, es decir, en el camino que separa dos nodos adyacentes en la red. Este sentido de adyacencia es lo característico de las redes de área local. Por ejemplo, no sería responsabilidad de un protocolo en la capa de enlace el transporte de datos entre dos nodos que estuvieran situados en dos redes distintas, aunque éstas estén interconectadas.

Esto hace que las funciones propias del enlace de datos estén encaminadas a la señalización, a garantizar una comunicación libre de errores y al gobierno del flujo de los datos entre los nodos de la misma red.

2 La capa de enlace de datos

Nos proponemos el estudio de los protocolos de la capa de enlace según el modelo OSI a partir de las funciones que les son propias. Obviamente, no todos los protocolos de enlace siguen las directrices del nivel 2 de OSI; de hecho, muchos de estos protocolos se utilizaron abundantemente antes de que la ISO publicara el documento DIS 8886, en donde especifica la definición de los servicios, tanto orientados a la conexión como sin conexión, propios de la capa 2.

Para nuestro estudio nos resultará útil estudiar por separado cada función de la capa de enlace: la gestión del enlace, la función de entramado, el control de errores y el de flujo.

2.1 La gestión del enlace

Se puede establecer una división primaria como consecuencia del intento de respuesta a la siguiente pregunta: ¿cómo se establece la comunicación entre dos nodos de la red?

Los protocolos del nivel de enlace proponen dos modelos básicos:

- **Modelo maestro-esclavo o estación primaria-secundaria.** En esta configuración, la estación secundaria o esclava transmite datos a la red cuando es interrogada o tiene permiso de otra estación,

especialmente privilegiada en el control del enlace, llamada primaria. En la terminología de los protocolos de comunicaciones se dice que los protocolos que utilizan este modelo son no balanceados.

- **Modelo igual a igual o *peer to peer*.** Aquí cada estación tiene responsabilidad tanto en los envíos de datos como en el establecimiento y la liberación de los enlaces. Se dice que los protocolos que siguen este modelo son balanceados.

En una segunda fase nos podemos plantear la cuestión relativa al número de interlocutores posibles en una comunicación (punto a punto o multipunto). Los protocolos utilizados en cada uno de estos tipos son distintos.

En tercer lugar, la capa de enlace debe tener en cuenta si las transmisiones de bits se harán de modo síncrono o asíncrono, puesto que esto determina la forma en que los bits deben ser señalizados en el canal de transmisión. En el caso de la transmisión asíncrona, ya hemos estudiado cómo cada bloque informativo -normalmente cada carácter- puede ir precedido y seguido de un conjunto de bits (bits de start y stop), que organizan el control de la transmisión.

En cambio, en las comunicaciones síncronas no se produce esta delimitación de los diferentes caracteres: hay que idear sistemas que, en el nivel de enlace, delimiten perfectamente los diferentes bloques de datos o tramas y que, en el nivel físico, sincronicen los relojes del emisor y del receptor.

2.2 La función de entramado

En el estudio que hemos hecho de OSI hemos llamado N-PDU a las unidades de datos con las que opera la capa N de un emisor o un receptor. Cuando se trata de los protocolos de nivel de enlace o de capa 2, siempre según el modelo de referencia OSI, a estas unidades de datos 2-PDU se les llama comúnmente tramas, que son la unidad básica de datos de nivel de enlace. Los protocolos de enlace trabajan con tramas.

La capa de red pasa paquetes a la capa de enlace para que sean encapsulados en forma de tramas, que posteriormente serán enviadas por la capa física a través del medio de transmisión adecuado.

El entramado o *framing* es la función de cualquier protocolo de enlace que determina la composición de cada trama: los campos de que se compone, su tamaño, la función de cada carácter según su valor, la función de cada bit según su posición, etc.

A continuación estudiaremos la función de entramado de diversos protocolos.

2.2.1 Protocolos orientados a carácter

Los protocolos orientados a carácter son más antiguos que los orientados a bit. Fueron desarrollados en la década de los sesenta, pero se siguen utilizando mucho a pesar de su antigüedad.

Utilizan transmisiones de información codificadas normalmente ASCII, donde se reservan una serie de códigos especiales (códigos de control) para el gobierno de la comunicación.

CARÁCTER	FUNCION
ACK0	Confirmación de tramas pares.
ACK1	Confirmación de tramas impares
CAN	Cancelación de la orden anterior.
DLE	Utilizado para garantizar la transparencia del código.
ENQ	Utilizado como carácter interrogador en el modelo de estación primaria-secundaria.

CARÁCTER	FUNCION
EOT	Final de transmisión
ETB	Final de transmisión de bloque
ETX	Final de texto.
NAK o NACK	Confirmación negativa.
SOH	Comienzo de cabecera.
STX	Comienzo de texto.
SYN	Indica la inactividad del canal, carácter de sincronía.

2.2.1.1 Características de los protocolos orientados a carácter

Un concepto inicial reside en la transparencia del código. Si el protocolo interpreta ciertos caracteres como instrucciones de control, ninguno de ellos podrá aparecer como información, por lo que si, por ejemplo, empleáramos el código ASCII, no podríamos utilizar 256 caracteres diferentes para codificar la información, ya que algunos están reservados para el control.

Sin embargo, lo ideal para cualquier protocolo es que su función sea independiente de la información que transmite. Cuando esto ocurre, se dice que el protocolo es transparente al código utilizado. Si no se garantiza la transparencia cabe la posibilidad de que los datos de usuario sean interpretados como datos de control de trama.

La transparencia se garantiza utilizando reglas de interpretación especiales cuando se reciben asociaciones de caracteres de control. Por ejemplo, el carácter <ETX> se utiliza para indicar al receptor que llega el final de texto transmitido. Pero, ¿qué pasaría si el texto contiene en sí mismo un carácter <ETX>? El receptor podría interpretar este <ETX> como un final de texto, cuando realmente todavía no ha llegado al final. Para ello se codifica la secuencia <DLE><ETX>. El carácter <DLE> indica al receptor que el siguiente carácter debe interpretarse como información y no como control.



Del ejemplo anterior concluimos que las tramas de los protocolos orientados a carácter no tienen un formato único, son dependientes del contenido informativo de la trama. Esto produce, además, rendimientos más bajos que en otro tipo de protocolos; sin embargo, la forma de codificación es muy simple.

Entre los protocolos orientados a carácter más extendidos están el BSC de IBM; el XON/XOFF o ASCII, por su simplicidad, y los protocolos de la familia ARP, entre los que podemos destacar XMODEM, YMODEM, ZMODEM y Kermit en todas sus variantes.

Algunos de estos protocolos serán estudiados con detenimiento en la segunda mitad de esta unidad de trabajo.

También son posibles secuencias prohibidas para señalar la inactividad del canal. Esto se estudiará con detenimiento en el protocolo HDLC en un epígrafe posterior.

La mayor parte de los protocolos de nivel de enlace para redes de área local y los utilizados en las redes públicas de datos están orientados a bit. En esta Unidad de Trabajo estudiaremos fundamentalmente el protocolo HDLC, propuesto por OSI, y algunos de sus protocolos derivados.

Veamos un resumen de las características principales de cada una de las clases de protocolos de nivel de enlace.

PROPIEDAD	PROTOCOLO CARÁCTER	PROTOCOLO BLOQUE	PROTOCOLO BIT
Comienzo de trama	Caracteres <SYN> ó <SOH>	Caracteres <SYN>	Bandera señalizadora
Final de trama	Caracteres especiales	Especificado con el contador de datos	Bandera señalizadora
Retransmisiones	Envío y espera	Envío continuo selectivo	Envío continuo selectivo
Formatos de trama	Muchas	Pocas	Pocas, normalmente una
Transparencia	Carácter <DLE>	Proporcionada por el contador	Inserción de bit

2.3 El control de errores

Las redes de comunicaciones de datos deben garantizar la fiabilidad de los mismos. Es aceptable, aunque no deseable, la posibilidad de que en una transmisión se produzcan errores. Lo que es del todo inaceptable es que se produzca una transmisión errónea y que ni el receptor ni el emisor lo detecten.

¿Qué puede generar un error en la transmisión? Los errores en las transmisiones son inevitables; sin embargo, existen técnicas que ayudan a paliar los problemas que se generan e incluso a disminuir la tasa de error en la comunicación. Repasemos las posibles fuentes de errores:

El ruido térmico. La temperatura de un cuerpo, en nuestro caso un conductor o semiconductor, es la medida del nivel de agitación de los átomos. Cuando un electrón se mueve a través de la materia encuentra una cierta oposición o resistencia a su paso, que depende de varios factores. El primer factor es la naturaleza del material; así, un conductor ofrece poca resistencia y un aislante opone mucha resistencia al paso de la corriente electrónica. El segundo factor es que el movimiento de los átomos produce variaciones en los movimientos de los electrones debido a los choques que se producen entre unos y otros y generan corrientes eléctricas no controladas y aleatorias que llamamos ruido térmico.

Ruido producido por componentes electromecánicos. Algunos componentes electrónicos producen conmutación mecánica entre sus circuitos (por ejemplo, el caso de un timbre). Estas conmutaciones no son instantáneas y generan picos de corrientes autoinducidas en los circuitos.

Faltas de linealidad en los medios de transmisión. Hasta ahora hemos considerado que los circuitos son lineales, tienen la misma respuesta en cualquier frecuencia y a cualquier velocidad de transmisión. Esto no es totalmente cierto. Frecuentemente suele atenuarse la amplitud de una señal al transmitirse en altas frecuencias, lo que genera alteraciones no deseadas en la señal que, aunque son más fácilmente controlables, hay que tratar de evitar y corregir.

Cruces entre líneas. Cualquier corriente eléctrica genera corrientes autoinducidas en los conductores próximos. Cuando dos líneas de comunicaciones circulan paralelas, la información de una de las líneas se puede autoinducir en la otra produciendo un cruce de líneas. Para evitarlo se pueden utilizar cables de pares trenzados que lleven cruzadas la transmisión y la recepción, de modo que se anule el efecto de inducción de uno en otro. Son apropiados para evitar el efecto de autoinducción los cables UTP y STP, ya estudiados anteriormente.

Falta de sincronismo. Si emisor y receptor no están convenientemente sincronizados se pueden producir situaciones de error en la interpretación de los datos, aunque la transferencia haya sido correcta. Por ejemplo, la trama se empieza a reconocer en un punto diferente del comienzo de la misma. Una trama es entregada a un

destinatario que no le corresponde, por ejemplo, porque haya error en la ranura elegida para producir la transmisión, etc.

Eco. Cuando no hay una adaptación perfecta en el interface entre dos líneas de transmisión se producen reflexiones de señal no deseadas que ocasionan una interferencia.

Atenuación. Es la pérdida de señal debido a la resistencia eléctrica del medio de transmisión o de las máquinas de red.

Los métodos de corrección de errores ya han sido estudiados en Unidades anteriores. De todos ellos cabe decir que en un principio se utilizaron técnicas de paridad; que aún prevalecen en la actualidad. Sin embargo, a partir de la década de los setenta se fueron implantando los sistemas de control de errores por *redundancia cíclica*, de modo que es el método comúnmente aceptado para las redes de área local. La corrección se basa en el uso de retransmisiones.

2.4 El control de flujo

El control de flujo es la función propia de los protocolos de nivel de enlace encargada de adecuar las velocidades de transferencia de datos entre emisores rápidos y receptores lentos o viceversa. No todos los emisores y receptores escriben y leen tramas del canal con la misma eficacia. En ocasiones, es necesario paralizar la transmisión de tramas hasta que el receptor más lento *procese las tramas anteriormente recibidas*.

Para realizar eficazmente esta función, los nodos deben disponer de mecanismos por los que se establecen diálogos con los que se eviten pérdidas de datos, no ya por error, sino por inadecuación entre las características del emisor y del receptor.

2.4.1 El envío y espera

Ya se ha estudiado un primer modo muy simple de control de flujo al analizar la estructura de los protocolos de envío y espera. Efectivamente, cuando el receptor recibe una trama, está en su poder paralizar por unos instantes la transmisión, por ejemplo, porque el protocolo negociado por ambos interlocutores tenga previsto que el emisor no envíe una nueva trama mientras no reciba la confirmación de la anterior procedente del receptor. Por tanto, los protocolos que utilizan las técnicas de envío y espera cumplen de este modo la función de control de flujo prevista en la capa de enlace.

2.4.2 La superposición

Con los protocolos de envío y espera, cuando el enlace es semidúplex, la operativa de comunicación es sencilla. El problema aparece en entornos dúplex y, especialmente, cuando además se posee un único canal que debe transportar tanto las tramas de datos como las de confirmaciones. En comunicaciones bidireccionales se puede utilizar la técnica de «superposición» o **piggybacking**, que consiste en utilizar las tramas de datos para enviar confirmaciones.

Por ejemplo, imaginemos que dos nodos A y B están intercambiando tramas de datos por un único canal dúplex. El nodo A enviará una trama de datos al nodo B. Cuando la información llega al nivel de enlace del nodo B, éste pasa el paquete que contiene la trama a su capa de red y genera una confirmación positiva o negativa para el emisor, dependiendo del estado en que llegaron los datos. Estas confirmaciones se pueden enviar por separado, como en el método de envío y espera, o bien se puede hacer que se envíen como un suplemento de otra trama de datos en que el nodo B envíe información al nodo A. De este modo, cada trama de datos lleva información de usuario y la confirmación de la trama anterior.

Sin embargo, este método puede generar algún problema: ¿qué ocurriría si el nodo B no tuviera ya más datos que transmitir al nodo A? En este caso el nodo A quedaría a la espera de una confirmación que no le llegará. Esto se puede solucionar generando una trama especial de confirmación sin contenido informativo. Para ello se requiere el disparo de un temporizador que generará esta trama si transcurre un tiempo previamente determinado sin que el nodo B tenga necesidad de transmitir al nodo A.

2.4.3 Protocolos de ventana deslizante

Todos estos protocolos forman parte de una gran familia de protocolos llamados de «ventana deslizante» o *sliding window* que tiene las siguientes características:

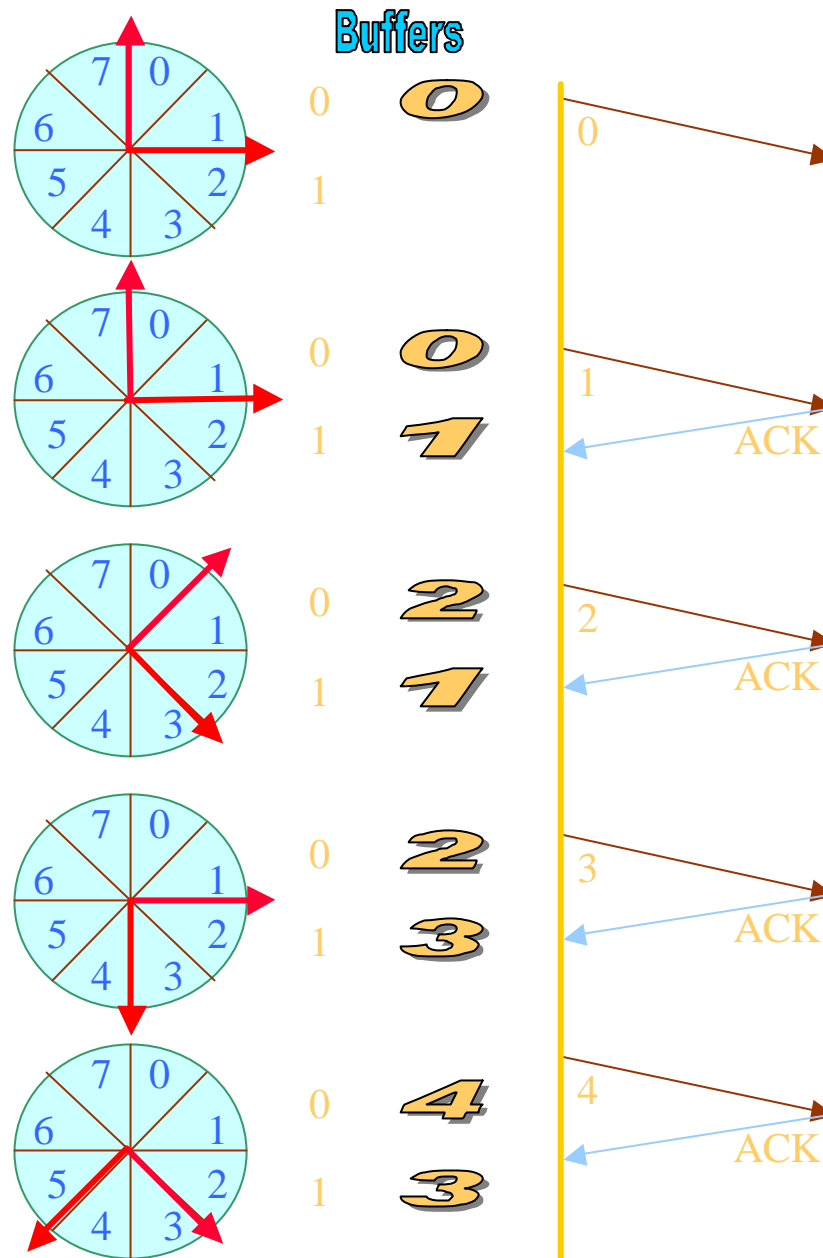
- Cada una de las tramas de salida está numerada secuencialmente, de modo que queden unívocamente identificadas. Si el número de bits de la secuencia es mayor, será posible un mayor rendimiento del protocolo en ausencia de errores, si elegimos adecuadamente los parámetros de la transmisión.
- En cualquier instante de la comunicación el emisor posee una lista con los números de trama que ha enviado al receptor. Todas estas tramas constituyen lo que se denomina la «ventana emisora».
- Del mismo modo, el receptor posee una lista con las tramas que está dispuesto a aceptar procedentes del emisor, es decir, una «ventana receptora». La ventana emisora de un emisor no tiene que tener necesariamente el mismo tamaño que la ventana receptora del receptor.
- El receptor aceptará la trama procedente del emisor si cae dentro de su ventana receptora; sin embargo, no importa el orden en que las tramas son enviadas, lo que proporciona más libertad a la capa de enlace para realizar la gestión de las tramas.
- Una vez iniciada la transmisión, la ventana emisora contiene los números de trama que se han enviado y de las que todavía no se ha recibido confirmación. Cuando la capa de red suministra un paquete a la capa de enlace, ésta lo encapsula en una o varias tramas a las que les asigna los números de secuencia siguientes y son puestos en la ventana emisora, se envían al receptor y se espera en ese estado hasta que lleguen las confirmaciones.
- Cada trama enviada es mantenida en un buffer de memoria en espera de la confirmación. Si ésta es positiva se libera el buffer, pero si es negativa o no se recibe ninguna confirmación, se efectúa la retransmisión. La ventana emisora contiene el máximo número de tramas que pueden ser enviadas al receptor sin necesidad de confirmación. Una vez que se ha superado este número, el proceso de envío se detiene en espera de alguna confirmación que libere alguna trama enviada y pueda ser repuesta por un nuevo envío.
- De modo análogo, el receptor mantiene su ventana receptora con los números de secuencia de las tramas que es capaz de recibir. Si recibe una trama cuyo número de secuencia no está en su ventana receptora, es descartada sin más. Como el emisor nunca recibirá una confirmación de esta trama descartada, se tendrá que ocupar más adelante de retransmitirla, una vez que hayan vencido sus temporizadores. Sólo las tramas recibidas dentro de su ventana receptora son pasadas a la capa de red, generando una confirmación que liberará una o más tramas de la ventana emisora en el emisor, lo que le dará a éste permiso para nuevos envíos.
- La ventana del receptor siempre tiene un tamaño constante a diferencia de la del emisor, que puede ir creciendo paulatinamente hasta llegar a un máximo fijado por el protocolo.

El protocolo de envío y espera es un protocolo de ventana deslizante, en el que tanto el tamaño de la ventana emisora como el de la receptora es uno. Así, cuando el emisor envía la única trama que puede enviar, debe pararse hasta que el receptor le envíe la confirmación de que le llegó, liberando la trama enviada y dando paso a la siguiente.

Por su parte, el receptor puede recibir sólo una trama, concretamente la siguiente a la anterior en su número de secuencia. Si no recibe ésta entiende que ha habido alguna trama que se ha perdido y no confirma la trama afirmativamente, con lo que el emisor la retransmitirá. Si la trama llegó correctamente genera una confirmación afirmativa para liberar de su espera al emisor y activar la transmisión de la siguiente trama.

Como en el resto de los protocolos de envío y espera, cuando las ventanas son mayores que uno, las confirmaciones se pueden enviar una a una por cada trama recibida o por conjuntos de tramas. Del mismo modo, las retransmisiones pueden ser selectivas o no, como ya hemos estudiado.

En el diagrama se describe el intercambio de tramas para el caso de una ventana de 2 y módulo 8. como el tamaño de la ventana es 2, solamente se necesitan 2 buffers en transmisión. Dado que el módulo es 8, se podría emplear un tamaño máximo de ventana de transmisión de 8 pero necesitaríamos 8 buffers; el efecto de transmisión continua se logra con un tamaño de ventana de 2.



2.4.4 Protocolos ARQ

La mayor parte de los protocolos estudiados en esta Unidad de Trabajo pertenecen a la familia de los protocolos ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) o de petición automática de respuesta. Esencialmente, se caracterizan porque solicitan retransmisiones de una o varias tramas de modo automático cuando se producen errores o pérdidas de información sin intervención de agentes externos al nivel de enlace. Así, los métodos de envío y espera o de envío continuo no son más que dos modalidades distintas de las técnicas ARQ.

Ejemplos de protocolos ARQ son **XMODEM**, **YMODEM**, **ZMODEM**, **Kermit**, **MODEM7**, **TELINK**, etc. Más adelante estudiaremos algunos de ellos.

2.4.5 Protocolos hardware y software

Hasta ahora hemos estudiado cómo controlar las comunicaciones de datos a través de una línea serie, tanto en transmisiones síncronas como asíncronas. Al multiplexar por la misma línea -la única- los datos de usuario y la información de control, se hace necesario el establecimiento de unas normas muy estrictas por las que regir la comunicación, de lo que se encarga el software en el nivel de red.

Sin embargo, es posible controlar la comunicación a través del hardware. Para ello, es preciso que la comunicación se opere sobre canales en los que se pueda distinguir qué es información de usuario y qué es información de control.

El ejemplo más sencillo de protocolo hardware es el protocolo **DTR/DSR**, basado en las características de procedimiento de la norma RS-232 o especificaciones similares. Así, las líneas de datos TD y RD sólo envían información de usuario cuando el estado de los circuitos de control (DTR, DSR, CTS, RQS, CD, etc.) lo permiten, siempre de acuerdo con las especificaciones del protocolo.

En este caso, la multiplexación necesaria para distinguir las señales de datos de las de control se consigue utilizando distintas líneas para los datos y para el control. Se puede encontrar un ejemplo de descripción de la operativa de este tipo de protocolos en Unidades previas, donde se describe el interface RS-232.

En otras ocasiones se intentan simplificar al máximo las comunicaciones utilizando protocolos poco exigentes y muy sencillos de implementar. El más utilizado es el protocolo **XON/XOFF**. Tanto XON como XOFF son dos caracteres de control del código ASCII, y utiliza exclusivamente dos líneas de comunicación: TD y RD. Es un protocolo no transparente que se utiliza frecuentemente para transmisiones de textos ASCII. Los caracteres son enviados por la línea serie secuencialmente y de modo asíncrono, con o sin paridad.

Podríamos afirmar que las tramas de este protocolo están constituidas por cada carácter transmitido. El control de flujo se realiza enviando un carácter especial de control; así, el envío de un XOFF del receptor al emisor informa al emisor que el receptor no está preparado para la recepción de ningún carácter más. Cuando el receptor envía un XON al emisor libera el bloqueo y continúa la transmisión. Sobre el protocolo XON/XOFF se pueden construir protocolos de más alto nivel que ayudan a la transferencia del protocolo.

Tanto el protocolo DTR/DSR como el XON/XOFF son ampliamente utilizados en las comunicaciones series en ordenadores personales, por ejemplo, en la conexión de módems a los puertos serie del PC.

2.5 El acceso al medio

El modo de acceso al medio de transmisión es la otra gran función de la capa de enlace. De hecho, la mayor parte de las arquitecturas de red con referencia en el modelo OSI descomponen el nivel 2 en una subcapa inferior de acceso al medio o capa **MAC**, y otra subcapa superior que se encarga del gobierno de la comunicación (**LLC**).

Los principales métodos de acceso al medio que se utilizan en redes de área local son el CSMA, el paso de testigo, la multiplexación en tiempo o en frecuencia. Las funciones de la subcapa MAC ya han sido estudiadas con detalle en la Unidad de Trabajo anterior. En la siguiente Unidad de Trabajo concretaremos los diferentes mecanismos de acceso al medio estudiando el estándar IEEE 802.3 para la tecnología CSMA/CD, y los estándares IEEE 802.4 e IEEE 802.5 para la tecnología de paso por testigo en redes con topología en bus y en anillo respectivamente.

3 El protocolo BSC o BYSINC

BSC son las siglas de *Binary Synchronous Control* (comunicación síncrona binaria), un protocolo ideado por IBM en la mitad de la década de los sesenta como el primer protocolo de propósito general para conectar equipos en la configuración punto a punto o multipunto en canales, conmutados o sin conmutación.

IBM implementó este protocolo en las líneas de sus grandes productos, pero posteriormente cada fabricante construyó su propia versión. BSC es un protocolo para transmisiones semidúplex, sensible al código, orientado a carácter y se utiliza frecuentemente para el sondeo de terminales remotos. El protocolo original de IBM soporta los códigos ASCII, EBCDIC y otro especial de 6 bits de IBM.

El formato de la trama BSC es variable, dado el modo de conseguir la transparencia del código. Cuando los datos de usuario contienen caracteres que coinciden con los caracteres de control del propio protocolo es necesario colocar caracteres de control especiales para evitar que sean interpretados (*stuffing* de carácter).

El enlace BSC puede operar de dos modos distintos:

- **Modo control.** Es utilizado por una estación primaria para efectuar operaciones de control del enlace, tales como interrogar de modo rotatorio a las estaciones secundarias sobre sus necesidades de transmisión. A este sistema de preguntas se le llama técnicamente *polling*.
- **Modo texto o mensaje.** Es utilizado por cualquier estación para efectuar la transmisión de sus bloques de datos.

Cuando una estación secundaria que desea transmitir recibe la invitación para efectuar la transmisión, envía un <STX> o un <SOH> como cabecera de trama. Este envío pone al enlace en el modo texto. Posteriormente, se intercambian datos hasta que se recibe un <EOT> que produce el cambio al modo control. Cualquier intercambio de datos se produce exclusivamente entre dos estaciones, permaneciendo inactivas las restantes.

S	S	S		S		ETB	Control
Y	Y	O	Cabecera	T	Datos de usuario	o	de
N	N	H		X		ETX	errores

Para controlar la posible pérdida de tramas, BSC utiliza los caracteres de confirmación de trama ACK0 y ACK1, uno para tramas pares y el otro para las impares.

En la figura se pueden observar algunos campos típicos de las tramas BSC. El carácter SOH abre la trama y deja el enlace en modo texto. El campo cabecera va encerrado entre un SOH y un STX y no está definido por el protocolo, depende de la red en la que se esté utilizando. Posteriormente viene el campo de datos de usuario, que acaba con un ETB si es final de bloque, pero no el último bloque de la transmisión, y ETX si ya se envió el último bloque. La trama finaliza con un campo de control de errores del tipo CRC.

A partir del protocolo BSC se han ideado muchos otros sistemas de transmisión que han hecho necesario el establecimiento de normas complementarias que regulen distintos aspectos de la comunicación. Sirvan como ejemplo las normas ISO 2111, que describen los caracteres de control que se utilizan para gobernar el enlace; la especificación ISO 1745, que define las operaciones básicas sobre el enlace tanto síncronas como asíncronas, dúplex o semidúplex, y la norma ISO 2628, que describe los procedimientos de recuperación de errores, interrupción de la comunicación, temporizadores, etc.

4 El protocolo XMODEM

El problema de transferencia de ficheros entre ordenadores centrales y ordenadores personales a través de líneas telefónicas se resolvió por primera vez de manera eficiente en 1977. W. Cristiansen diseñó un programa para efectuar transferencias de ficheros aprovechando la capacidad de las líneas telefónicas, teniendo en cuenta que la casi totalidad de los módems utilizados en aquella época transmitían a la misma velocidad (300 bps) y utilizaban las mismas técnicas de modulación. Este programa se hizo de dominio público y alcanzó una gran difusión, lo que ha hecho que se haya implantado como un estándar *de facto*. Una versión de este programa es XMODEM.

XMODEM es un protocolo orientado a carácter de tipo ARQ, dependiente del código en que se expresen los datos, para entornos semidúplex y con un sistema de envío y espera para la corrección de errores.

Las tramas del protocolo XMODEM tienen una longitud de datos fija de 128 bytes. Los otros campos que posee la trama son de 1 byte.

Cabecera (SOH)	Número de secuencia	C-1 secuencia	Datos de usuario	Control de errores
----------------	---------------------	---------------	------------------	--------------------

Los campos que componen una trama XMODEM son los siguientes:

- **Cabecera.** Consiste en el envío de un carácter SOH (Start of Header) del código ASCII. Actúa de bandera señalizadora de comienzo de trama.
- **Secuencia de trama.** Este campo es un contador que numera las tramas, de modo que la primera trama transmitida lleva el valor 1, y que todas las tramas se identifican unívocamente hasta que se le da la vuelta al contador. Si una trama se pierde se detectará en el receptor, puesto que llegará una trama con un número de secuencia superior a la que esperaba.
- **Complemento a 1 de la secuencia de trama.** Este campo se calcula como el complemento a 1 del campo de secuencia de trama. Cuando el receptor recibe una trama calcula la operación lógica XOR complementada de los campos secuencia de trama y C-1 de la secuencia recibida. Si el resultado es 0 implica que la secuencia es correcta. Si la recepción no es correcta, XMODEM enviará al emisor un NAK para informarle que debe retransmitir la trama.
- **Datos de usuario.** Este campo codifica los datos de usuario con longitud fija de 128 bytes.
- **Control de errores.** Este campo es un código de paridad de bloque o *checksum* calculado sobre los datos de usuario.

Las transmisiones se comienzan con el envío de un NAK, a partir aquí se envían las sucesivas tramas de datos y sus confirmaciones. Las retransmisiones por error se efectúan del siguiente modo. Cuando una trama llega a su destino correctamente, el receptor envía al emisor una trama con un ACK, si no es así lo que se envía es un NAK, solicitando la retransmisión de la trama. También es posible enviar el código ASCII CAN, que significa cancelar la operación solicitada anteriormente.

El esquema de la recepción es complementario del de emisión, sin embargo, intervienen unos temporizadores que determinan nuevas posibilidades de errores en la comunicación o bien la inactividad del canal.

El receptor debe recalcular el checksum de los datos de usuario de la trama inmediatamente recibida y compararlo con el recibido. Si son distintos, o bien la secuencia de trama no es la esperada, se procede a reenviar la trama.

Existen versiones de XMODEM que utilizan como checksum el código de redundancia cíclica CRC-CCITT. Normalmente, a este XMODEM se le llama XMODEM-CRC. A ambos se les considera lentos debido al tamaño de sus bloques de datos (128 bytes).

5 El protocolo YMODEM

YMODEM es un protocolo semejante al XMODEM con algunas características que lo mejoran. Por ejemplo, se puede utilizar para enviar múltiples ficheros (**Batch Mode**) codificando la separación entre ficheros con un sistema de cabeceras empleando códigos de control ASCII (recordemos que es un protocolo orientado a carácter).

Normalmente, el campo de datos de usuario es de 1 Kbyte, aunque es posible codificar campos de 128 bytes (como XMODEM) por medio de caracteres <SOH>. Si en lugar de enviar un <SOH> fuera un <STX>, se entendería que el campo de datos es de 1 Kbyte. Esto le hace compatible con XMODEM. YMODEM siempre utiliza el CRC-CCITT de 16 bits.

6 El protocolo ZMODEM

Es quizás el más popular de los protocolos orientados a carácter. Es rápido porque puede crear corrientes continuas de caracteres, muy fiable y permite la transferencia de ficheros por lotes. También permite el envío de trozos de archivos ante cortes en la transmisión (*crash recovery*).

7 Protocolo Kermit

Kermit fue inicialmente diseñado en la *Universidad de Columbia* para realizar transferencias asíncronas de ficheros entre máquinas de IBM y de DEC. En la actualidad es uno de los protocolos más extendidos en la transferencia de ficheros por línea serie.

Como está orientado a la transferencia de ficheros, Kermit debe encapsular cada fichero con unas cabeceras de principio y de final. En la cabecera de principio de fichero se codifica el nombre del fichero que se empezará a transmitir. Además, permite transferencias binarias por lo que debe tener en cuenta el contenido de los datos de los usuarios para garantizar la transparencia del protocolo. Por lo demás, la operativa es semejante a la del XMODEM.

Cabecera (SOH)	Longitud del resto de la trama	Número de secuencia	Tipo de trama	Datos de usuario	Control de errores
----------------	--------------------------------	---------------------	---------------	------------------	--------------------

La trama del protocolo Kermit consta de los siguientes campos:

- **Cabecera.** Contiene el carácter SOH del código ASCII, como en muchos otros protocolos. Indica el comienzo de la trama.
- **Longitud.** Codifica el número de bytes que restan en la trama, de modo que el receptor pueda conocer, con antelación el final de la trama, qué debe esperar en su lectura.
- **Número de secuencia.** Codifica de 0 a 63 la sucesión de tramas que el emisor envía al receptor, de modo semejante al protocolo XMODEM.
- **Tipo de trama.** Aquí se especifica la función de la trama, por ejemplo, la trama puede hacer la función de ACK, NAK, EOT, EOF, datos, etc.
- **Datos de usuario.** Este campo contiene los datos de usuario si el tipo de trama lo necesita. En algunos casos puede estar vacío.
- **Control de errores.** Puede estar construido como un *checksum* o como un CRC.

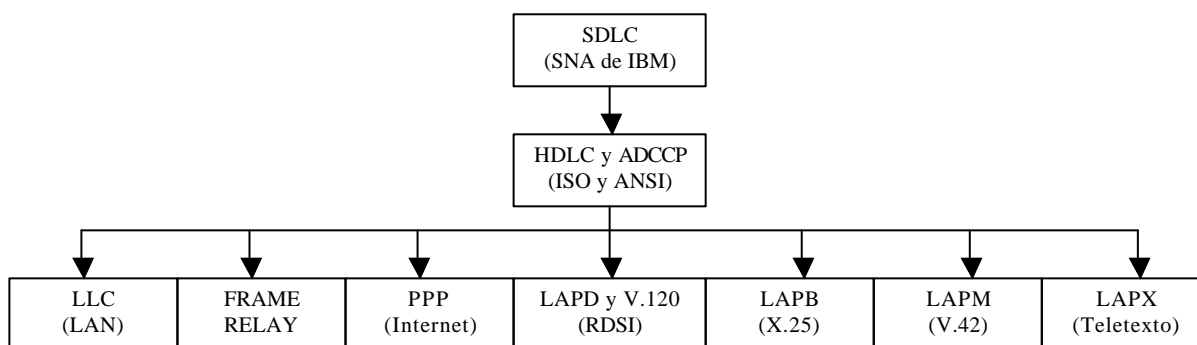
Las últimas versiones del protocolo Kermit han extendido la longitud de las tramas, codificando nuevos campos para llegar a tamaños de hasta 9 Kbytes, con lo que se consigue una eficiencia mayor en el rendimiento del protocolo.

8 Protocolo HDLC

El protocolo HDLC (control de alto nivel del enlace de datos; *High Level Data Link Control*) es un protocolo propuesto por OSI basado en el protocolo SDLC (control de enlace de datos síncrono; *Synchronous Data Link Control*) tomado de la capa de enlace de la arquitectura SNA de IBM.

Después de desarrollar SDLC, IBM lo propuso a la ANSI para su estandarización en Estados Unidos y a la ISO para su aceptación internacional. ANSI tomó las especificaciones del SDLC y construyó las suyas propias con el nombre ADCCP (procedimiento de control de comunicación de datos avanzado; *Advanced Data Communication Control Procedure*). Por su parte, la ISO propuso el protocolo HDLC.

Posteriormente, otras organizaciones de estándares han dado su propia versión del HDLC acomodado a las aplicaciones concretas para las que se desea utilizar. Esta es la razón por la que HDLC es un protocolo, derivado del SDLC, del que dimanan muchos otros.



8.1 Modos de operación

El protocolo HDLC propone tres modos de funcionamiento o de operaciones posibles para la interconexión de emisor y receptor:

- **Modo NRM**, *Normal Response Mode*. El modo de respuesta normal requiere que la estación secundaria reciba un permiso explícito de la primaria para que pueda comenzar la transferencia de datos, ésta puede constar de una o más tramas. La comunicación siempre se efectúa entre una estación secundaria y una primaria, nunca entre dos secundarias. Una vez que se ha transmitido la última trama, la estación secundaria debe esperar a la concesión de otro permiso para volver a transmitir. El modo NRM es ampliamente utilizado en las conexiones multipunto.
- **Modo ARM**, *Asynchronous Response Mode*. El modo de respuesta asíncrona permite a la estación secundaria comenzar una transmisión de datos sin recibir explícitamente un permiso de una estación primaria. Sin embargo, ésta tiene toda la responsabilidad sobre el control, la corrección de errores y la conexión y desconexión del enlace. El modo ARM es muy poco utilizado en la actualidad.
- **Modo ABM**, *Asynchronous Balanced Mode*. El modo asíncrono balanceado utiliza para sus transmisiones dos estaciones equivalentes, no hay ninguna privilegiada. Es propio de las comunicaciones de igual a igual y, por tanto, es el modo más utilizado en las redes de área local.

Hay que aclarar que cuando utilizamos el término asíncrono para catalogar un modo de transmisión de tramas no nos estamos refiriendo al modo de transmisión físico, que ya ha sido estudiado anteriormente al referirnos a las

comunicaciones síncronas y asíncronas. Los modos asíncronos para las tramas se refieren al hecho de que la estación transmisora no necesita permiso previo de otra estación para iniciar la comunicación.

8.2 Formato de las tramas

HDLC utiliza una trama semejante a la de cualquier protocolo orientado a bit. Todas las tramas deben comenzar y acabar con una bandera señalizadora de 8 bits, en concreto se trata de la secuencia «01111110». Entre estas dos banderas se contiene la trama.

Bandera 01111110	Dirección	Control	Información	FCS	Bandera 01111110
---------------------	-----------	---------	-------------	-----	---------------------

Los campos de la trama son los siguientes:

- **Dirección.** Este campo codifica con 1 byte o múltiplos de byte la dirección de la trama, identificando si se trata de la estación primaria o la secundaria y, por tanto, la transmisión o la recepción.
- **Control.** El campo de control contiene los datos necesarios para el control del enlace, por ejemplo: las peticiones y las respuestas, los números de secuencia de tramas para las ventanas del emisor y del receptor, etc.
- **Información.** El campo de información contiene los datos de usuario. No todas las tramas tienen este campo, depende de las funciones que la trama tenga asociadas, lo que se indica en el campo de control de la propia trama.
- **FCS, Frame Check Sequence.** Este es el campo de control de errores. Utiliza la redundancia cíclica para la detección de los posibles errores de la transmisión.

En toda la trama no puede aparecer secuencias de más de cinco unos seguidos porque lo impide la técnica de *bit stuffing*. La bandera es detectada por los receptores por violar esta regla, puesto que constan de secuencias de seis unos consecutivos. Existen otras configuraciones prohibidas que se utilizan en HDLC. La secuencia de más de quince unos seguidos se utiliza para indicar que el canal está inactivo. Sin embargo, si se codifican entre siete y quince unos consecutivos se entenderá que hay una interrupción en la transmisión.

8.3 El campo de control en HDLC

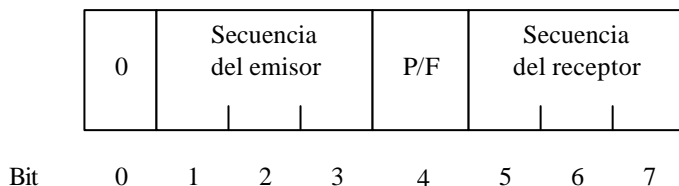
Vamos a especificar con mayor precisión las funciones del campo de control, que es esencial para el gobierno del enlace, puesto que define la función de la trama. Dependiendo de su formato, las tramas se pueden clasificar en **tramas no numeradas**, **tramas supervisoras** y **tramas de transferencia de información**.

8.3.1 Tramas informativas.

La trama informativa o de transferencia de información se utiliza para producir el transporte de los datos de usuario entre dos dispositivos terminales de la red. Las tramas pueden ser confirmadas en destino. Además, pueden tener otras funciones añadidas, como la de interrogar a otras estaciones (*polling*) sobre sus necesidades de comunicación.

Las estaciones de la red reconocen una trama informativa fijándose en la estructura del campo de control, que comienza con un «0». Posteriormente se codifica el número de secuencia de la ventana del emisor y a continuación se transmite un bit (el quinto) llamado de **Pregunta/ Final** (P/F) o **Poll/Final**. Este bit se utiliza para realizar el sondeo. Se usa como P para indicar que una estación está invitando a otra a que le envíe sus datos. Todas las tramas de datos que envíe la estación llevarán ese bit con valor P, con excepción de la última,

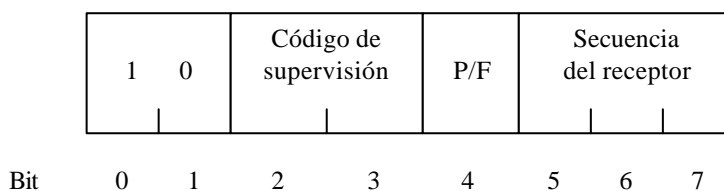
que tendrá el valor F para indicar que ésa es la última trama. A veces, el bit P/F se utiliza para forzar el envío de una trama supervisora, que luego veremos, por parte de la máquina que recibe la trama.



El número de secuencia del emisor sirve para controlar que la secuencia de las tramas emitidas es correcta en el receptor y en éste se emplea para determinar cuál fue la última trama correctamente recibida. Es un método muy cómodo para detectar pérdidas de tramas.

8.3.2 Tramas de supervisión

Las tramas supervisoras efectúan funciones de control, tales como los bloqueos y desbloqueos de las transmisiones, la confirmación de las tramas recibidas, las peticiones de retransmisión, etc. Las distintas tramas supervisoras se distinguen por el código de supervisión.

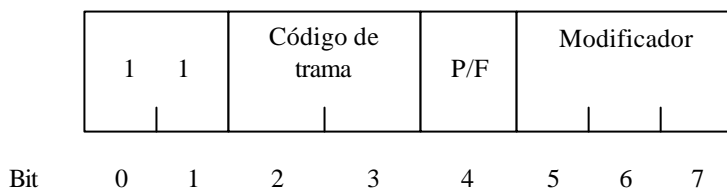


Caben cuatro tipos de tramas supervisoras, puesto que se codifican con dos bits.

- **Tipo 0** Éstas se corresponden con confirmaciones de tramas. Técnicamente se llaman tramas RR (*Receiver Ready*) o de receptor listo. Se utilizan para confirmar la trama y señalar la siguiente trama esperada. Se envían cuando, en el método de superposición de confirmación de tramas, el receptor no necesita enviar tramas de datos al emisor con las que incluir la confirmación, necesitándose una trama específica para ello: la trama RR.
- **Tipo 1** Es de asentimiento negativo o rechazo. Técnicamente se llama REJ (*REject*). Se utiliza para informar que se ha recibido una trama con error o bien que no se ha recibido una trama que se esperaba y ha vencido el temporizador. Con esta trama se solicita la retransmisión de todas las tramas pendientes de confirmación.
- **Tipo 2** Indica que el receptor no está listo para recibir. También se llama RNR (*Receiver Not Ready*) y sirve para indicar al emisor que suspenda la transmisión momentáneamente, mientras se resuelven los problemas que originaron la parada en el receptor. Cuando el receptor se encuentra de nuevo en condiciones de recibir datos, envía al emisor una trama supervisora RR.
- **Tipo 3** Con este tipo de trama supervisora se solicita al emisor que reenvíe una trama concreta, es decir, es una trama que utiliza la técnica del rechazo selectivo. La trama recibe el nombre de SREJ o rechazo selectivo (*Selective REject*).

8.3.3 Tramas no numeradas

Las tramas no numeradas también tienen funciones de control. Se utilizan para el gobierno del enlace en todo lo que se refiere a la conexión y desconexión.



El campo de control de una trama no numerada es el que más difiere en los diferentes tipos de protocolos HDLC. Se codifica con cinco bits: dos para el código de trama y tres más para el modificador, con lo que aparecen 32 posibilidades. Ningún protocolo actual

agota todas. Aquí expondremos las más comunes.

Las tramas no numeradas pueden clasificarse del siguiente modo:

- Tramas para seleccionar el modo de operación. Sirven para informar al receptor del modo de operación en que debe situarse para efectuar la comunicación. La trama **SNRM** (*Set Normal Response Mode*) se utiliza para dejar al receptor en el modo **NRM**. La **SARM** (*Set Asynchronous Response Mode*) pone al receptor en el modo **ARM** y la trama **SABM** (*Set Asynchronous Balanced Mode*) lo pone en el modo **ABM**.
- Tramas para ordenar la desconexión. Para esto se utiliza la trama **DIS** (*DISconnect*). Informa al receptor de que se producirá una desconexión temporal del equipo.
- Confirmación de trama no numerada. La trama **UA** (*Unnumbered Acknowledge*) se utiliza para que el receptor avise al emisor de que recibió una trama no numerada que ha sido aceptada, es decir, representa la confirmación de una trama no numerada.
- Confirmación negativa de la selección del modo de operación o trama **DM** (*Disconnected Mode*). Cuando una trama de selección de modo de operación (SNRM, SARM o SABM) llega al receptor, éste comprueba si es posible o no ponerse en el modo indicado por la trama. Si puede ponerse, se envía una trama UA, y si no puede, una DM.
- Confirmación de rechazo de trama. La trama **FRMR** (*FRaMe Reject*) indica que ha llegado una trama correcta desde el punto de vista del chequeo de errores pero **sintácticamente** incorrecta.

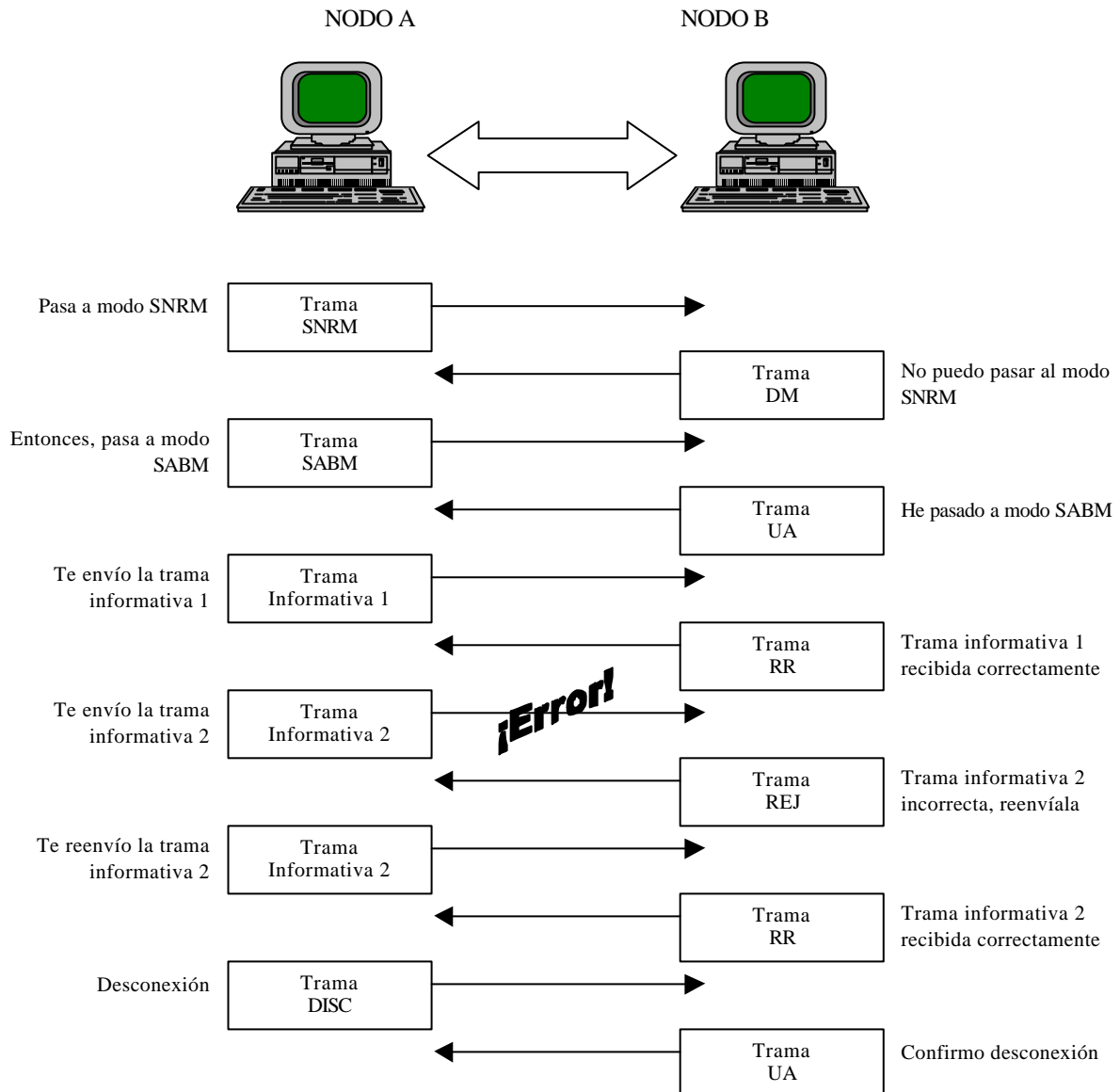
8.3.4 Fases del protocolo HDLC

La comunicación de datos en el nivel de enlace entre dos estaciones utilizando el protocolo HDLC debe seguir las siguientes fases:

- **Conexión del circuito.** Esta fase presupone la conexión física a través de un medio de transmisión propio del nivel físico. Consiste en el establecimiento de una conexión lógica entre emisor y receptor en el que se acuerdan los parámetros de la comunicación, ponen a cero sus variables de estado de comunicación, ajustan sus ventanas de comunicación, etc.
- **Transporte de datos.** En esta fase se produce el intercambio de datos entre emisor y receptor, incluyendo tramas informativas, de supervisión y no numeradas, que regulan la comunicación.
- **Desconexión del circuito.** Una vez concluida la transmisión de datos debe procederse a la liberación de los recursos utilizados para la comunicación en el emisor y en el receptor. Para ello se utiliza la trama de desconexión DIS.

8.3.5 Ejemplo de funcionamiento

A continuación vamos a simular gráficamente un ejemplo de comunicación entre dos estaciones a través del protocolo HDLC.



8.3.6 Protocolos derivados del HDLC

Vamos a esquematizar aquí una breve referencia de algunos de los protocolos derivados del HDLC:

- **LLC.** Es un protocolo ampliamente utilizado en las redes de área local propuestas por la norma IEEE 802 y por la ISO 8882, de las que derivan estándares tan extendidos como Ethernet o Token Ring. Provee una amplia variedad de servicios del tipo HDLC.
- **Frame Relay.** Este protocolo conmuta tramas semejantes a las del protocolo HDLC a través de las redes de transmisión de datos. Es un protocolo que hereda una gran cantidad de operaciones de los protocolos LAPD y V.120. Frame Relay surge como una evolución de la red de conmutación de paquetes X.25 que se estudiará a fondo más adelante.
- **PPP.** Es un protocolo utilizado en conexiones punto a punto en una internet. Encapsula los paquetes de red, normalmente procedentes del protocolo IP propio de la arquitectura DARPA. Está muy extendido como protocolo de conexión a Internet a través de líneas serie por módem.

- **LAPD y V.120.** Son protocolos utilizados por la Red Digital de Servicios Integrados. Su misión consiste en la distribución de mensajes y datos de usuario entre dos dispositivos de la RDSI. La norma V.120 es una recomendación de la CCITT para la transmisión de datos por RDSI con multiplexación.
- **LAPB.** Es el protocolo de la capa de enlace utilizado en las redes X.25 para garantizar el intercambio de paquetes entre el terminal y la red.
- **LAPM.** Es un protocolo derivado del HDLC para su utilización con módems que cumplen la norma V.42, garantizando las comunicaciones libres de errores entre dos módems que cumplen esta especificación.
- **LAPX.** Es un protocolo semidúplex utilizado para la transmisión de teletexto.

Todos estos protocolos están orientados al bit y utilizan la inserción de bit para garantizar la transparencia de datos.