



El protocolo HDLC (“High-level Data Link Control”-Control de Enlace de Datos de Alto Nivel), es el protocolo más importante del nivel de enlace de datos, estandarizado por las normas ISO 3309 y 4335. Además de ser el más utilizado, es la base de numerosos protocolos derivados que utilizan formatos y procedimientos similares al de HDLC.

1. Características básicas:

El protocolo define detalladamente varios conceptos:

1.1. Estaciones:

- ✓ **Estación primaria:** controla el funcionamiento del enlace, y sus tramas se denominan *órdenes*.
- ✓ **Estación secundaria:** funciona controlada por la estación primaria, la que establece enlaces lógicos en cada una de las estaciones secundarias. Sus tramas se denominan *respuestas*.
- ✓ **Estación combinada:** usa tanto órdenes como respuestas.

1.2. Configuraciones del enlace: permite semi-duplex y full-duplex

- ✓ **Configuración no balanceada:** una estación primaria y una o más secundarias.
- ✓ **Configuración balanceada:** consiste en dos estaciones combinadas.

1.3. Modos de transferencia de los datos:

- ✓ **Modo de respuesta normal:** (NRM-“Normal response mode”) Se usa en la configuración no balanceada. La estación primaria puede iniciar la transferencia de datos a la secundaria, pero la secundaria sólo puede transmitir datos usando respuestas a las órdenes de la primaria.
- ✓ **Modo balanceado asíncrono:** (ABM-“Asynchronous balanced mode”) Se usa en la configuración balanceada, en la cual una estación combinada puede iniciar la transmisión sin necesidad de recibir permiso de la otra estación combinada.
- ✓ **Modo de respuesta asíncrono** (ARM-“Asynchronous response mode”) Se usa en la configuración no balanceada. La estación secundaria puede iniciar la transmisión sin tener permiso explícito de la primaria, aunque ésta última sigue siendo la responsable del funcionamiento del enlace, incluyendo la iniciación, la recuperación de errores y la desconexión lógica.

El modo NRM se usa en líneas con múltiples conexiones, con varios terminales conectados a un computador central, que sondea las entradas de cada terminal.

En ocasiones se usa NRM en conexiones punto a punto.

El ABM es el más utilizado de los tres modos, ya que al no necesitar sondeos, los enlaces full duplex punto a punto son más eficientes.

El ARM es el modo menos utilizado, reservado para los casos en que la estación secundaria requiere iniciar la transmisión.

2. Estructura de la trama:

HDLC utiliza transmisión síncrona, donde todos los intercambios se hacen a través de tramas, tanto para los datos como para la información de control.

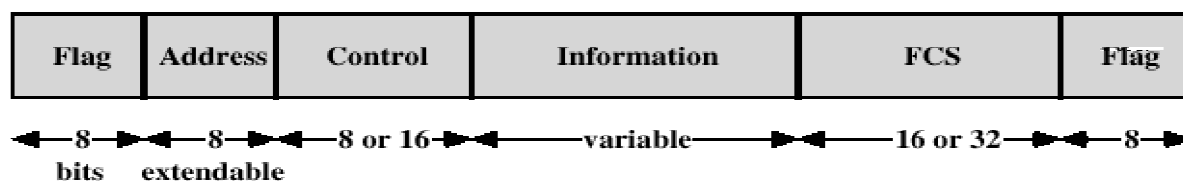


Ilustración 1: Formato de la trama

- 2.1. Campos de delimitación: en ambos extremos de la trama existen delimitadores de comienzo y final de trama (aunque podría haber uno solo). Es la combinación 01111110 que la estación receptora trata de detectar permanentemente, para establecer el comienzo y final de cada trama que recibe. Puede ocurrir que ésta misma secuencia exista dentro de la trama, lo que haría perder la sincronización a nivel de trama. Para evitarlo, se utiliza la técnica de “*inserción de bit*” (en inglés, “bit stuffing”), en la que el transmisor inserta un 0 tras toda cadena de cinco 1’s consecutivos si es que éstos no son de algún limitador de trama. El receptor, luego de haber detectado el inicio de una trama, si recibe cinco 1’s y luego un 0 sabe que éste último es solo de relleno, y lo descarta. Si el receptor recibe seis 1’s consecutivos, solamente los aceptará como un delimitador viniendo entre 0’s, ya que en caso contrario rechazará la trama por ser un error. Con el método de inserción de bit, los campos entre los delimitadores pueden contener cualquier secuencia arbitraria de bits, propiedad que se conoce como “transparencia de los datos”.

Original Pattern:

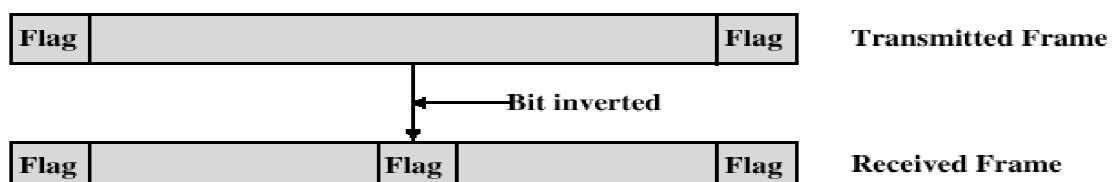
111111111111011111101111110

After bit-stuffing

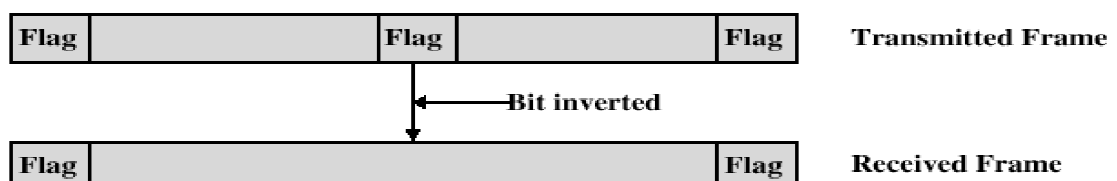
1111101111101101111101011111010

Ilustración 2: Ejemplo de inserción de bit en el transmisor.

Si bien es común que las tramas utilicen limitadores de comienzo y final, esto no es obligatorio en las especificaciones de HDLC. El utilizar un solo limitador de trama permite aprovechar mejor el enlace al enviar menor cantidad de bits de control, aunque la inversión de un bit, según donde se produzca, puede provocar que una trama se divida en dos, o eventualmente que dos tramas se fundan en una sola (Ilustración 3) y esto no ser detectado por el receptor. Con dos delimitadores por trama, estas circunstancias serían rápidamente detectadas por el receptor.



(b) An inverted bit splits a frame in two



(c) An inverted bit merges two frames

Ilustración 3: División y fusión de tramas por inversión de un bit

Las tramas-N siempre tienen un campo de control de 8 bits, ya que no contienen los contadores N(R) ni N(S).

2.4. Campo de información: sólo presente en las tramas-I (y en algunas tramas-N). Puede contener cualquier secuencia de bits siempre que sea una secuencia de $8n$ bits, (n entero), por lo tanto con una longitud variable.

2.5. Campo de secuencia de comprobación de la trama (FCS) (“Frame Check Sequence”)

Es un código de detección de errores, calculado sobre los bits de la trama, excluyendo los limitadores. Se usa generalmente una CRC (Comprobación de redundancia cíclica) de 16 bits, y como opcional una de 32 bits.

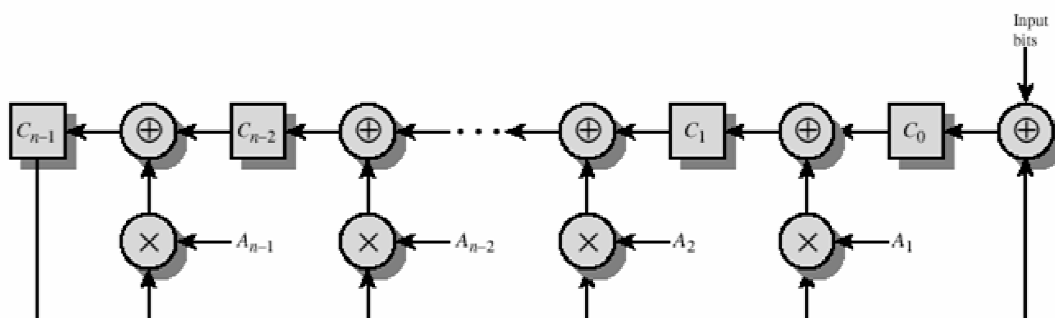


Ilustración 7: Arquitectura general de una CRC para implementar un Divisor.

La Ilustración 7 ejemplifica la implementación de una CRC en la que se utiliza la división por un polinomio:

$$1 + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3 + \dots + A_{n-1}X^{n-1} + X^n$$

3. Funcionamiento de HDLC:

Se lleva a cabo mediante el intercambio de tramas-I, tramas-S y tramas-U entre dos estaciones, que transportan órdenes y respuestas, entre las cuales se reseñan las principales:

| Nombre | Descripción |
|--|--|
| Información(I) | Intercambio de datos de usuario |
| Supervisión (S) <ul style="list-style-type: none"> Receptor preparado (RR) Receptor no preparado (RNR) Rechazo (REJ) Rechazo selectivo (SREJ) | Confirmación positiva; preparado para recibir tramas-I Confirmación positiva; no está preparado para recibir nuevas tramas-I Confirmación negativa; adelante-atrás N Confirmación negativa; rechazo selectivo |
| No numerada (U) <ul style="list-style-type: none"> Fijar modo respuesta normal (SNRM) Ídem anterior, extendido (SNRME) Fijar modo respuesta asíncrono (SARM) Ídem anterior, extendido (SARME) | Número de secuencia de 3 bits. Número de secuencia de 7 bits. Número de secuencia de 3 bits. Número de secuencia de 7 bits |

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fijar modo balanceado asíncr. (SABM) • Ídem anterior, extendido. • Fijar modo de iniciación (SIM) • Desconectar (DISC) • Confirmación no numerada (UA) • Modo desconectado (DM) • Solicitud de desconexión (RD) • Solicitud modo de iniciación (RIM) • Información no numerada (UI) • Sondeo no numerada (UP) • Reset (RSET) • Test (TEST) • Rechazo de trama (FRMR) | <p>Número de secuencia de 3 bits.</p> <p>Número de secuencia de 7 bits.</p> <p>Inicia las funciones de control de enlace en la estación direccionada.</p> <p>Finaliza la conexión lógica del enlace</p> <p>Confirma la aceptación de una orden de selección de modo</p> <p>Finaliza la conexión lógica del enlace</p> <p>Solicita orden de DISC.</p> <p>Se necesita conexión; solicitud de la orden SIM.</p> <p>Para intercambiar información de control.</p> <p>Se usa para solicitar información de control</p> <p>Se utiliza para las recuperaciones; pone N(R) y N(S) a sus valores iniciales.</p> <p>Intercambio de campos idénticos de información para verificar funcionam.</p> <p>Informa sobre la recepción de una trama inaceptable.</p> |
|--|--|

El funcionamiento de HDLC implica necesariamente tres fases: iniciación, transferencia de datos y desconexión. (Protocolo orientado a conexión)

Iniciación: cualquiera de los extremos puede iniciar la transmisión, generando alguna de las seis posibles órdenes de modo. Esta orden cumple los siguientes tres propósitos:

- ✓ Avisar al otro extremo que se ha solicitado la iniciación.
- ✓ Especificar el modo solicitado (NRM, ABM o ARM)
- ✓ Especificar si se utilizarán números de secuencia de 3 ó 7 bits.

Si la solicitud del transmisor se acepta, el receptor envía una trama de *confirmación no numerada* (UA-“unnumbered acknowledged”)

Si la solicitud se rechaza, el receptor envía una trama de *modo desconectado* (DM-“disconnected mode”)

Transferencia de datos: con la iniciación solicitada y aceptada, se habrá establecido la conexión lógica. Ambos lados pueden comenzar a enviar datos mediante tramas-I, comenzando con el número de secuencia 0. La secuencia de tramas-I se numeran secuencialmente módulo 8 ó módulo 128, según se utilice 3 ó 7 bits respectivamente, utilizando el campo N(S). El campo N(R) se utiliza para la confirmación de las tramas-I recibidas, por lo que se indica al otro extremo el número de la próxima trama que se espera recibir (“reconocimiento inclusivo”). Las tramas-S también se utilizan para el control de flujo y errores:



- ✚ **Desconexión:** cualquiera de los extremos puede solicitar la desconexión, ya sea por iniciativa propia (detección de un fallo) o por solicitud de una capa superior. HDLC lleva a cabo la desconexión transmitiendo una trama de desconexión (DISC), a la que el otro extremo responderá con una UA.

En los diagramas siguientes, cada fila especifica el nombre de la trama. Cuando se requiere, se dan los contenidos de V(S) y de V(R). El bit P/F (“poll/final”) se fija en 0, salvo cuando explícitamente aparece, que estará indicado en 1.

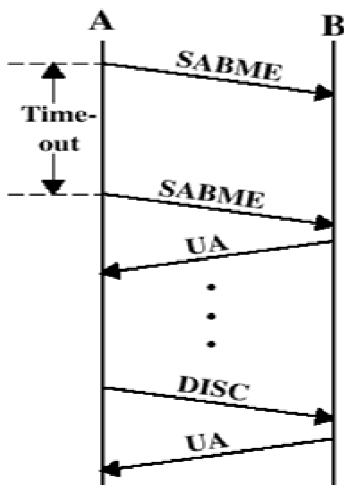


Ilustración 8: Iniciación del enlace y desconexión.

A envía SABM y activa un temporizador.

B responde con UA, inicializa sus variables de estado y contadores. Ambos quedan listos para iniciar el intercambio de tramas.

Si B no respondiera al SABM dentro del tiempo del temporizador, A insistirá hasta obtener de B una respuesta UA ó DM. Si no respondiera el ETD B a pesar de los intentos, A avisaría a las capas superiores. Se ilustra también la desconexión.

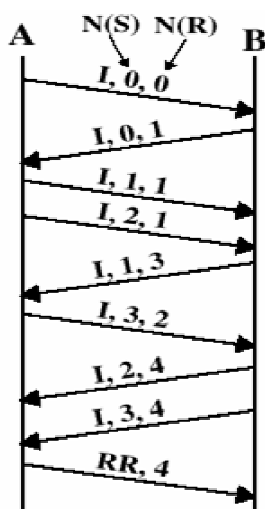


Ilustración 9: Intercambio de datos en ambos sentidos

Supuesta ya superada la iniciación del enlace:

La trama I con $N(S) = 1$ y $N(R) = 3$ es un ejemplo de reconocimiento inclusivo.

La última trama-S, RR, se envía de A hacia B ya que el primero no posee tramas-I para enviar con datos.

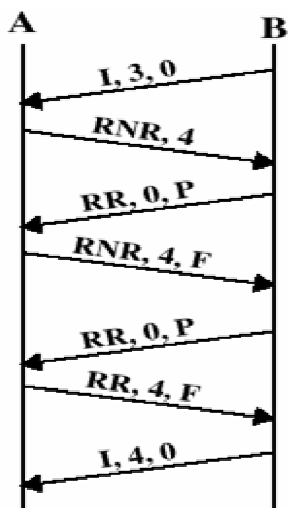


Ilustración 10: Condición de receptor ocupado.

Los buffers del receptor se pueden desbordar porque HDLC puede ser incapaz de procesar las tramas-I a la velocidad que le llegan, o bien porque el usuario no puede recibirlas tan rápidamente (p.ej. limitación de una impresora).

Envía RNR confirmando la última trama recibida, pero solicitando una pausa en el envío.

B sondeará periódicamente a A con RR (bit P = 1)

Cuando A está listo, envía RR (bit P = 0)

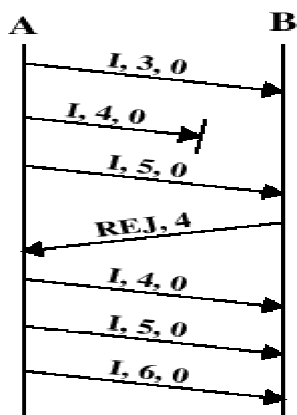


Ilustración 11: Recuperación de un rechazo.

La trama-I número 4, enviada por A se pierde por un error.

B rechaza la trama 5, ya que esperaba la 4.

Envía REJ4, por lo que A retransmite todas las tramas desde la 4 inclusive, y posteriores.

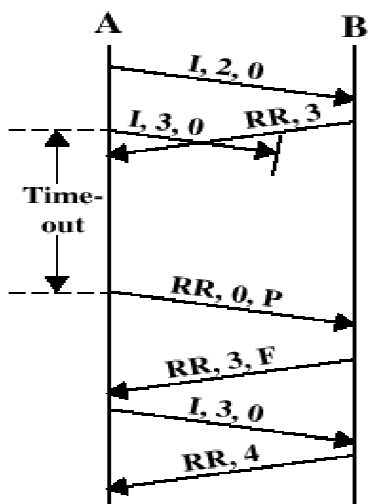


Ilustración 12: Recuperación de un error usando temporizadores.

A envía una secuencia de tramas a B, perdiéndose la número 3, que era la última de la transmisión de A.

El ETD B detecta el error, pero no puede mandar hacia A una REJ, ya que no puede saber si la trama que se perdió es tipo I.

A había iniciado un temporizar al enviar la trama I,3,0 por lo que vencido el mismo, sondeará con RR (P/F con P = 1). Al responder B con el número de trama que espera recibir, el A sabe que debe retransmitir la I,3,0 y se evita el "dead-lock".

5. Otros protocolos para Control de Enlace de Datos.

Varios de los más importantes, son variaciones sobre el HDLC, formando una familia de protocolos que siguen evolucionando y expandiéndose. Su transmisión libre se errores mejora en la misma

medida que se van imponiendo los enlaces por fibra óptica y mejoran las técnicas de detección de errores. Cada vez más reemplazan a los menos eficientes y antiguos protocolos de arranque y parada. Los principales protocolos derivados, tienen las tramas con el formato indicado en la Ilustración 13.

| Flag | Address | Control | Information | FCS | Flag |
|------|---------|---------|-------------|----------|------|
| 8 | 8n | 8 or 16 | variable | 16 or 32 | 8 |

(a) HDLC, LAPB

| Flag | Address | Control | Information | FCS | Flag |
|------|---------|---------|-------------|-----|------|
| 8 | 16 | 16* | variable | 16 | 8 |

(b) LAPD

| MAC control | Dest. MAC address | Source MAC address | DSAP | SSAP | LLC control | Info. | FCS |
|-------------|-------------------|--------------------|------|------|-------------|----------|-----|
| variable | 16 or 48 | 16 or 48 | 8 | 8 | 16* | variable | 32 |

(c) LLC/MAC

| Flag | Address | Control | Information | FCS | Flag |
|------|---------------|---------|-------------|-----|------|
| 8 | 16, 24, or 32 | 16* | variable | 16 | 8 |

(d) LAPF (control)

| Flag | Address | Information | FCS | Flag |
|------|---------------|-------------|-----|------|
| 8 | 16, 24, or 32 | variable | 16 | 8 |

(e) LAPF (core)

| Generic flow control | Virtual path identifier | Virtual channel identifier | Control bits | Header error control | Information |
|----------------------|-------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|-------------|
| 4 | 8 | 16 | 4 | 8 | 384 |

(f) ATM

* = 16-bit control field (7-bit sequence numbers) for I- and S- frames; 8 bits for U-frames

Ilustración 13: Formato de las tramas de distintos protocolos de Enlace de datos.

Las características resumidas de estos protocolos son:

- ✚ **LAPB (“Link access procedure balanced”-Procedimiento de acceso al enlace balanceado):** Desarrollado por la UIT como una parte de los estándares X-25 (punto a punto en redes de conmutación de paquetes.) Es un subconjunto de HDLC, con igual formato de trama, que sólo admite modo ABM.
- ✚ **LAPD (“Link access procedure, on D-channel”-Procedimiento de acceso al enlace sobre canal D):** Desarrollado por la UIT como parte de los estándares para ISDN (Red



digital de Servicio Integrado), da un procedimiento de control del enlace de datos sobre el canal D, que en la interface física es el canal lógico de transmisión. También sólo admite modo ABM.

- ✚ **LLC/MAC (“Logical link control/médium access control”- Control de enlace lógico/Control de acceso al medio).** Son dos protocolos parte de las normas IEEE 802 para redes LAN, que utiliza características de HDLC, y agrega algunas propias. Son dos subcapas de protocolos, una dentro de la otra. La identificación de los usuarios lógicos se efectúa mediante los puntos de acceso a servicio (SAP-“Service access point”) tanto destino (“destination”) como origen (“source”). En la subcapa MAC, se tienen los campos con las direcciones destino y origen, ya que en las redes LAN no se tienen estaciones primarias/secundarias.
- ✚ **LAPF (“Link access procedure on frame mode”-Proceso de acceso al enlace en modo trama):** diseñado para el control de enlace de datos en redes de alta velocidad por conmutación de paquetes, en la técnica conocida como “Frame Relay” (Retransmisión de tramas).
- ✚ **ATM (“Asynchronous Transfer Mode”-Modo de transferencia asíncrono):** otro diseño para el control de enlace de datos en redes de alta velocidad, en el entorno de operación de ISDN.