

TEMA 3: NIVEL ENLACE.

Tramas, control de errores y
de flujo, direccionamiento.

Entramado:

- Construir tramas según el formato especificado por el protocolo.
- Delimitar inicio y fin de trama.

Gestión del enlace:

- Verificar si el enlace está listo para transmitir o está “caído”.

Control de errores:

- Comprobar si la trama recibida contiene bits erróneos o no ha llegado.
- Gestionar el reenvío de tramas perdidas o erróneas.

Control de Flujo:

- Evitar desbordar al receptor (sólo a nivel local).

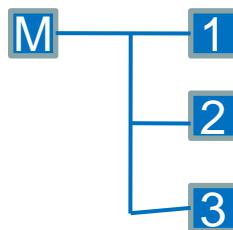
Direcccionamiento **LOCAL**:

-Distinguir a quién (y desde quién) se envía la información **DENTRO DE ESA LAN**. Para ello se hace uso de direcciones físicas (también llamadas direcciones “hardware” o MAC), es decir, asignadas a la tarjeta de red por el fabricante.



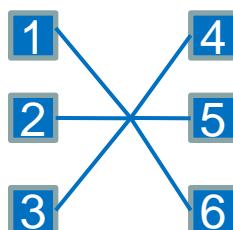
Implícito (líneas punto a punto)

No son necesarias direcciones porque el medio sólo lo comparten el equipo emisor y el receptor.



Maestro-Esclavo (medio compartido)

Existe un equipo maestro que recibe o envía información a los equipos esclavos.
Sólo es necesario indicar una dirección en la trama: la del esclavo aludido



Entre iguales (medio compartido)

Cualquier equipo puede dirigirse a cualquier otro.

El medio es compartido, luego cualquier trama es “vista” por todos los equipos conectados.
Son necesarias por tanto dos direcciones: la del equipo destino y la del equipo origen para que el destinatario pueda responder e identificar al emisor.

Tipos de direcciones:

- unicast: la de un equipo concreto.
- multicast: la de un grupo de equipos dentro de los que comparten ese medio
- broadcast: a todos los equipos que comparten ese medio

No todos los protocolos de enlace asumen todas estas funciones, y algunos permiten su uso de forma selectiva como por ejemplo el protocolo LLC en el que se puede elegir entre:

Servicio orientado a la conexión:

- Implementa **control de flujo y control de errores** con reenvío de tramas erróneas o perdidas (como el protocolo TCP).
- Para ello utiliza 3 fases: establecimiento de la conexión, transmisión y cierre.

Servicio sin conexión:

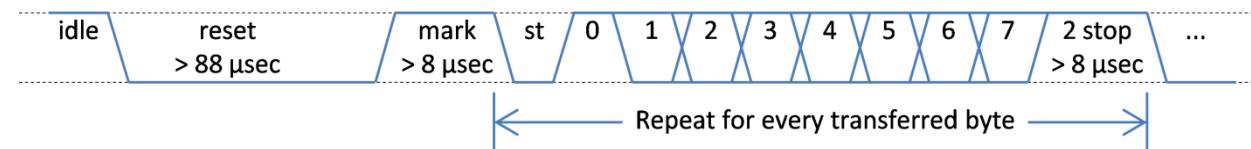
- No hay entrega fiable de tramas.
- Se ahorra los procesos de establecimiento y cierre de conexión: cada trama se envía de forma independiente.

La información de control ha de diferenciarse de la de los datos:

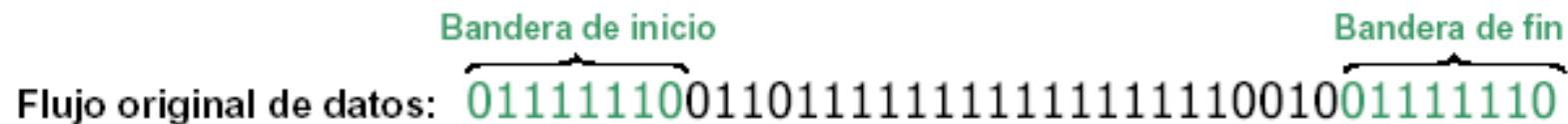
1. Usando cables aparte para señalizar (como en RS232).
2. Mezclándola con los datos (**Comunicación transparente**)
 - a) Colocándola en un lugar específico, por ejemplo al principio de la trama en lo que se denomina cabecera (posicionalmente dependiente).
 - b) Colocándola después de una secuencia de bits especial (posicionalmente independiente)

Delimitación de Inicio y fin de trama:

1. Mediante espacios de silencio sin transmitir seguidos de una secuencia de bits concreta que permita la sincronización (Ej: Ethernet, RS232).



2. (Si no hay espacios) Mediante secuencias únicas que no puede haber en los datos. Si aparecen estas secuencias en los datos se modifican de forma reversible. Ejemplo: HDLC.

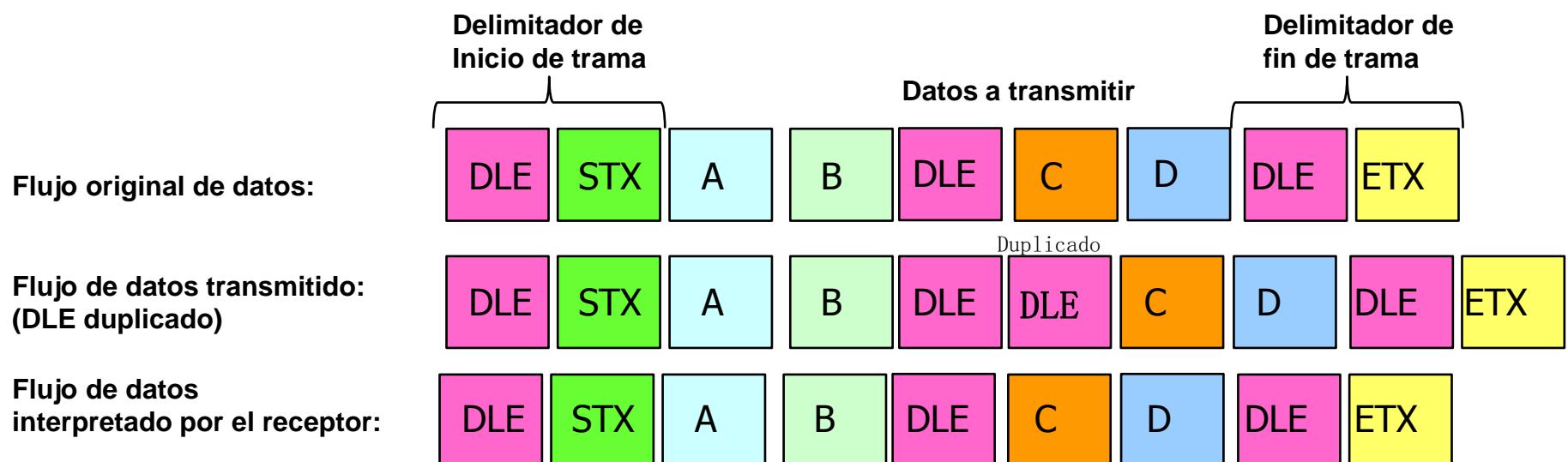


La secuencia 01111110 sólo puede existir al principio y al final de la trama.

Cada vez que encuentre 5 '1' seguidos en los datos añado un '0'

Al recibir, cada vez que encuentre 5 '1' seguidos quito un '0'; pero si encuentro 6 '1' seguidos es que es el final de la trama.

Otro ejemplo para tramas orientadas a carácter:



1. **Paridad:** Cualidad del número de '1' que hay en una trama.

Bit de paridad par

Vale 0 si el numero de unos que contiene el bloque es par (o cero).

Vale 1 si el numero de unos que contiene el bloque es impar.

Bit de paridad impar

Vale 1 si el número de unos que contiene el bloque es par (o cero).

Vale 0 si el número de unos que contiene el bloque es impar.

2. Se utiliza con bajas tasas de errores y pocos datos: por ejemplo en la transmisión de bytes asíncrona (RS232).

Carácter (7 bits)	Paridad (par)
0000000	0
1011010	0
0110100	1
1100111	1

Comprobación de suma de bloque o Checksum:

1. Dado un bloque (trama alineada en tabla), se calcula la paridad por filas y por columnas.

X6	X5	X4	X3	X2	X1	X0	
1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0

Bits de Paridad Transversal (PAR)

(Bit de paridad de la última fila)

Bits de paridad longitudinal (IMPAR)

2. Sólo grupos múltiplos de 4 bits y situados en cuadro pueden dar errores indetectados.

X6	X5	X4	X3	X2	X1	X0	
1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0

Bits de Paridad Transversal (PAR)

(Bit de paridad de la última fila)

Bits de paridad longitudinal (IMPAR)

CRC: Códigos de Redundancia Cíclica (o también **FCS**: “Frame Check Sequence”) Se utilizan cuando los errores vienen en ráfagas.

M(x) la trama a transmitir (de k bits)

G(x) el divisor o generador polinomial (de $n + 1$ bits)

En el emisor:

A la trama a transmitir, $M(x)$, se concatenan n ceros a la derecha. Esto es equivalente a multiplicar $M(x) * 2^n$

A continuación, $M(x) * 2^n$ se divide por el generador $G(x)$

La división se realiza en aritmética módulo 2 (las sumas o restas parciales se sustituyen por operaciones XOR)

Esta división da lugar a un cociente $Q(x)$ y a un resto $R(x)$, es decir:

El resto $R(x)$ representa el código de redundancia cíclica (CRC). El emisor envía la trama concatenada con el CRC o resto, es decir:

Trama enviada: $T(x) = M(x) * 2^n + R(x)$

En el receptor:

A la trama recibida $T(x) = M(x) * 2^n + R(x)$ se la divide por el polinomio generador, es decir:

$$[M(x) * 2^n + R(x)] / G(x)$$

Si el resultado da resto no nulo es que hay un error.

■ Ejemplo

- Supongamos que la trama de datos que vamos a transmitir es:
 - $M = 11100110$
- Utilizamos un generador polinomial G de 5 bits ($n+1=5$)
 - $G(x) = x^4 + x^3 + 1$
 - Visto de otro modo: $G = 11001$
- En primer lugar añadimos $n=4$ ceros al final de la trama
 - $M * 2^4 = 11100110 0000$
- A continuación se divide la trama $M * 2^4$ por el generador polinomial.
 - La división es en módulo a 2 (se sustituyen las sumas parciales por la XOR)
 - El resto de la división o CRC da como resultado $CRC=0110$
- El emisor transmite la trama y el CRC concatenados: $11100110 0110$

División en módulo 2

111001100000		11001
\oplus	11001	10110110
	0010111	
\oplus	00000	
	010111	
\oplus	11001	011100
	011100	
\oplus	11001	001010
	001010	
\oplus	00000	010100
	010100	
\oplus	11001	011010
	011010	
\oplus	11001	000110
	000110	
	00000	
	00110	
		CRC

■ En caso de error

- Cuando se produce un error en la transmisión, $E(x)$, la trama recibida es
 - Trama recibida = $T(x) + E(x)$
- El receptor calcula el resto de la siguiente división: $\frac{T(x)+E(x)}{G(x)}=\frac{T(x)}{G(x)}+\frac{E(x)}{G(x)}$
 - $T(x)/G(x)$ produce un resto igual a cero
 - Por tanto el error será detectado sólo si $E(x)/G(x)$ produce un resto distinto de cero.
- De esta forma se pueden detectar
 - Todos los errores que afecten a un número de bits $\leq n$ (siendo n el nº de bits del CRC)
 - Todos los errores que no sean divisibles por $G(X)$

■ Polinomios generadores estándar

$$\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

$$\begin{aligned}\text{CRC-32} &= x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 \\ &\quad + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1\end{aligned}$$

AAD: Transmisión sin errores:

Tiempo total 10 minutos.
En una hoja ponéis vuestro nombre.

Los alumnos **impares** se inventarán un mensaje de 9 bits, lo codificarán usando el polinomio 11001 y lo enviarán al compañero situado **3 puestos** a su derecha. (6')

Los alumnos **pares** se inventarán un mensaje de 4x4 bits y aplicarán la técnica de checksum (suma de bloque) usando paridad par en todo y lo enviarán al compañero situado **3 puestos** a su derecha. (6')

Con lo recibido, cada uno debe decodificarlo y comprobar si hay o no errores. (4').

Añadid al final de la hoja el nombre de quien corrige

Control de flujo: Servicio destinado a evitar el desbordamiento del receptor.

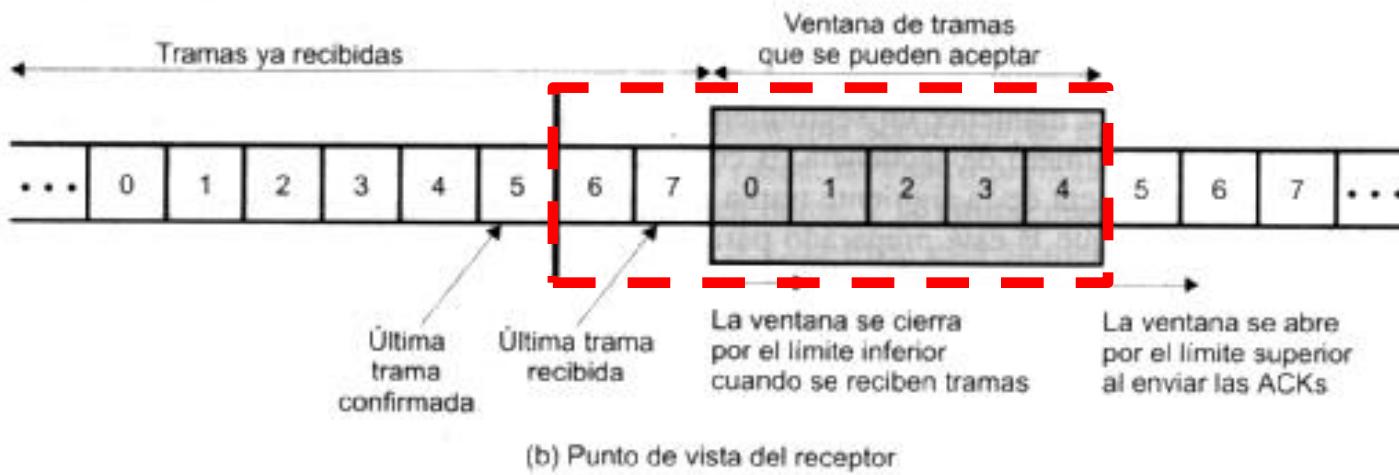
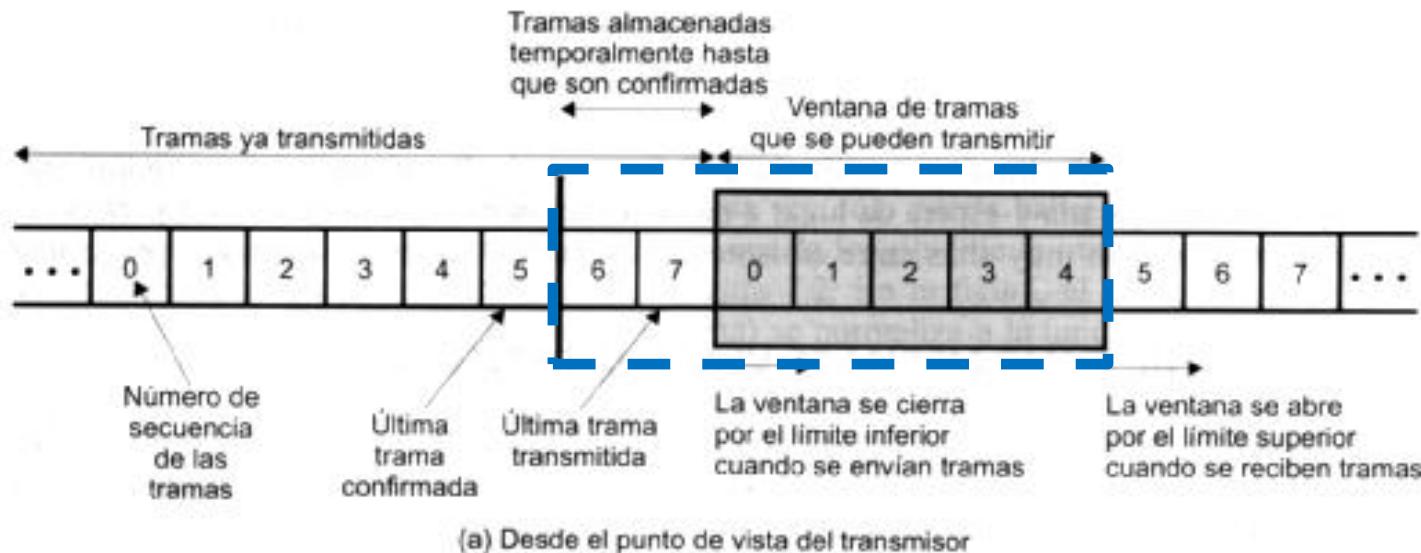
Técnicas:

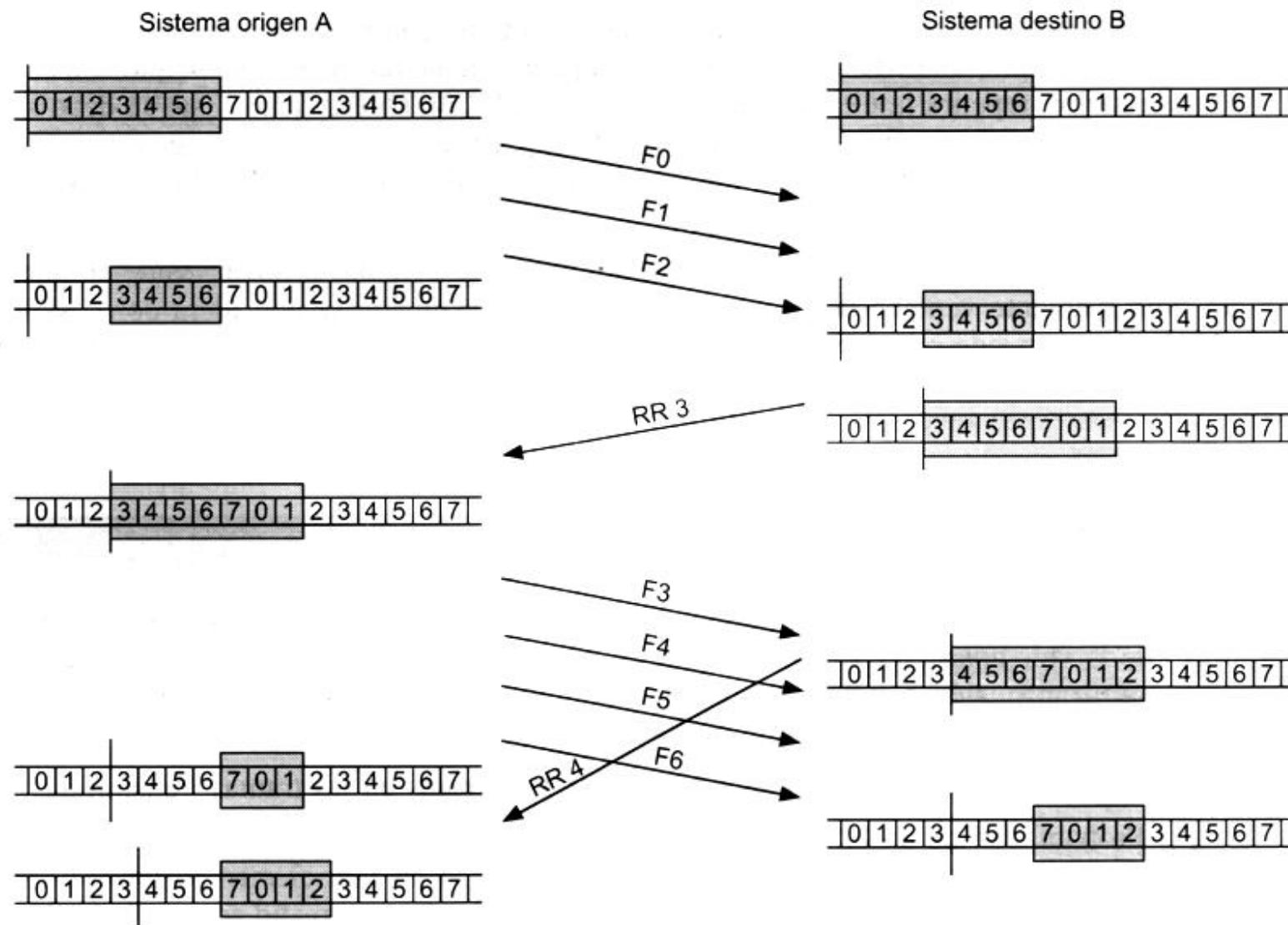
1. Parada y Espera: Se envía una trama y no se envía la siguiente hasta que no llegue la confirmación del receptor.

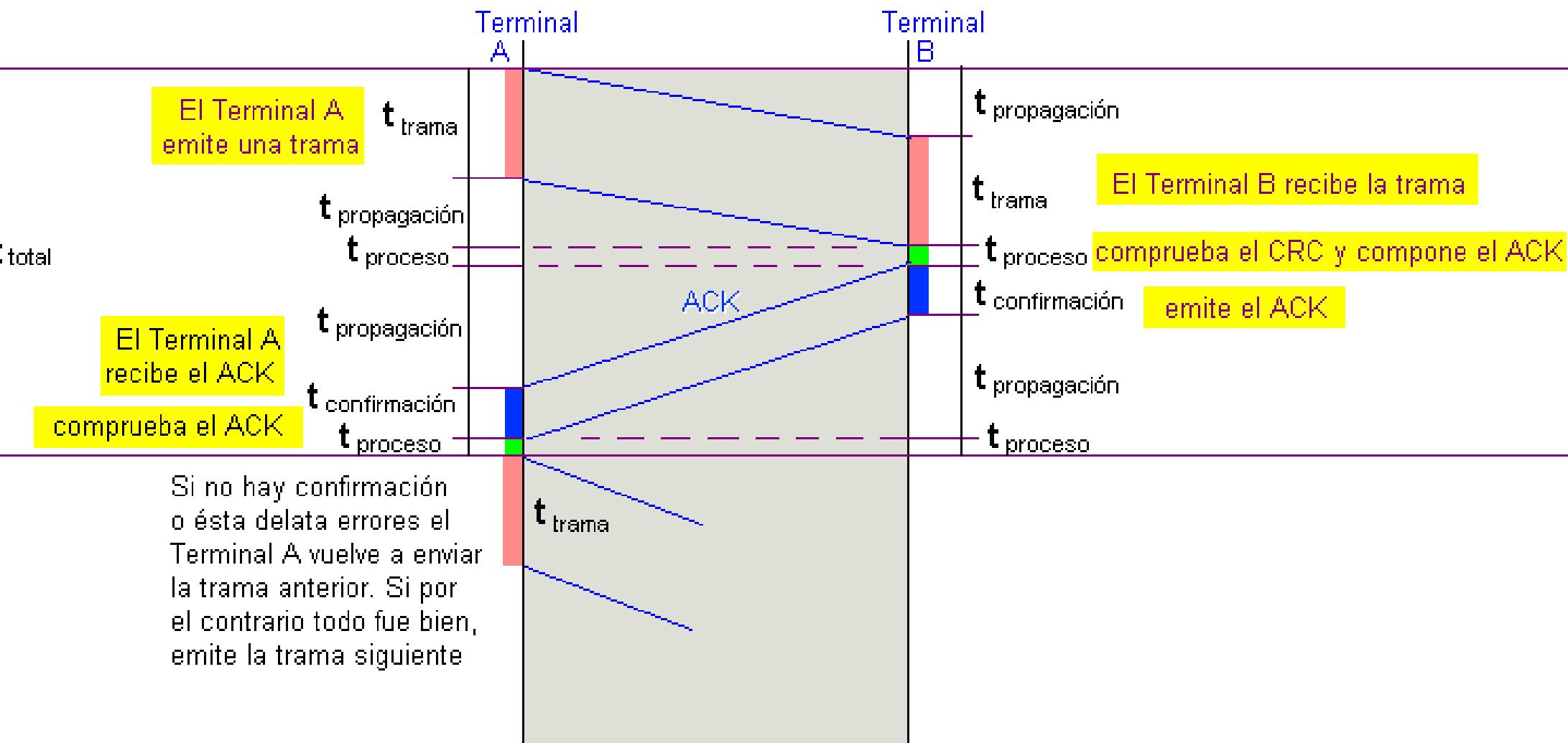
2. Ventana deslizante:

- El almacenamiento del receptor (buffer receptor) tiene capacidad para varias tramas a lo que se denomina ventana.
- Como mucho se pueden enviar el número de tramas de la ventana sin esperar confirmación.
- Conforme las tramas se van confirmando queda espacio para que nuevas tramas se agreguen al almacenamiento (buffer emisor) de envío, a lo que se denomina “deslizar la ventana”.

¿En qué caso el método se puede denominar de las **dos formas**?







La eficiencia de este sistema sería la proporción entre el tiempo empleado en transmitir información útil (Trama) y el tiempo total del proceso (Total).

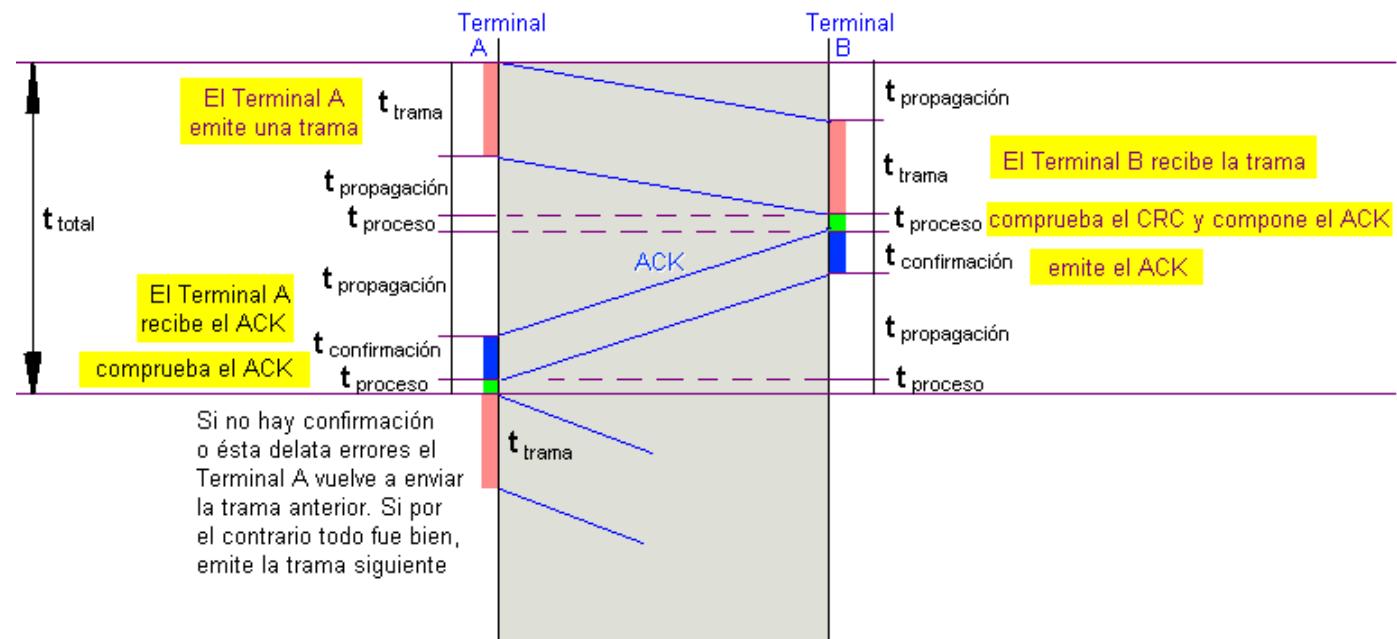
$$\text{Eficiencia} = U = \frac{T_{trama}}{T_{total}}$$

$$T_{total} = T_{prop} + T_{trama} + T_{proc} + T_{prop} + T_{conf} + T_{proc} \approx 2 T_{prop} + T_{trama}$$

La utilización del enlace podría calcularse como:

$$U = \frac{n \cdot T_{trama}}{n(2T_{prop} + T_{trama})} = \frac{T_{trama}}{2T_{prop} + T_{trama}}$$

$$U = \frac{1}{1 + 2a}$$



Siendo el parámetro "a": $a = \frac{R \cdot d}{v \cdot L}$,

Donde R es la velocidad de transmisión, d la distancia, v la velocidad de propagación (en el vacío sería la velocidad de la luz) y L la long. de trama.

El tener varias tramas en tránsito mejora la eficiencia del enlace.

Eficiencia control de flujo Ventana deslizante

La eficiencia de este sistema sería la proporción entre el tiempo empleado en transmitir información útil (W.Trama) y el tiempo total del proceso (Total).

Depende del tamaño de la ventana.

$$\begin{cases} W \geq 2a+1 & \text{Utilización: } 100\% \\ W < 2a+1 & \text{Utilización: } U = \frac{W}{2a+1} \end{cases}$$

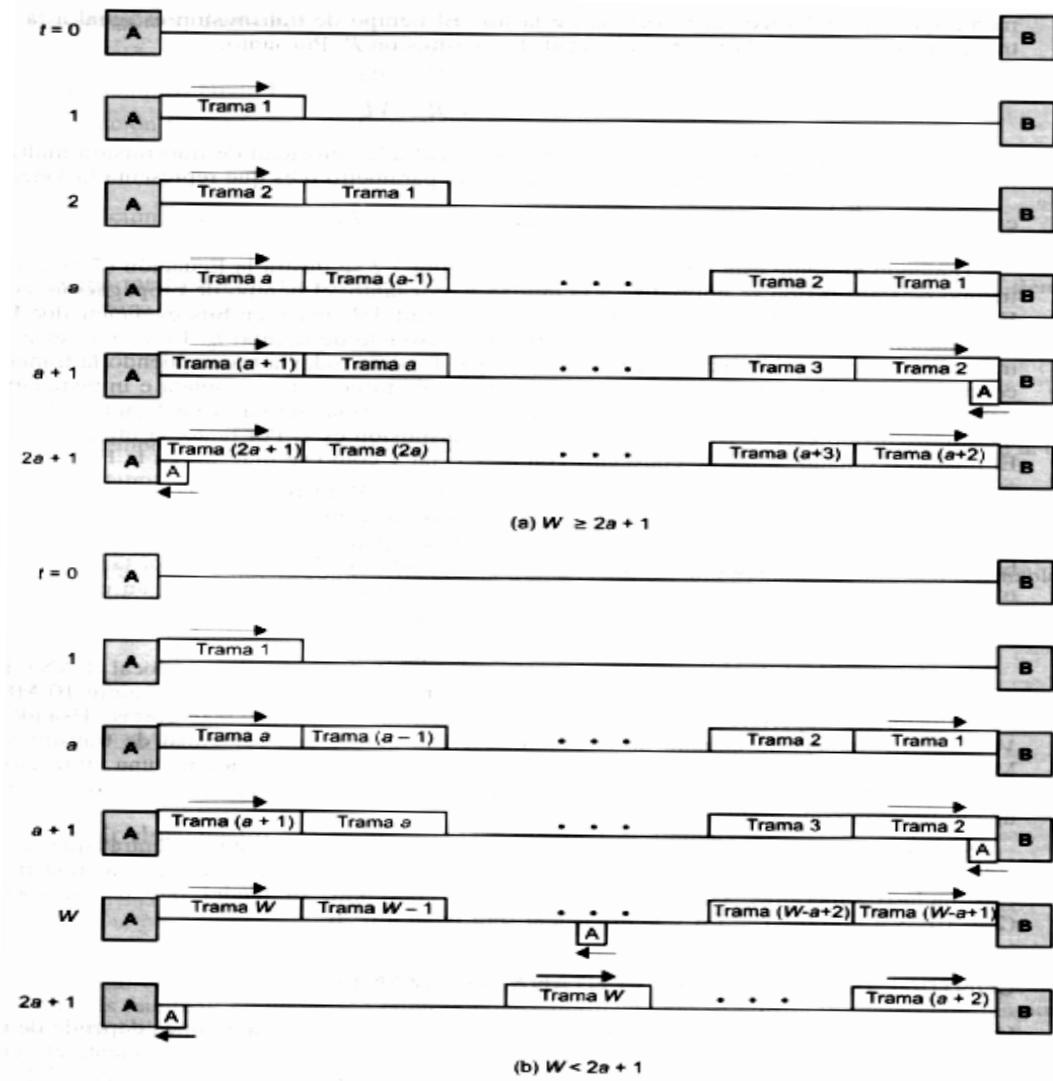


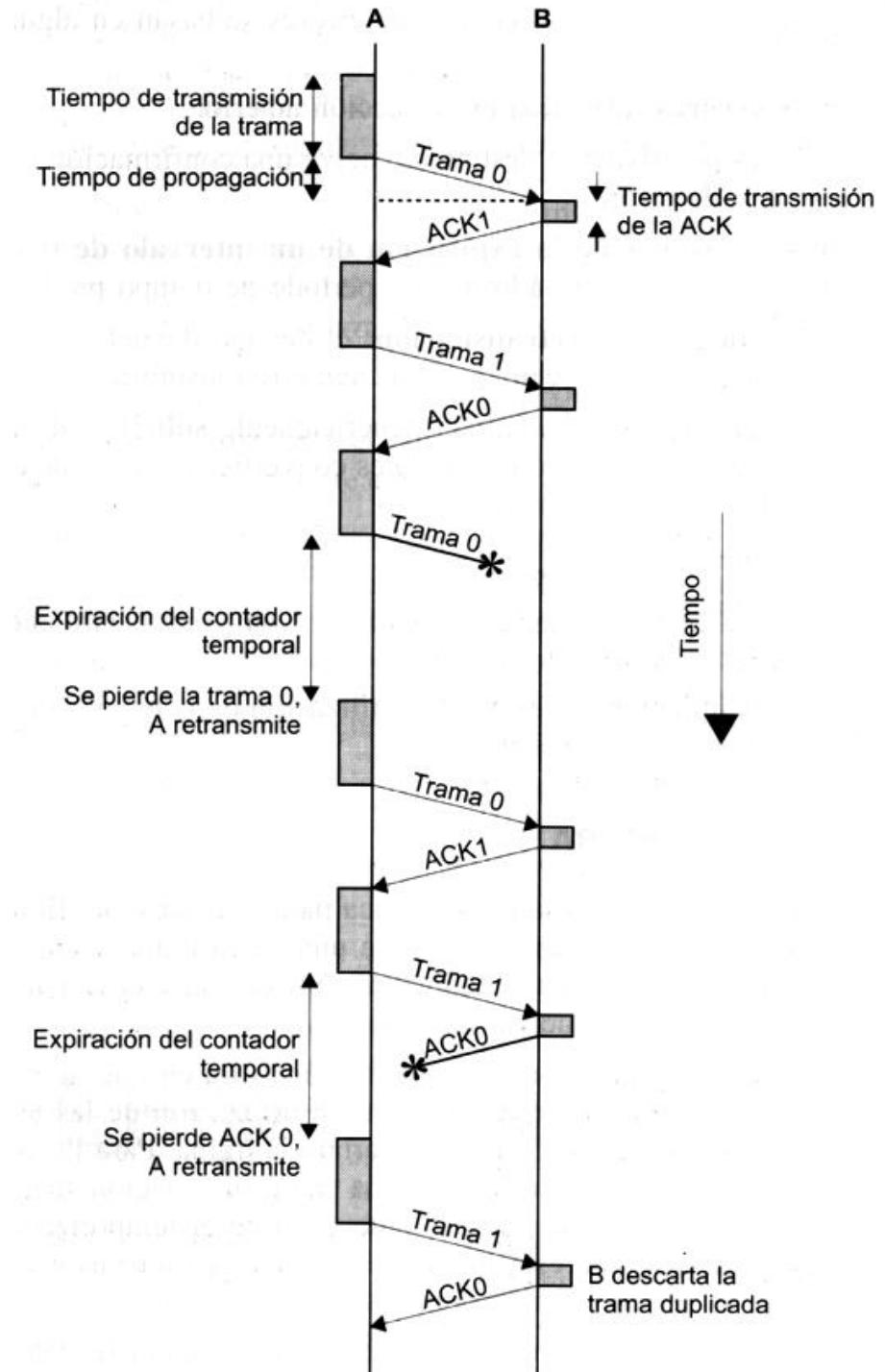
Figura 7.15. Temporización de un protocolo de ventana deslizante.

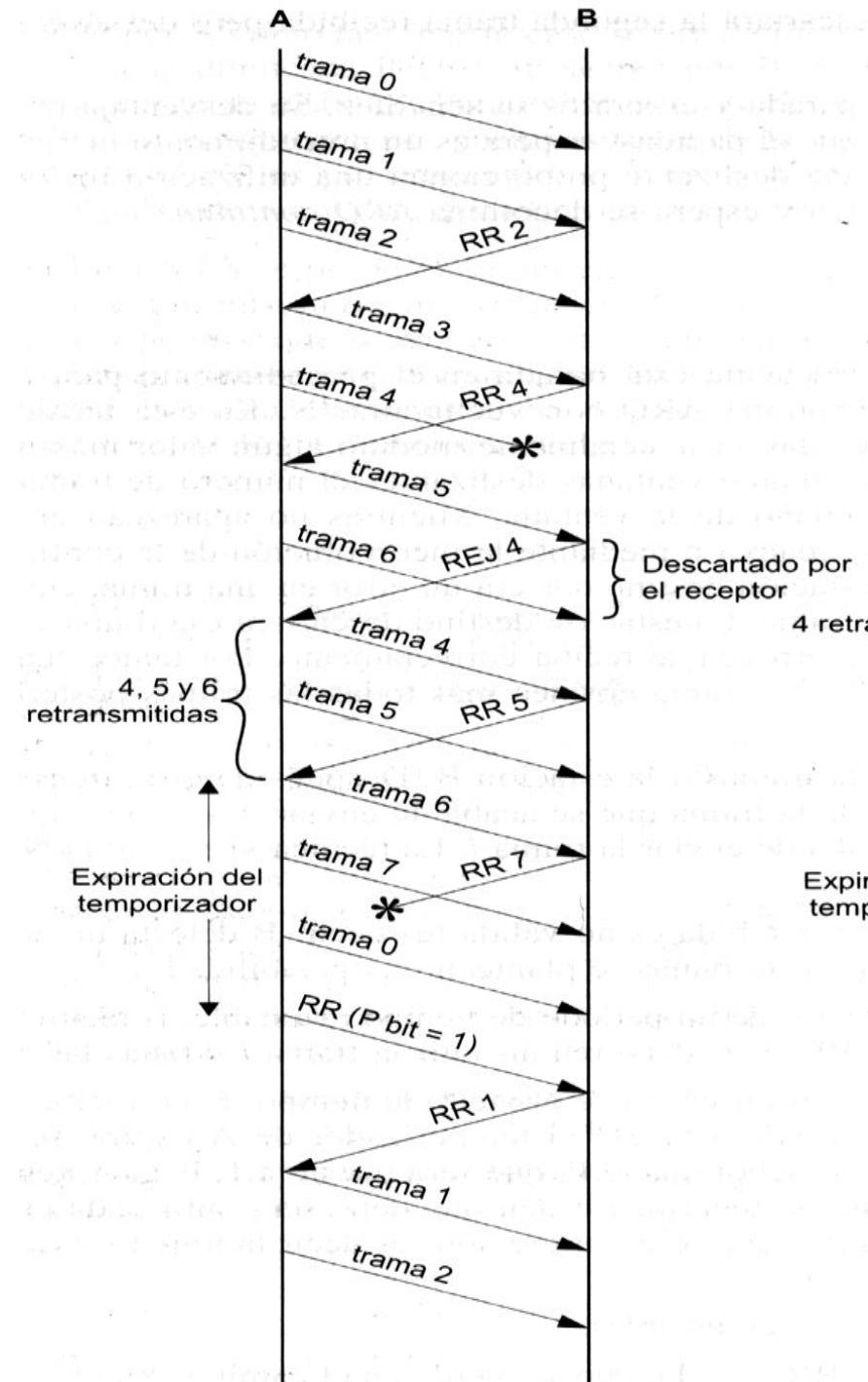
Las técnicas más usuales de control (**ARQ** – Automatic Repeat Request – Solicitud de repetición automática) se basan en:

- Detección de errores
- Confirmaciones positivas
- Confirmación negativa y retransmisión después de la expiración de un intervalo

Variantes del ARQ normalizadas:

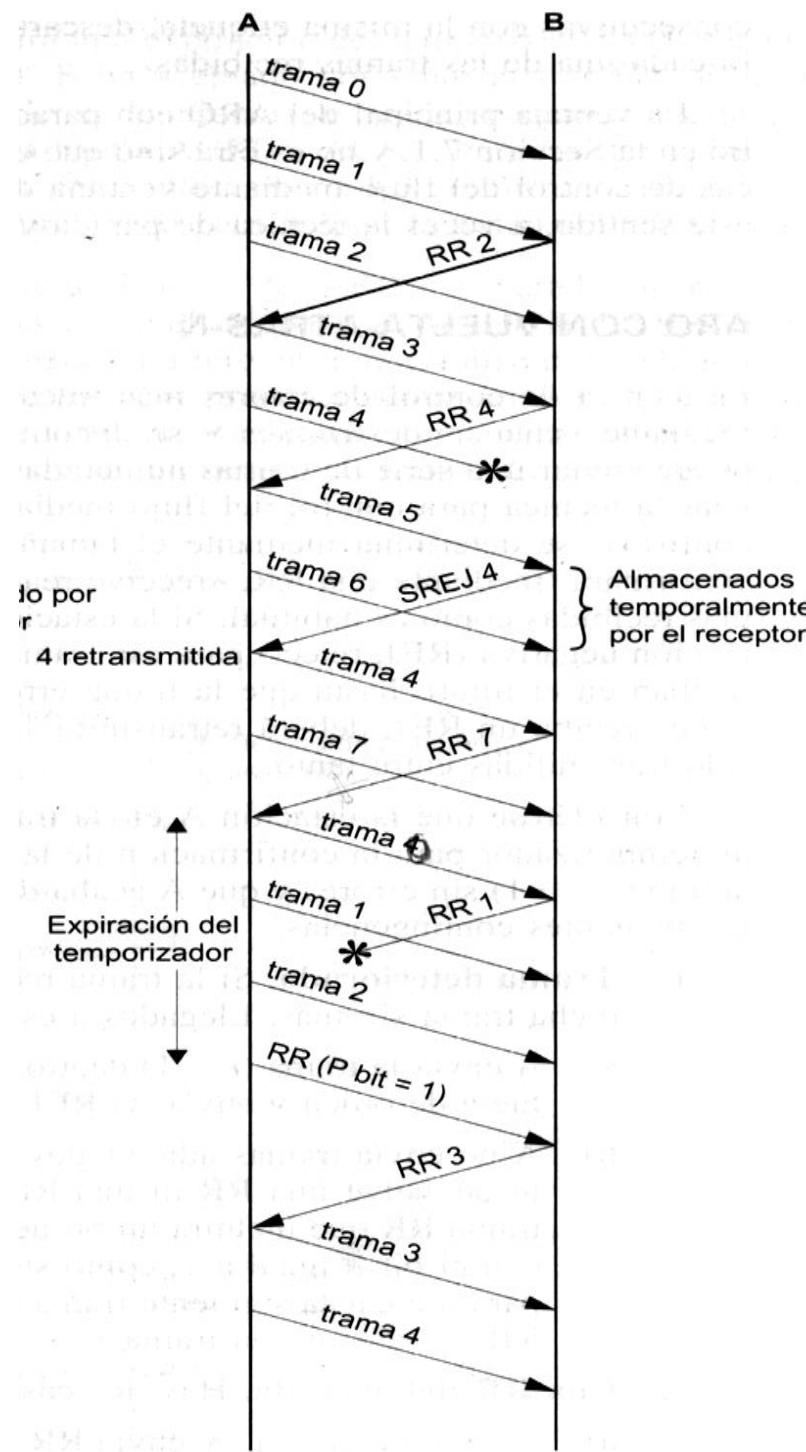
- ARQ con **parada y espera**
- ARQ con **retroceso N**
- ARQ con **repetición selectiva**





Control de flujo y errores: ARQ con repetición selectiva

7/40



Repetición selectiva aprovecha de forma más eficiente el enlace

En repetición selectiva sólo se retransmiten las tramas erróneas

En vuelta atrás se retransmite toda la secuencia de tramas desde la última trama recibida correctamente y en secuencia

Repetición selectiva necesita mayor capacidad de almacenamiento en la lista de recepción

En el método de repetición selectiva, en caso de un error en una trama de datos

La capa de enlace del receptor debe almacenar todas las tramas, hasta que la trama errónea es retransmitida

Cuando el receptor tiene la secuencia completa, ésta se ordena y se pasa a la capa superior

En el método de retroceso-N, en caso de un error en una trama de datos

El receptor descarta todas las tramas recibidas que no estén en secuencia

No es necesario almacenar estas tramas

Cuando llega una trama en secuencia, ésta se pasa directamente a la capa superior

El protocolo HDLC

Características generales de HDLC

HDLC

Control de enlace de datos de alto nivel (High-level Data Link Control)

Ofrece servicios orientados a conexión

Utiliza transmisión orientada a bit

Modos de funcionamiento

NRM: modo normal de respuesta (*Normal Response Mode*)

Modelo de comunicación **half-duplex maestro-esclavo**

Las estaciones esclavas sólo pueden transmitir cuando la estación maestra lo ordena específicamente

ABM: Modo asíncrono balanceado (*Asynchronous Balanced Mode*)

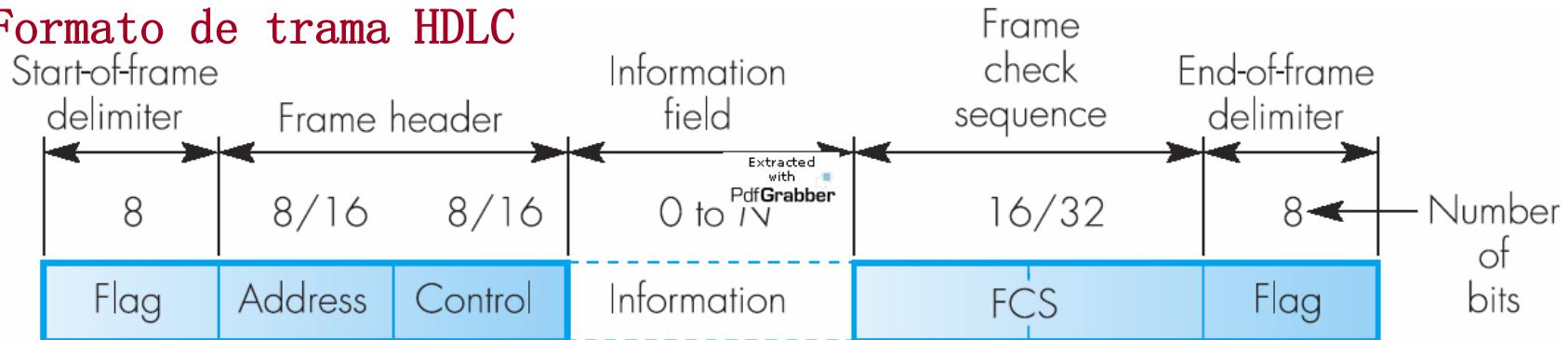
Modelo de comunicación **full-duplex computador-computador**

Todas las estaciones tienen la misma categoría

Cualquier estación puede transmitir en cualquier momento a través del enlace

El protocolo HDLC

Formato de trama HDLC



Campos

- Banderas de inicio y fin (*flags*)
 - Patrón de bits = 01111110
 - Utiliza inserción y eliminación de bits cero para garantizar que el patrón no aparece dentro de la secuencia de bits
- Campo FCS: secuencia de comprobación de trama
 - CRC de 16 bits que se calcula usando el generador polinómico: $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
- Campo dirección (Address)
 - En modo NRM: especifica la dirección del esclavo
 - En modo ABM: no se usa
- Campo Control
 - Especifica el tipo de trama e información adicional (número de secuencia, número de confirmación, bit P/F, etc.)
 - Se detalla a continuación

El protocolo HDLC

Tipos de tramas HDLC (1)

■ Valor del campo CONTROL



$N(S) \rightarrow$ Número de secuencia de la trama

N(R) → Número de confirmación

P/F → Bit Pregunta/Final

$S \rightarrow$ Tipo de trama supervisora

N(R) → Número de confirmación

M → Tipo de trama sin numerar

■ Valor del campo CONTROL en tramas extendidas



El protocolo HDLC

Tipos de tramas HDLC

Tramas de información (tipo I)

Tramas que transportan datos de la capa superior

Números de secuencia, N(S)

Se utiliza para control de errores y flujo

Pueden ser de 3 bits (conexión normal) o de 7 bits (conexión extendida)

Nº de secuencia de 3 bits, 8 identificadores distintos (valores de 0 a 7)

Nº de secuencia de 7 bits, 128 identificadores distintos (valores de 0 a 127)

Números de confirmación, N(R)

Se utiliza para enviar confirmaciones superpuestas (técnica de *piggy-backing*)

Puesto que la conexión es de tipo full-duplex, se puede adjuntar la confirmación a los datos que viajan en sentido contrario (en caso de existir)

En caso de no existir tráfico en sentido contrario, las confirmaciones deben enviarse en tramas de confirmación explícitas

El número de confirmación contiene el identificador de la siguiente trama que se espera recibir

Bit P/F (Pregunta/Final)

Se utiliza sobre todo en modo NRM: el maestro pone el bit P/F a 1 para indicar al esclavo que debe confirmar la trama. Es una orden.

También se usa cuando no se recibe la confirmación de una trama y expira el temporizador: Sondeo

El protocolo HDLC

Tipos de tramas HDLC

Tramas supervisoras

Tramas de tipo RR (*Receptor Ready, receptor preparado*)

Es una trama de confirmación (similar a ACK)

Se utiliza para confirmar tramas de datos, en caso de que existir tráfico en sentido contrario

El número de confirmación, N(R), contiene el identificador de la siguiente trama que se espera recibir

Tramas de tipo REJ (*Reject , rechazo*)

Es una trama de confirmación negativa (similar a NAK) para implementar el mecanismo [ARQ continuo con retroceso-N](#)

Cuando el receptor recibe una trama errónea, devuelve una trama REJ, indicando en el nº de confirmación, N(R), el identificador de la siguiente trama que espera recibir.

El receptor descartará todas las tramas recibidas a continuación, hasta recibir la trama indicada en el campo N(R)

El emisor debe retransmitir todas las tramas, a partir la trama indicada en el campo N(R)

El protocolo HDLC

Tipos de tramas HDLC

Tramas supervisoras (cont)

Tramas de tipo SREJ (*Selective Reject, rechazo selectivo*)

Es una trama de confirmación negativa (similar a NAK) para implementar el mecanismo ARQ continuo con repetición selectiva

Cuando el receptor recibe una trama de información errónea, devuelve una trama SREJ, indicando en el nº de confirmación, N(R), el identificador de la trama que debe retransmitir el emisor

El emisor retransmite únicamente la trama especificada en el campo N(R)

Tramas de tipo RNR (*Receptor Not Ready , receptor no preparado*)

Lo utiliza el receptor para indicar al emisor que suspenda el envío de tramas

Esta trama confirma todas las tramas de información anteriores a la trama indicada en el número de confirmación, N(R), pero sin incluir ésta

Al recibir una trama RNR, el emisor debe detener inmediatamente el envío de nuevas tramas de información

Cuando el receptor está en condiciones de recibir nuevas tramas de información, debe enviar una trama supervisora de tipo RR.

El protocolo HDLC

Tipos de tramas HDLC

Tramas sin numerar

Nombre	Significado	Descripción
SNRM	Set NRM	Establecimiento de conexión de enlace en modo NRM (números de secuencia de 3 bits)
SABM	Set ABM	Establecimiento de conexión de enlace en modo ABM (números de secuencia de 3 bits)
SNRME	Set NRM Extended	Establecimiento de conexión de enlace en modo NRM extendido (números de secuencia de 7 bits)
SABME	Set ABM Extended	Establecimiento de conexión de enlace en modo ABM extendido (números de secuencia de 7 bits)
DISC	Disconnect	Solicitud de desconexión
UA	Unnumbered ACK	Confirmación de tramas sin numerar
UI	Unnumbered Information	Información sin numerar
FRMR	Frame Reject	Rechazo de trama por tener un formato inaceptable
RSET	Reset	Reiniciar conexión (reinicia los números de secuencia y confirmación)

El protocolo HDLC

Funcionamiento de HDLC

