

William Stallings

Comunicaciones y Redes De Computadores

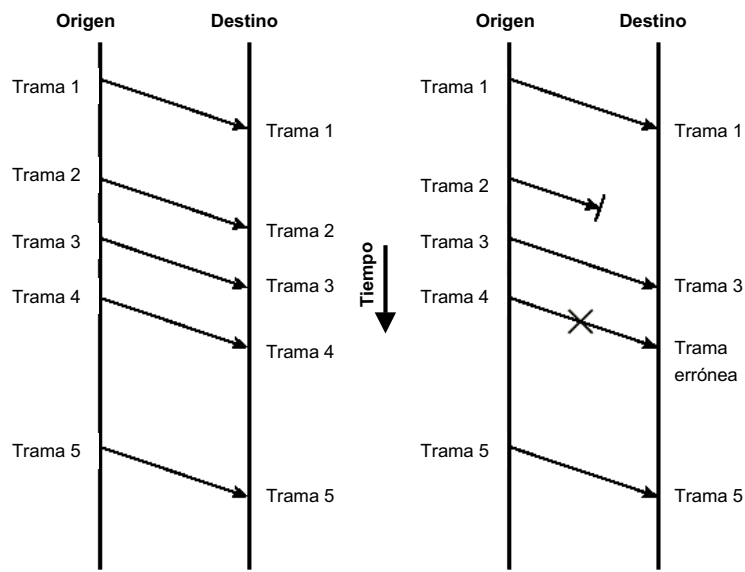
Capítulo 7

Control del enlace de datos

Control del flujo

- Asegurar que la entidad de transmisión no sobrecargue a la entidad receptora:
 - Prevenir el desbordamiento de la memoria temporal.
- Tiempo de transmisión:
 - Tiempo empleado para emitir todos los bits de una trama.
- Tiempo de propagación:
 - Tiempo empleado por un bit en atravesar el medio de transmisión.

Modelo para la transmisión de las tramas



(a) Transmisión sin errores

(b) Transmisión con pérdidas y errores

Parada-y-espera

- La fuente transmite una trama.
- El destino recibe la trama y responde enviando una confirmación.
- La fuente espera dicha confirmación antes de transmitir la siguiente trama.
- El destino puede parar el flujo reteniendo las confirmaciones.
- Buen funcionamiento usando un número reducido de tramas de gran tamaño.

Fragmentación

- Es frecuente que la fuente rompa un gran bloque de datos en bloques pequeños:
 - Tamaño limitado de la memoria temporal.
 - Los errores se detectarán antes, una vez recibida toda la trama.
 - Si hay errores, se necesitará retransmitir pequeñas tramas.
 - Evita que una estación ocupe el medio durante un periodo largo.
- El procedimiento de parada-y-espera puede ser inadecuado.

Utilización del enlace mediante parada-y-espera

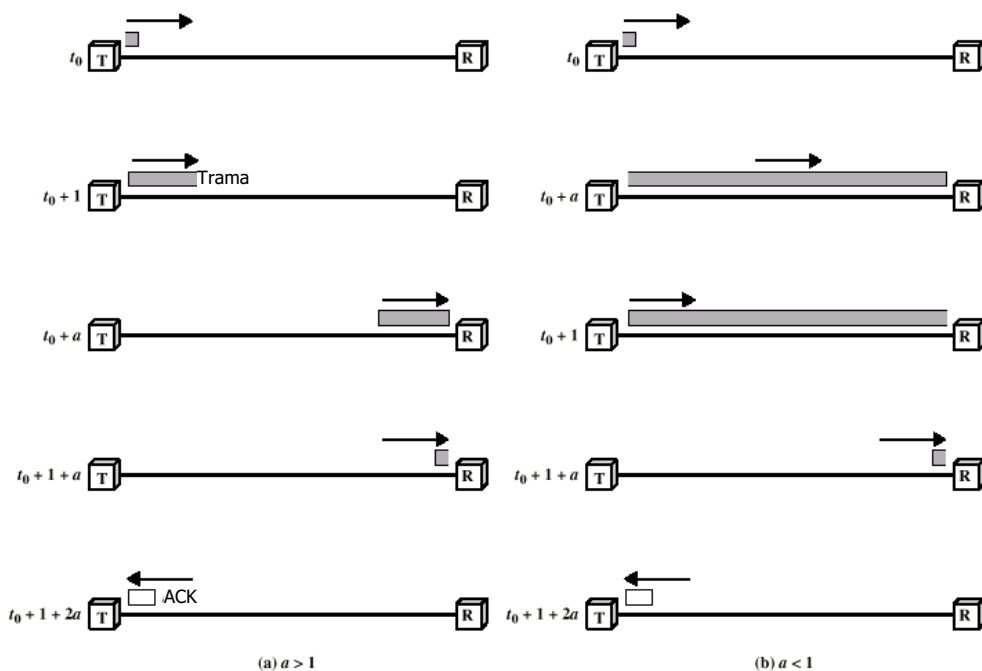
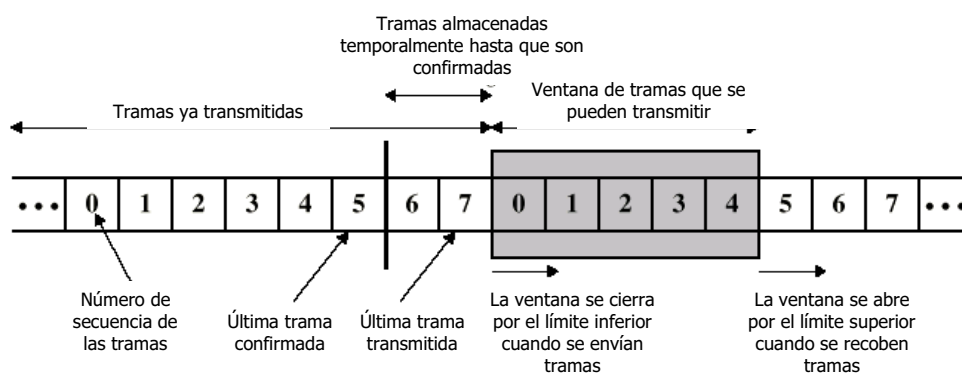


Figura 7.2. Utilización del enlace mediante parada-y-espera (tiempo de transmisión = 1; tiempo de propagación = a).

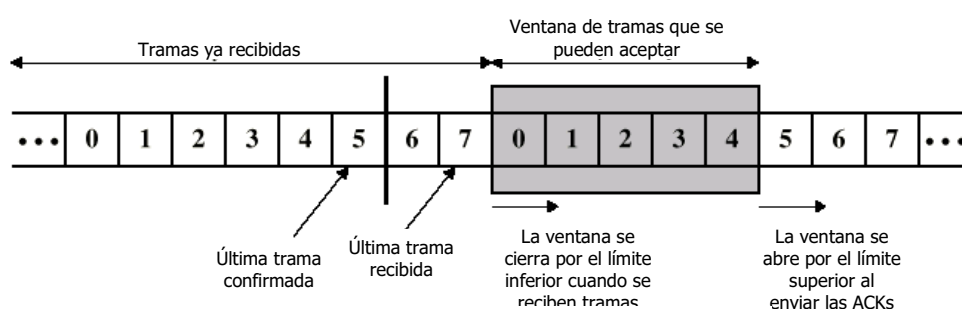
Control de flujo mediante ventana deslizante

- Permite que transiten varias tramas.
- El receptor tiene una memoria temporal suficiente para almacenar W tramas.
- El transmisor puede enviar hasta W tramas sin confirmación.
- Cada trama se etiqueta con un número de secuencia.
- La confirmación incluye el número de secuencia de la siguiente trama que se espera recibir.
- El número de secuencia está determinado en función del tamaño del campo (k):
 - Las tramas se numerarán modulo 2^k .

Descripción de la ventana deslizante

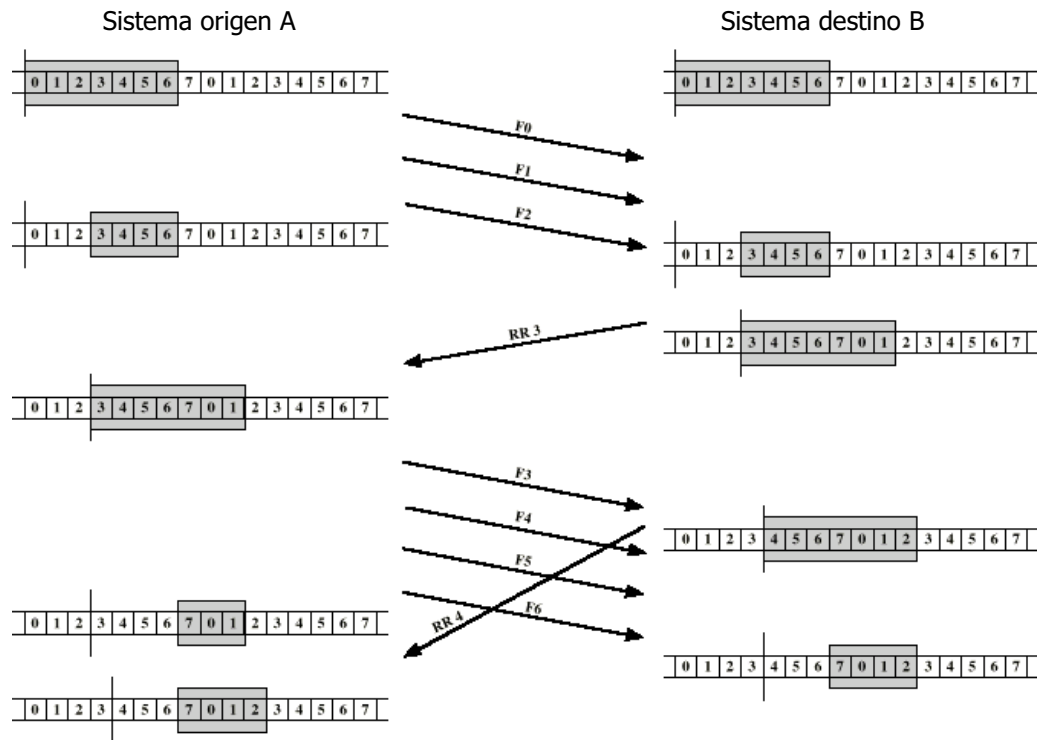


(a) Desde el punto de vista del transmisor



(b) Punto de vista del receptor

Ejemplo de protocolo de ventana deslizante



Mejoras en la ventana deslizante

- Mediante un mensaje receptor no preparado (RNR, receive not ready), el receptor puede confirmar las tramas prohibiendo la transmisión de tramas adicionales.
- Se debe transmitir una confirmación normal para reabrir la ventana.
- Si hay dos direcciones, utilizar el procedimiento denominado *incorporación de confirmación*:
 - Si no hay datos, enviará una trama de confirmación.
 - Si hay datos, pero nada que confirmar, repetirá la última confirmación enviada con anterioridad.

Detección de errores

- Bits adicionales que añade el transmisor para el código de detección de error.
- Paridad:
 - El valor de paridad de cada bit se determina de tal forma que el carácter resultante tenga un número impar de unos (paridad impar) o un número par (paridad par).
 - El número par de errores de bits pasará sin ser detectado.

Comprobación de redundancia cíclica

- Dado un bloque de k -bits, el transmisor genera una secuencia de n -bits.
- Transmitir $n+k$ bits, de manera que sea divisible por algún número predeterminado.
- El receptor divide la trama por ese número:
 - Si no hay resto en la división, se supone que no ha habido errores.
 - Véase el capítulo 7 para comprobar las operaciones.

Control de errores

- Detección y corrección de errores.
- Tramas perdidas.
- Tramas dañadas.
- Solicitud de repetición automática (ARQ, automatic repeat request):
 - Detección de errores.
 - Confirmación positiva.
 - Retransmisión después de la expiración del intervalo de tiempo.
 - Confirmación negativa y retransmisión.

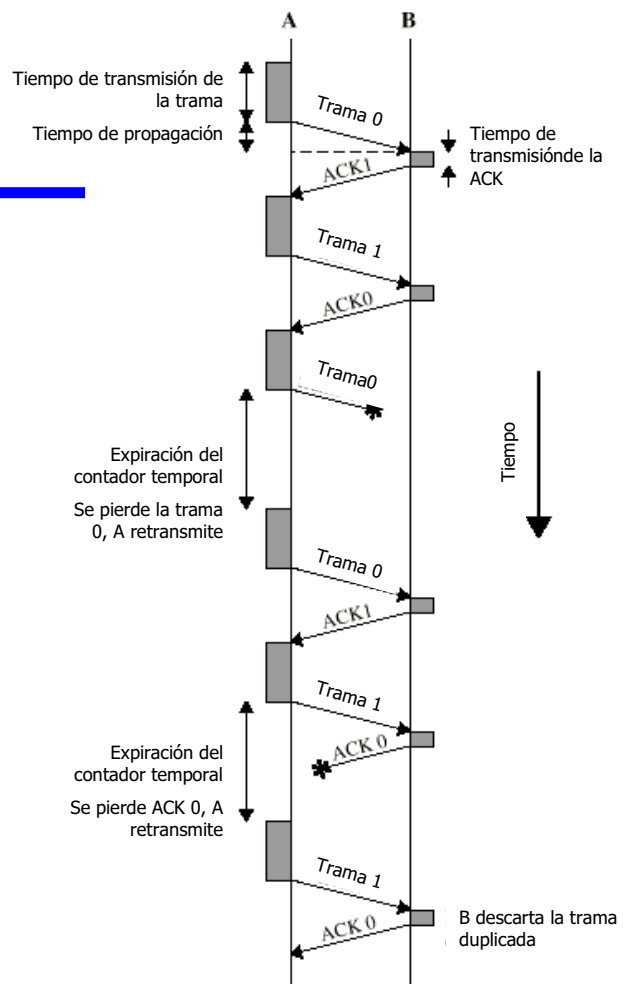
Solicitud de repetición automática (ARQ)

- ARQ con parada-y-espera.
- ARQ con vuelta-atrás-n.
- ARQ con rechazo selectivo (retransmisión selectiva).

ARQ con parada-y-espera

- La estación fuerte transmite una única trama.
- Espera una confirmación.
- Si la trama recibida está dañada, queda descartada:
 - El transmisor utiliza un temporizador.
 - Si no se recibe confirmación antes de que el temporizador expire, la trama se reenvía de nuevo.
- Si la confirmación se deteriora, el transmisor no la reconocerá:
 - El transmisor retransmitirá.
 - Al receptor llegarán dos copias de la trama.
 - Utilizar las formas ACK0 y ACK1.

ARQ mediante parada-y-espera



Ventajas y desventajas de la ARQ con parada-y-espera

- Sencillez.
- Ineficacia.

ARQ con vuelta-atrás-n

- Basada en las ventanas deslizantes.
- Mientras no aparezcan errores, el destino confirmará las tramas recibidas como es habitual.
- Utilizar la ventana para controlar el número de tramas pendientes de confirmar.
- Si se detecta un error, confirmación negativa:
 - Descartar esa trama y todas las que se reciban en el futuro hasta que la trama errónea se reciba correctamente.
 - El transmisor debe retroceder y retransmitir esa trama más todas las tramas posteriores.

Tramas deterioradas en ARQ con vuelta-atrás-N

- El receptor detecta el error en la trama i .
- El receptor envía una REJ i .
- El transmisor recibe la REJ i .
- El transmisor retransmite la trama i y todas las posteriores.

Trama perdida en ARQ con vuelta-atrás-N

- La trama i se pierde.
- El transmisor envía $i+1$.
- El receptor recibe la trama $i+1$ fuera de la secuencia.
- El receptor envía una REJ i .
- El transmisor vuelve a la trama i y retransmite.

Trama perdida en ARQ con vuelta-atrás-N

- La trama i se pierde y no se envía ninguna trama adicional.
- El receptor no recibe nada y no envía ni confirmación ni REJ.
- El transmisor expira y envía una trama de confirmación con bit P igual a 1.
- El receptor lo interpreta como una orden que debe ser confirmada con el número de la siguiente trama que se espera recibir (trama i).
- Entonces, el transmisor retransmite la trama i .

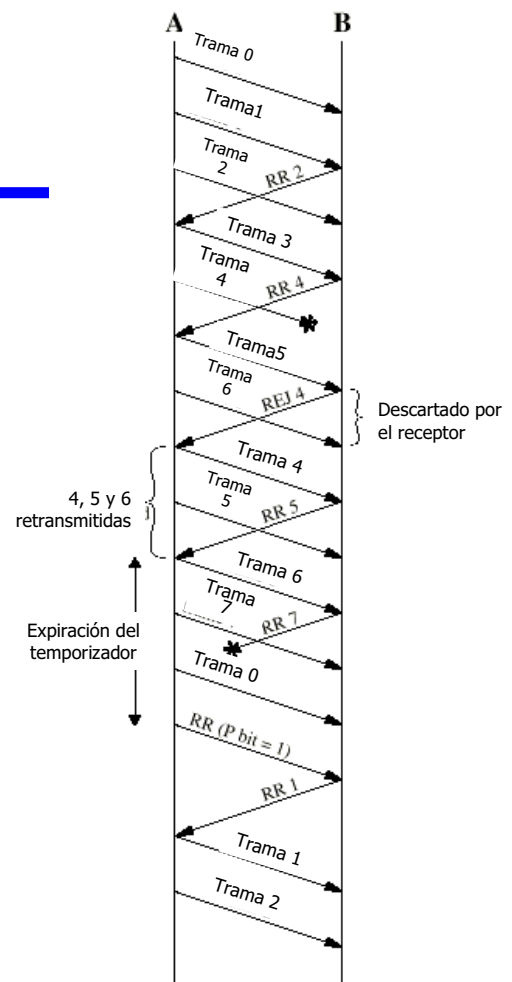
Confirmación dañada en ARQ con vuelta-atrás-N

- Al receptor llega la trama i y envía una confirmación $(i+1)$, que se pierde en el camino.
- Las confirmaciones son acumulativas, por lo tanto puede que la siguiente confirmación $(i+n)$ llegue antes de que el temporizador asociado a la trama i expire.
- Si el temporizador expira, se transmite una confirmación, reiniciando el temporizador del bit P.
- Este procedimiento se repite varias veces antes de que comience el procedimiento de reinicio.

REJ deteriorada en la ARQ con vuelta-atrás-N

- Equivalente al caso de la trama perdida en la ARQ con vuelta-atrás-N.

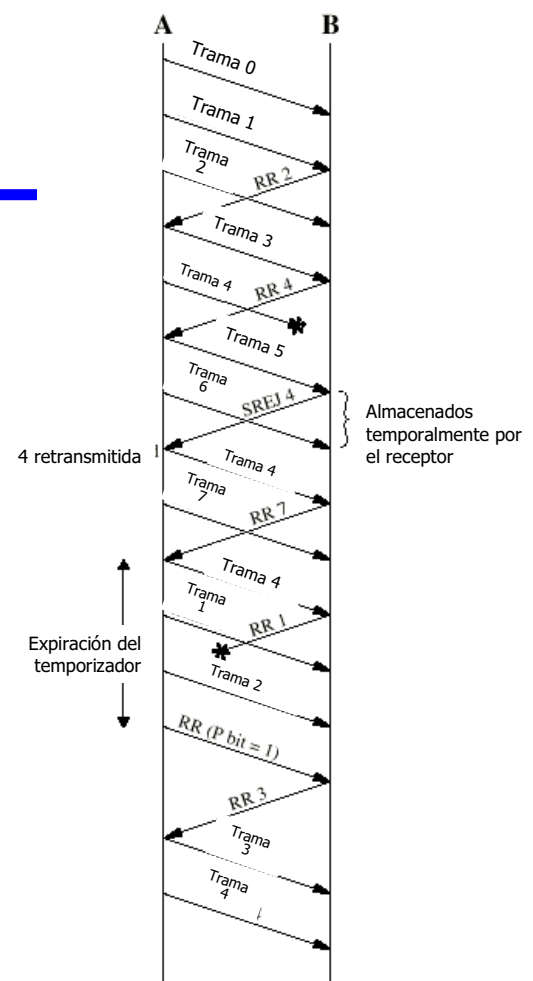
ARQ con vuelta-atrás-N



ARQ con rechazo selectivo

- También denominada retransmisión selectiva.
- Sólo se retransmiten las tramas para las que se recibe una confirmación negativa.
- El receptor acepta y almacena las tramas posteriores en la memoria temporal.
- Se minimiza el número de retransmisiones.
- El receptor deberá reservar una zona de memoria temporal lo suficientemente grande.
- El transmisor también necesita una lógica más compleja.

ARQ con rechazo selectivo



Control del enlace de datos a alto nivel

- HDLC (High-level Data Link Control, control del enlace de datos a alto nivel).
- ISO 3309, ISO 4335.

Tipos de estaciones del HDLC

- Estación primaria:
 - Controla el funcionamiento del enlace.
 - Las tramas generadas se denominan órdenes.
 - Mantiene un enlace lógico independiente para cada una de las secundarias.
- Estación secundaria:
 - Funciona bajo el control de la estación primaria.
 - Las tramas generadas se denominan respuestas.
- Estación combinada:
 - Puede generar tanto órdenes como respuestas.

Configuraciones del enlace HDLC

- No balanceada:
 - Está formada por una estación primaria y una o más secundarias.
 - Permite tanto la transmisión "full-duplex" como "semi-duplex".
- Balanceada:
 - Consiste en dos estaciones combinadas.
 - Permite tanto la transmisión "full-duplex" como "semi-duplex".

Modos de transferencia del HDLC

- Modo de respuesta normal (NRM, Normal Response Mode):
 - Se utiliza en la configuración no balanceada.
 - La estación primaria transfiere datos a la secundaria.
 - La secundaria sólo puede transmitir datos usando respuestas a las órdenes emitidas por la primaria.
 - Utilizada en líneas con múltiples conexiones.
 - Computador central como estación primaria.
 - Terminales como estaciones secundarias.

Modos de transferencia del HDLC

- Modo balanceado asíncrono (ABM, Asynchronous Balanced Mode):
 - Se utiliza en la configuración balanceada.
 - Cualquier estación puede iniciar la transmisión sin necesidad de recibir permiso.
 - Es el más utilizado.
 - No es necesario hacer sondeos.

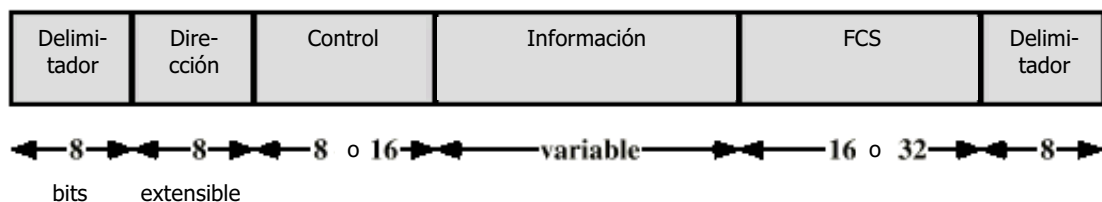
Modos de transferencia del HDLC

- Modo de respuesta asíncrono (ARM, Asynchronous Response Mode):
 - Se utiliza en la configuración no balanceada.
 - La estación secundaria puede iniciar la transmisión sin tener permiso explícito por parte de la primaria.
 - La estación primaria es responsable del funcionamiento de la línea.
 - No se utiliza con mucha frecuencia.

Estructura de la trama

- HDLC utiliza transmisión síncrona.
- Todos los intercambios se realizan a través de tramas.
- Utiliza un formato único de tramas para todos los intercambios de datos e información de control .

Formato de la trama



Campos de delimitación

- Delimitan la trama en sus dos extremos.
- Combinación de bits 01111110.
- Puede cerrar una trama y abrir otra.
- El receptor intenta detectar la secuencia de delimitación para sincronizarse.
- La inserción de bits se utiliza para evitar la confusión con los datos que contienen 01111110:
 - Se insertará un 0 tras cinco 1 consecutivos.
 - Si el receptor detecta cinco 1 consecutivos, examinará el sexto bit.
 - Si dicho bit es 0, se eliminará sin más.
 - Si es un 1 y el séptimo es un 0, se aceptará como delimitador.
 - Si los bits sexto y séptimo son ambos igual a 1, se considera que el emisor está generando una indicación de cierre.

Inserción de bits

Patrón original

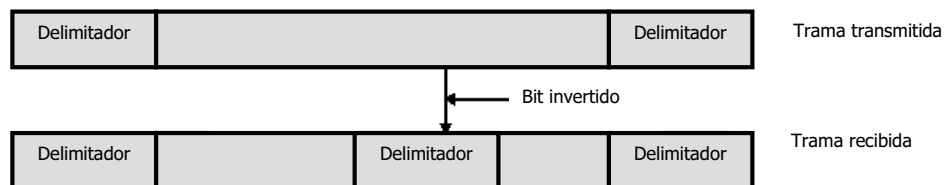
111111111111011111101111110

Después de la inserción de bits

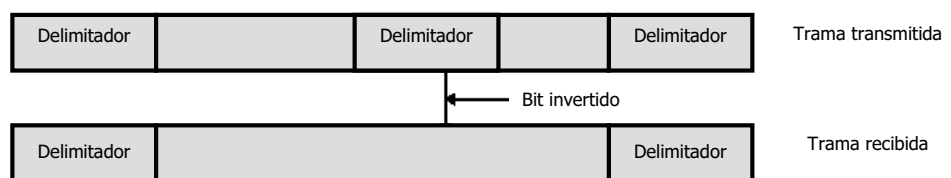
11111011111101101111101011111010

- Ejemplo con posibles errores:

(a) Ejemplo



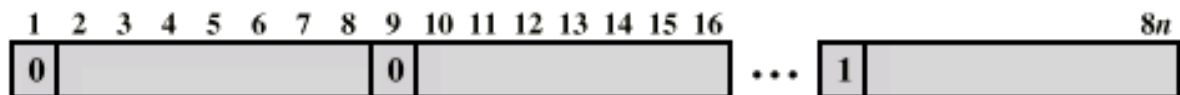
(b) Un bit invertido divide la trama en dos



(c) Un bit invertido une dos tramas

Campo de dirección

- Identifica a la estación secundaria que ha transmitido o que va a recibir la trama.
- Normalmente tiene 8 bits.
- Se puede ampliar con múltiplos de 7 bits:
 - El bit menos significativo de cada octeto indica si es (1) o no (0) el último octeto.
- Toda dirección 11111111 se utiliza para enviar.

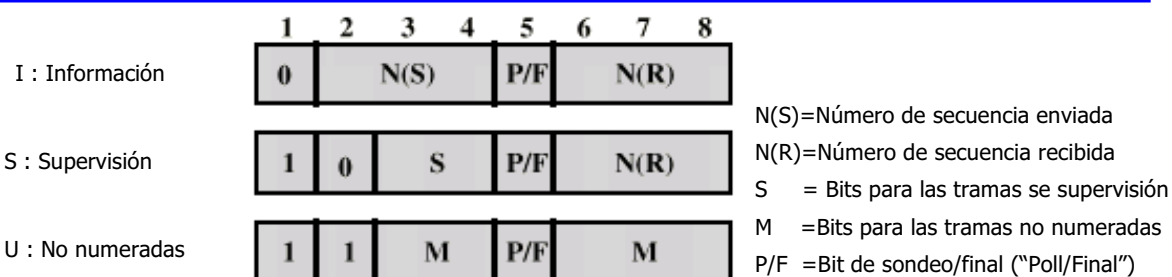


Campo de dirección extendida

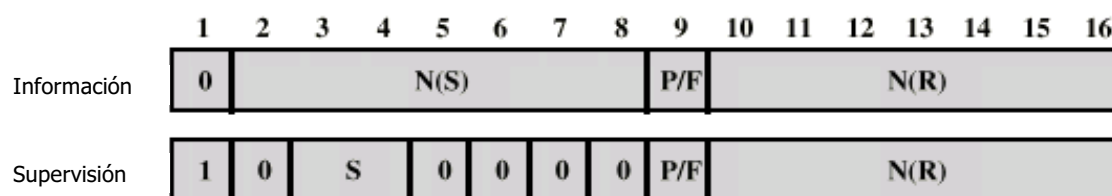
Campo de control

- Diferente para cada tipo de trama:
 - Tramas de información: transportan los datos que se van a transmitir al usuario (por la lógica situada en la capa superior):
 - En la tramas de información se incluye información para el control ARQ de errores y flujo.
 - Tramas de supervisión: proporcionan ARQ cuando la incorporación de las confirmaciones en las tramas de información no es factible.
 - Tramas no numeradas: proporcionan funciones complementarias para el control del enlace.
- El primer o los dos primeros bits del campo de control se utilizan para identificar el tipo de la trama.
- Los bits restantes se explicarán posteriormente.

Formato del campo de control



Formato del campo de control de 8 bits



Formato del campo de control de 16 bits

Bit sondeo/final (P/F "poll/final")

- Su utilización depende del contexto.
- Trama de orden:
 - El bit se denomina P.
 - Se fija a 1 para solicitar (sondear) una respuesta a la entidad HDLC par.
- Trama de respuesta:
 - El bit se denomina F.
 - Se fija a 1 para identificar a la trama tipo respuesta devuelta tras la recepción de una orden.

Campo de información

- Sólo está presente en las tramas de información y en algunas tramas no numeradas.
- Debe contener un número de bits igual a un múltiplo entero de 8.
- Logitud variable.

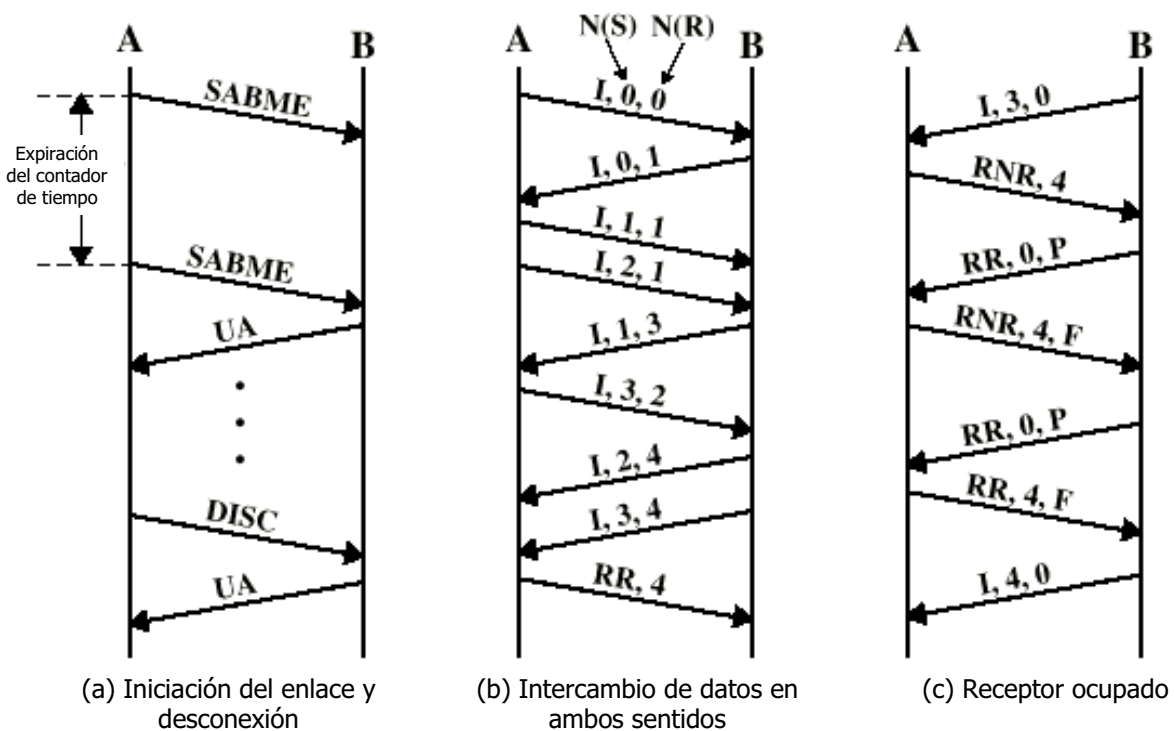
Campo para la secuencia de comprobación de la trama

- Secuencia de comprobación de la trama (FCS, Frame Check Sequence).
- Código para la detección de errores.
- CRC de 16 bits.
- Alternativamente se puede utilizar CRC de 32 bits.

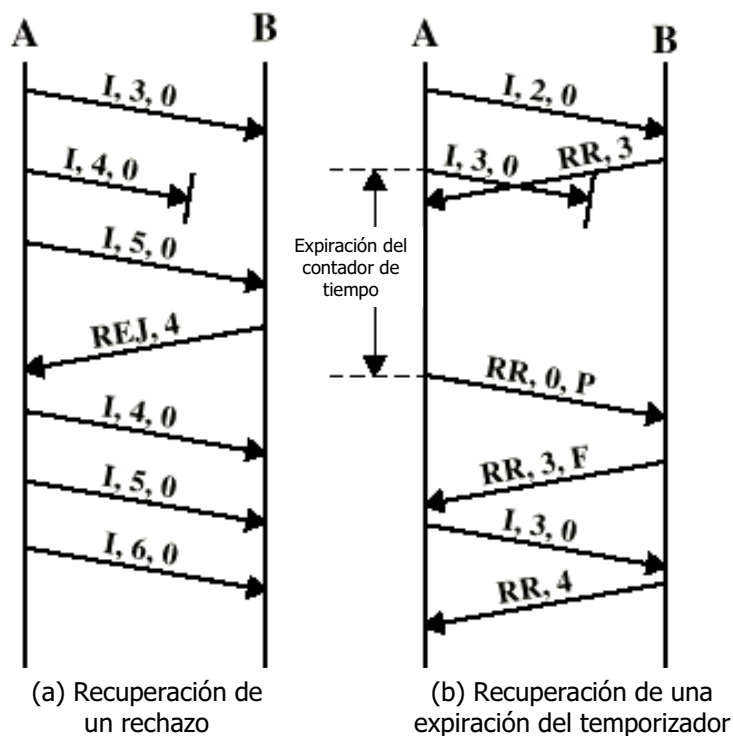
Funcionamiento del HDLC

- Intercambio de tramas de información, supervisión y no numeradas.
- Tres fases:
 - Iniciación.
 - Transferencia de datos.
 - Desconexión.

Ejemplo de funcionamiento de HDLC



Ejemplo de funcionamiento de HDLC



Otros protocolos para el control del enlace de datos: LAPB, LAPD

- Procedimiento de acceso al enlace balanceado (LAPB, Link Access Procedure, Balanced):
 - Desarrollado por la UIT-T como parte de la norma X.25.
 - Subconjunto del HDLC que proporciona solamente el modo balanceado asíncrono (ABM).
 - Enlaces punto a punto entre el sistema de usuario y un nodo de una red de conmutación de paquetes.
- Procedimiento de acceso al enlace sobre canal D (LAPD, Link Access Procedure, D-Channel):
 - Desarrollado por la UIT-T como parte de las recomendaciones para la RDSI.
 - ABM.
 - Siempre usa números de secuencia de 7 bits (prohibidos los de 3 bits).
 - El campo de dirección de 16 bits está formado por dos subdirecciones:
 - Una para el dispositivo y otra para el usuario.

Otros protocolos para el control del enlace de datos: LLC

- Control del enlace lógico LLC (LLC, Logical Link Control):
 - Parte de la familia IEEE 802.
 - Diferente formato de tramas.
 - El control de enlace se divide en dos capas: MAC (capa de control de acceso al medio) y la capa LLC que funciona por encima de la capa MAC.
 - No existe el concepto de estación primaria o secundaria. Todas las estaciones funcionan de igual a igual.
 - Se necesitan dos direcciones:
 - ┆ Emisor y receptor.
 - La detección de errores se realiza en el nivel MAC:
 - ┆ CRC de 32 bits.
 - Puntos de acceso al servicio del destino y del origen (DSAP SSAP)

Otros protocolos para el control del enlace de datos: Frame Relay

- Utilización más eficiente de la capacidad de las redes de alta velocidad de conmutación de paquetes.
- Se usa en lugar de X.25.
- Utiliza el LAPF (Link Access Procedure for Frame-Mode Bearer Services).
- Dos protocolos:
 - De control, similar al HDLC.
 - Básico: subconjunto del protocolo de control.

Otros protocolos para el control del enlace de datos: Frame Relay

- ABM
- Números de secuencia de 7 bits.
- CRC de 16 bits.
- Campo de direcciones de dos, tres o cuatro octetos:
 - Identificador de la conexión del enlace de datos (DLCI, Data link connection identifier).
 - Identifica la conexión lógica.
- Más información sobre retransmisión de tramas en capítulos posteriores.

Otros protocolos para el control del enlace de datos: ATM

- Modo de transferencia asíncrono (ATM, Asynchronous Transfer Mode).
- Utilización más eficiente de la capacidad en redes de alta velocidad.
- No está basado en HDLC.
- Formato de tramas diferente, denominadas "celdas".
- Longitud fija de 53 octetos, es decir 424 bits.
- En próximos capítulos se estudiarán con detalle los distintos campos de las celdas ATM.

Lecturas recomendadas

- Stallings, W. *Comunicaciones y Redes de Computadores*, sexta edición. Madrid: Prentice Hall, 2000: Capítulo 7.
- Sitios web sobre HDLC, retransmisión de tramas, Ethernet y ATM.