

Control del Enlace de Datos

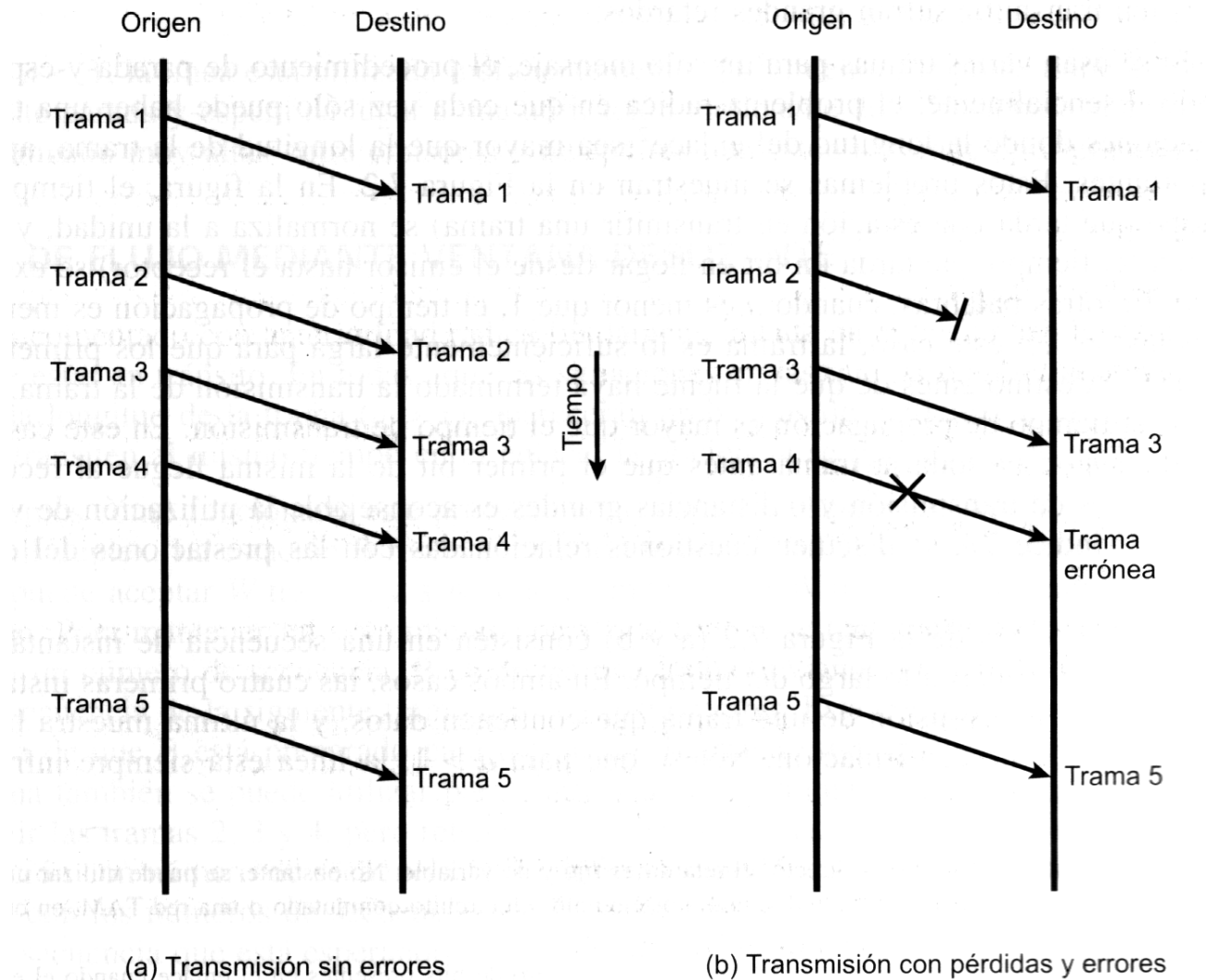


Es una capa lógica adicional sobre el nivel físico para controlar y gestionar el intercambio de información.

Objetivos:

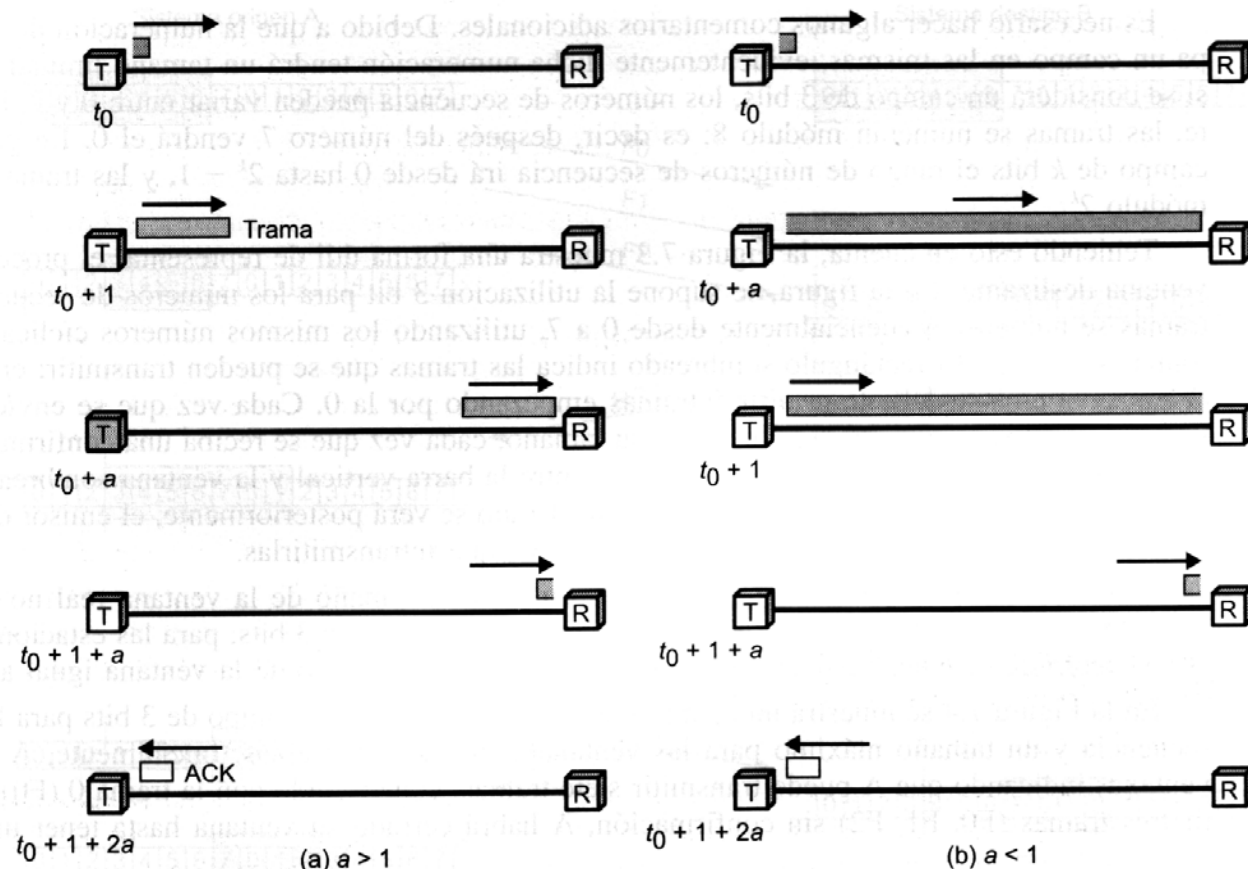
- Sincronización de la trama.
- Control del flujo.
- Direcccionamiento
- Datos y control sobre el mismo enlace.
- Gestión del enlace.

Control del Flujo

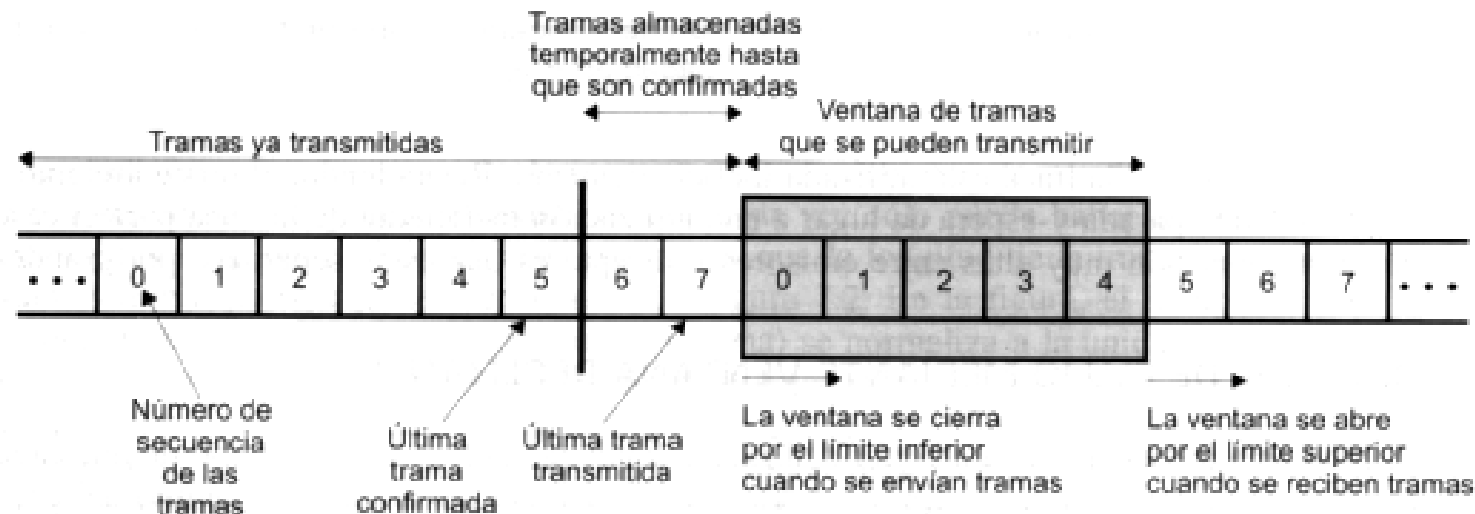


Control del flujo mediante parada y espera

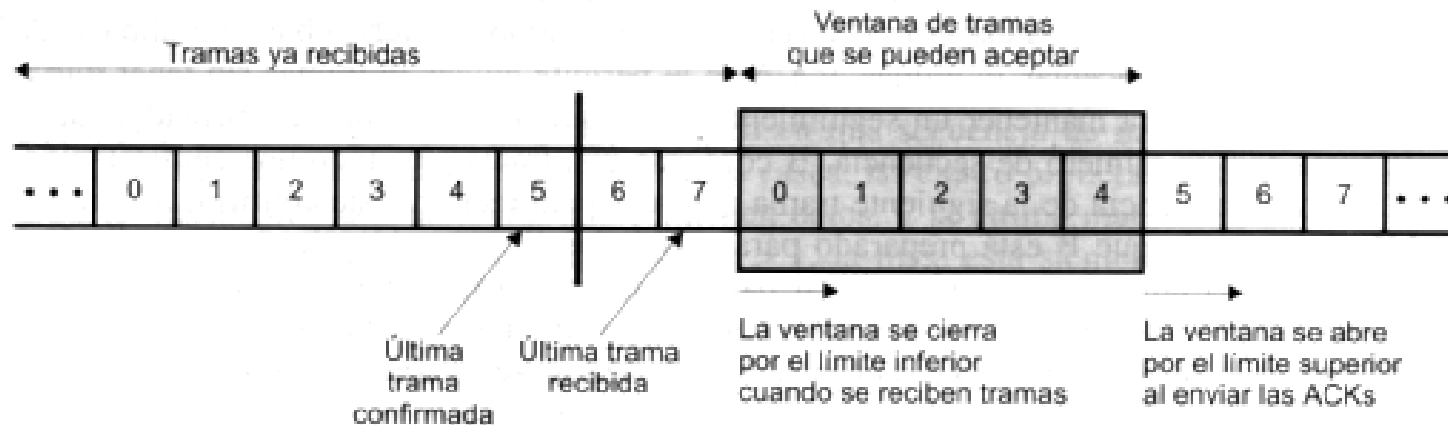
Utilización del enlace mediante parada y espera (tiempo de transmisión=1;
tiempo de propagación= a).



Control de flujo mediante ventana deslizante

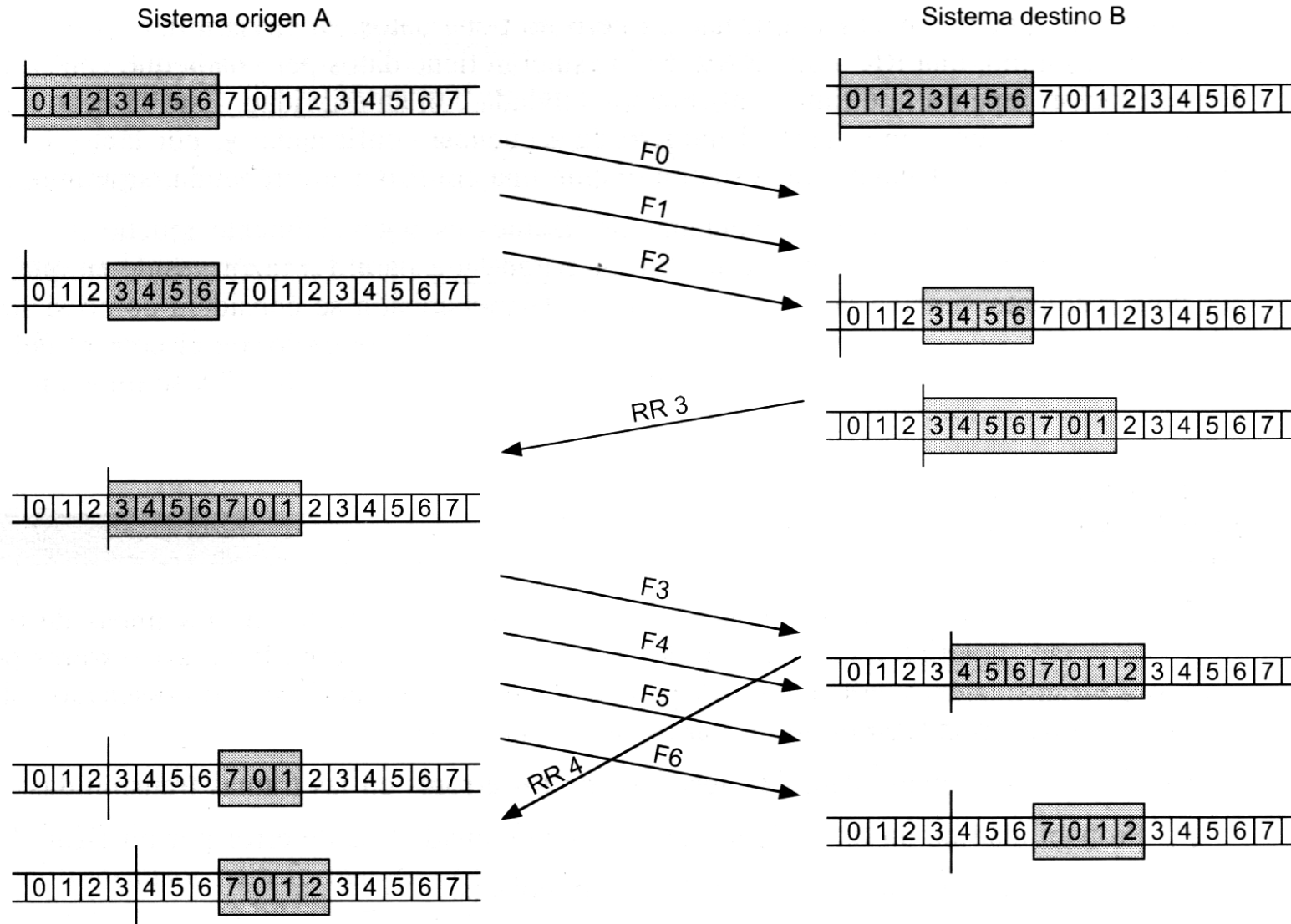


(a) Desde el punto de vista del transmisor

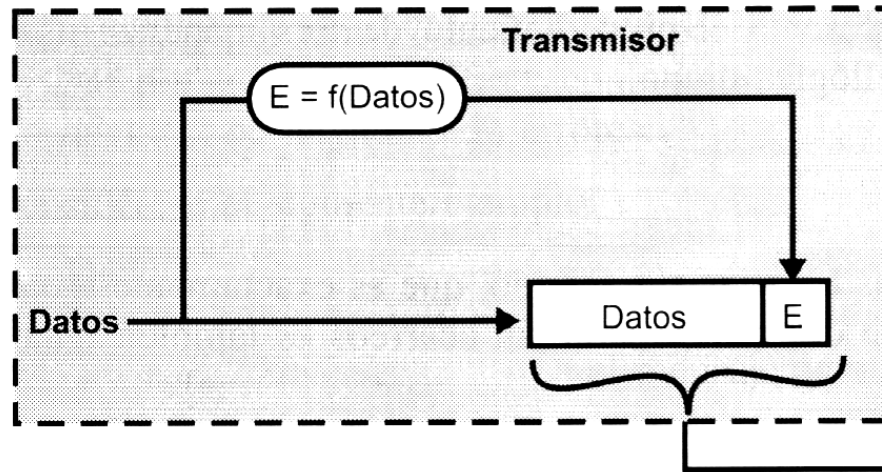


(b) Punto de vista del receptor

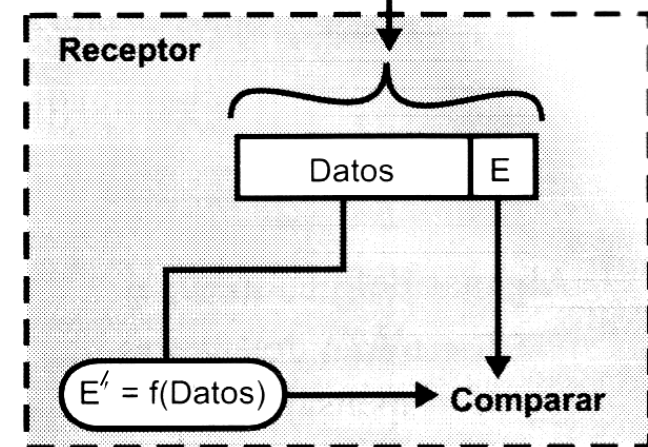
Control del flujo mediante ventana deslizante



Detección de errores (I)



E, E' = códigos de detección de errores
 f = función código de detección de errores



Detección de Errores (II)

Comprobación de paridad

Comprobación de redundancia cíclica (CRC “cyclic redundancy check”):

Dado un bloque o mensaje M de k bits, el transmisor genera una secuencia F de n bits, denominada secuencia de comprobación de la trama (FCS: Frame Check Sequence), de tal manera que la trama resultante, con n + k bits, sea divisible por algún número, y si no hay resto en la división, se supone que no ha habido errores.

La trama es: $T = 2^n M + F$

El objetivo es que la división T/P dé resto cero.

Algunos polinomios de cálculo de CRC:

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

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

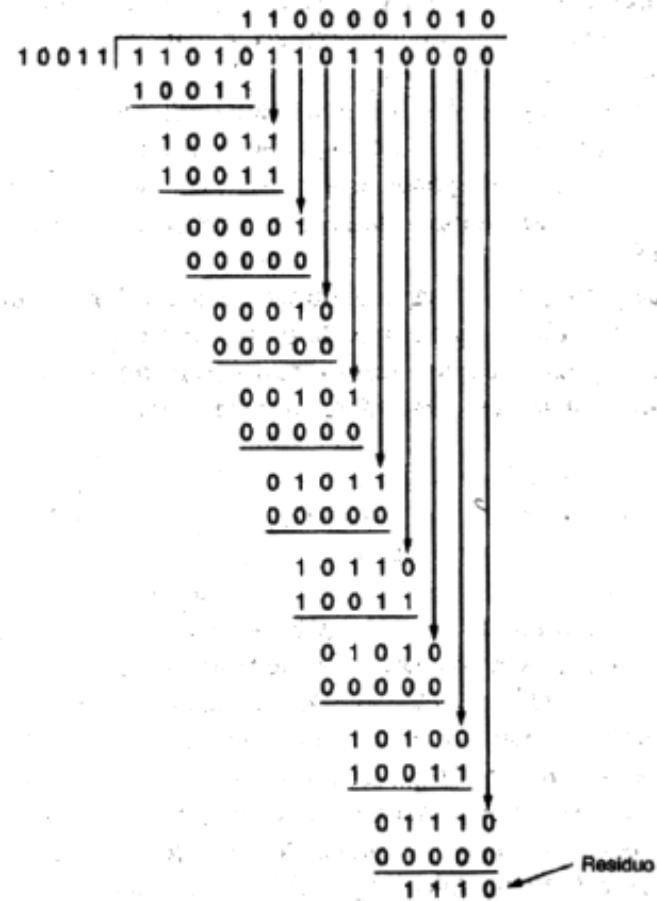
- $$\begin{array}{r}
 \begin{array}{l}
 1101010110 \leftarrow Q \\
 P \rightarrow 110101 \quad / \quad 10100011101000000 \leftarrow 2^n M \\
 \underline{110101} \\
 111011 \\
 \underline{110101} \\
 111010 \\
 \underline{110101} \\
 111110 \\
 \underline{110101} \\
 101100 \\
 \underline{110101} \\
 110010 \\
 \underline{110101} \\
 011110 \leftarrow R
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 1101010110 \leftarrow Q \\
 P \rightarrow 110101 \quad / \quad 1010001110101110 \leftarrow 2^n M \\
 \underline{110101} \\
 111011 \\
 \underline{110101} \\
 111010 \\
 \underline{110101} \\
 111110 \\
 \underline{110101} \\
 101111 \\
 \underline{110101} \\
 110101 \\
 \underline{110101} \\
 0 \leftarrow R
 \end{array}
 \end{array}$$

Cálculo de CRC (II)

Marco : 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1

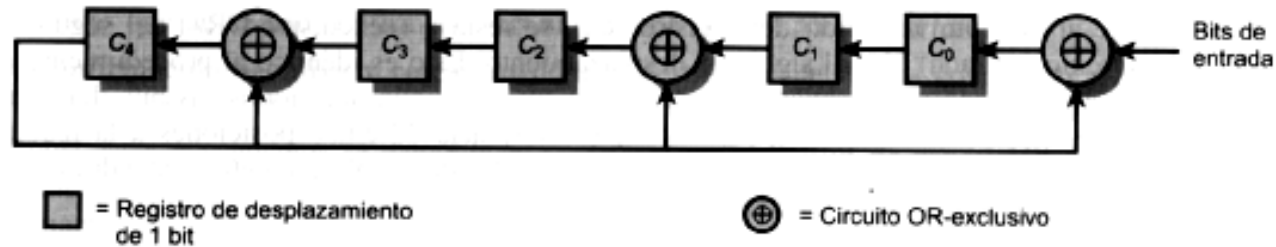
Generador: 1 0 0 1 1

Mensaje tras anexas 4 bits cero: 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0



Marco transmitido: 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0

CRC (III)



(a) Implementación mediante registro de desplazamiento

| | C ₄ | C ₃ | C ₂ | C ₁ | C ₀ | C ₄ ⊕ C ₃ | C ₄ ⊕ C ₁ | C ₄ ⊕ entrada | entrada | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------|----------------------|
| Inicialización | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | Mensaje a enviar |
| Paso1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Paso2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| Paso3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Paso4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| Paso5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| Paso6 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| Paso7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Paso8 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| Paso9 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Paso10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | Cinco ceros añadidos |
| Paso11 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| Paso12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| Paso13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| Paso14 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| Paso15 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | — | |

(b) Ejemplo con entrada 1010001101

Figura 7.6. Circuito con registros de desplazamiento para dividir el polinomio $X^5 + X^4 + X^2 + 1$.

CRC (IV)

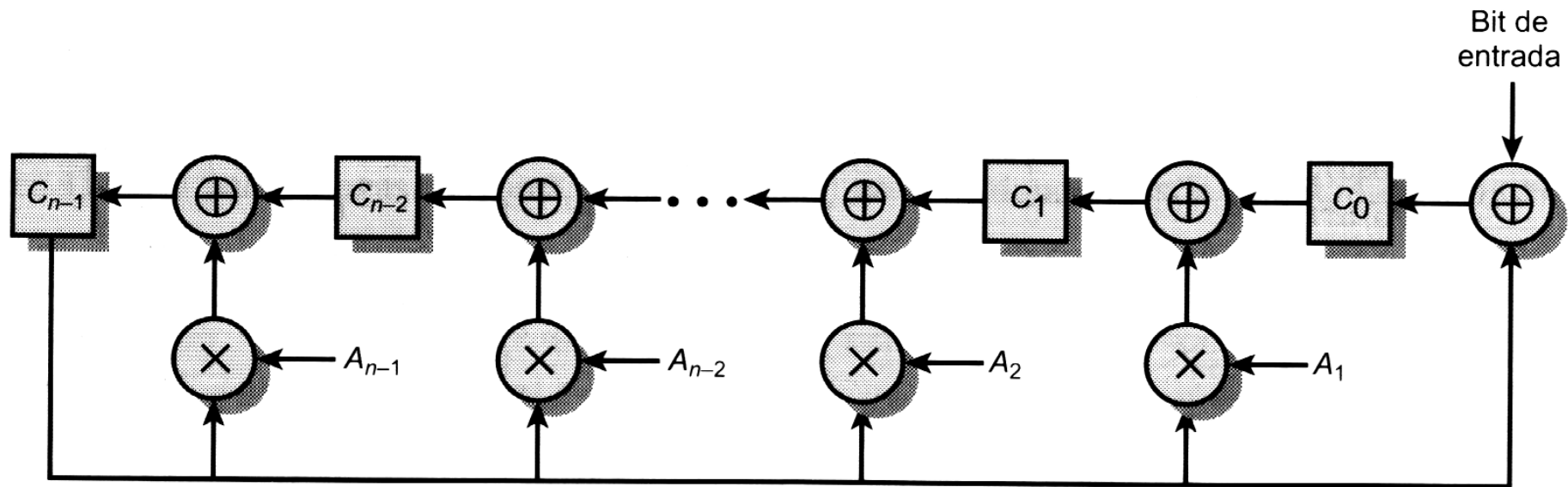


Figura 7.7. Arquitectura de un CRC genérico para implementar la división por $1 + A_1X + A_2X^2 + \dots + A_{n-1}X^{n-1} + X^n$.

Control de errores (I)

Tipos de errores:

- Tramas perdidas
- Tramas dañadas

Técnicas más usuales de control (ARQ – Automatic repeat request – Solicitud de repetición automática):

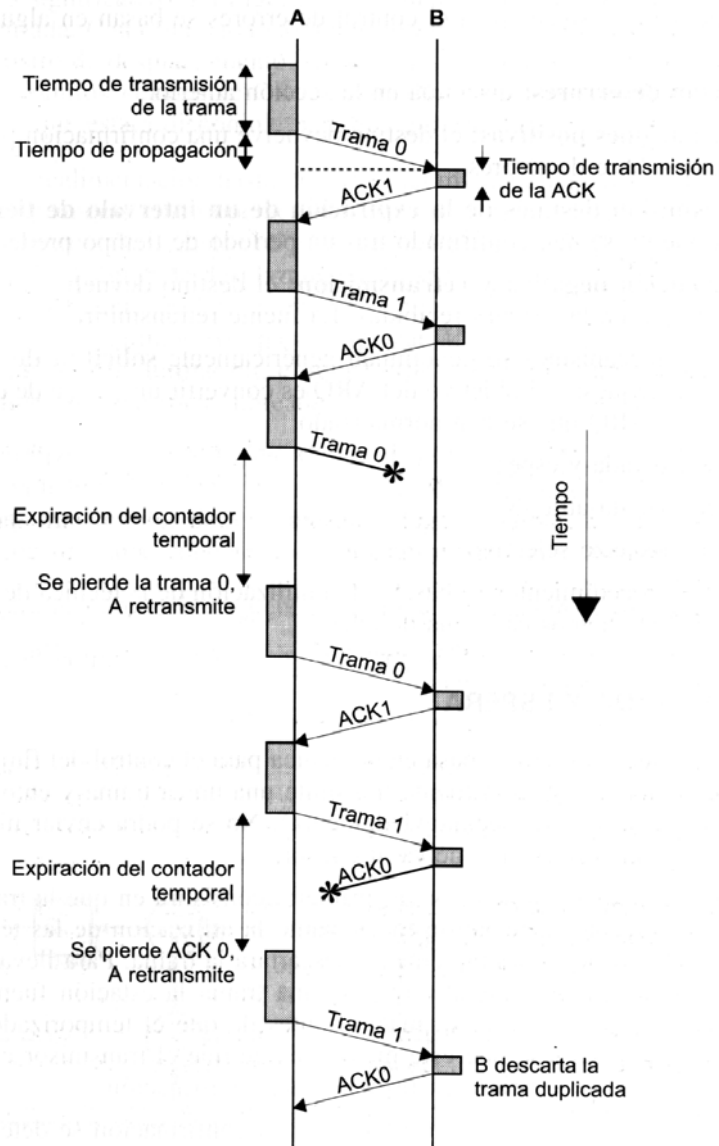
- Detección de errores
- Confirmaciones positivas
- Retransmisión después de la expiración de un intervalo
- Confirmación negativa y retransmisión

Variantes del ARQ normalizadas:

- ARQ con parada y espera
- ARQ con adelante atrás N
- ARQ con rechazo selectivo

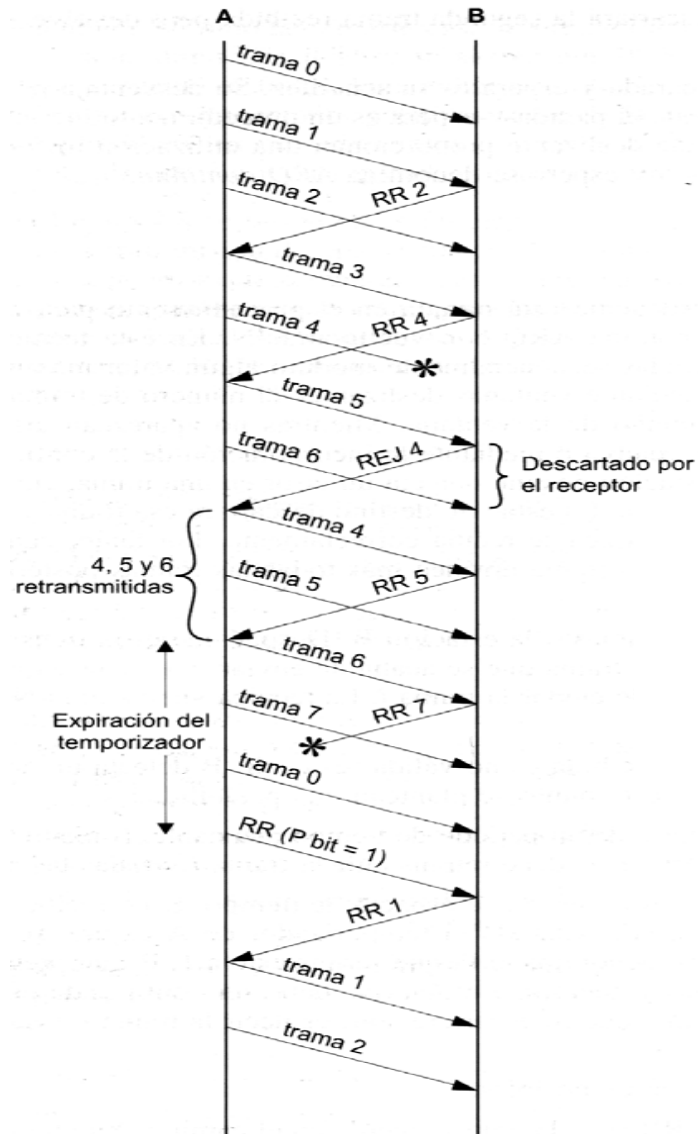
Control de errores (II)

ARQ con parada y espera



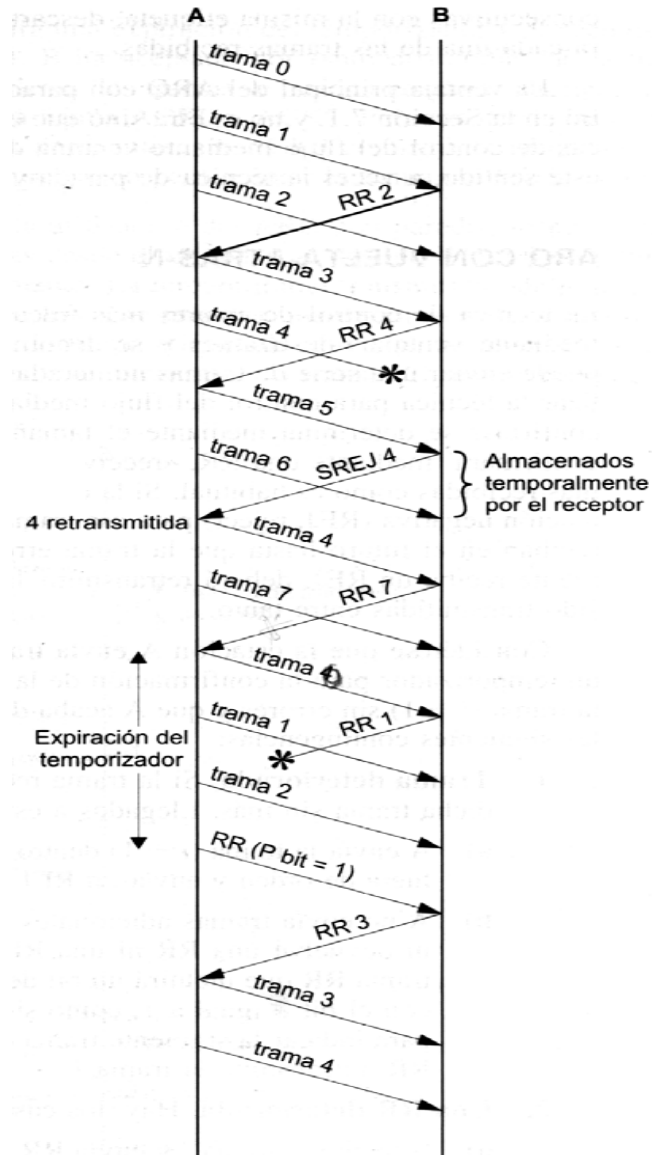
Control de errores (III)

ARQ con adelante-atrás-N



Control de errores (IV)

ARQ con rechazo selectivo



Control del Enlace de datos a alto nivel (HDLC High-Level Data Link Control) I

Los tipos de estaciones que define son:

- Estación primaria
- Estación secundaria
- Estación combinada

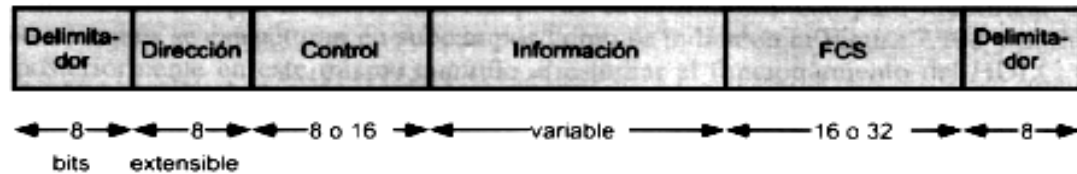
El enlace se puede configurar como:

- Configuración no balanceada
- Configuración balanceada

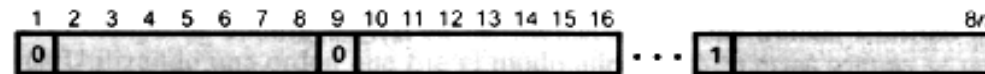
Los modos de transferencia de datos son:

- Modo de respuesta manual (NRM, Normal Response Mode)
- Modo balanceado asíncrono (ABM, Asynchronous Balanced Mode)
- Modo de respuesta asíncrono (ARM, Asynchronous Response Mode)

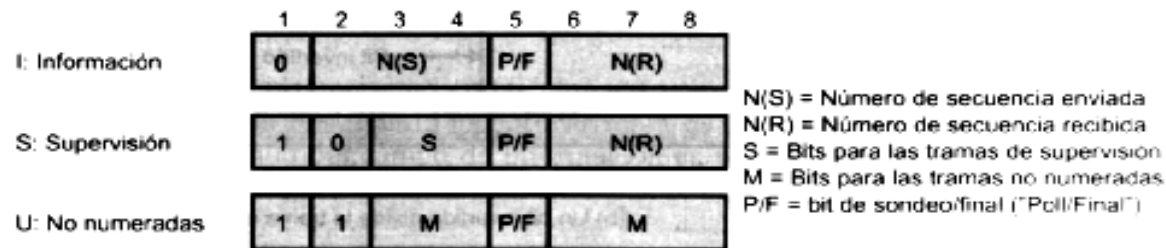
Control del Enlace de datos a alto nivel (HDLC High-Level Data Link Control) II



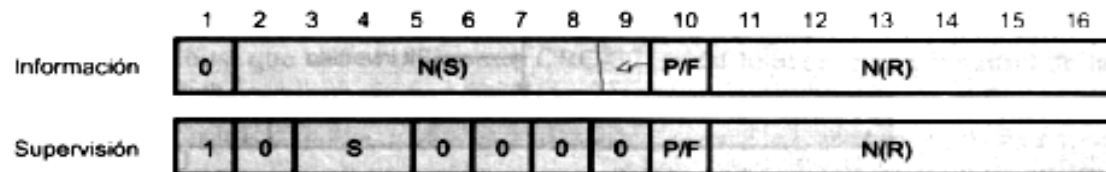
(a) Formato de la trama



(b) Campo de dirección extendida



(c) Formato del campo de control de 8 bits



(d) Formato del campo de control de 16 bits

HDLC (I)

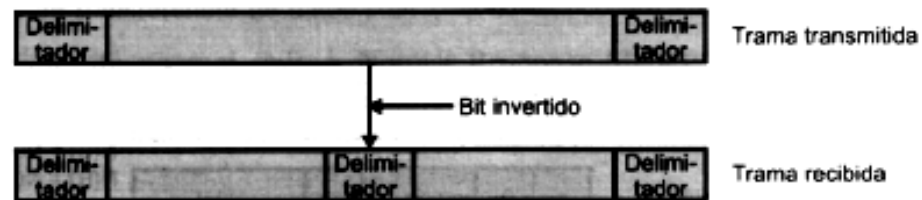
Patrón original:

11111111111101111110111110

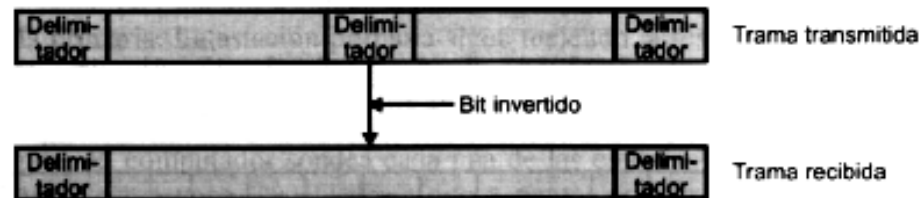
Después de la inserción de bits:

111110111110110111101011111010

(a) Ejemplo



(b) Un bit invertido divide la trama en dos



(c) Un bit invertido une dos tramas

Figura 7.11. Inserción de bits.

HDLC (II)

| FORMATO | COMANDOS | RESPUESTAS | CODIFICACION | | | | | |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------|---|---|---|-----|------|
| | | | BIT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| TRAMAS DE SUPERVISION | RR Receptor Ready | RR | 1 | 0 | 0 | 0 | P/F | N(R) |
| | RNR | RNR Receptor no Ready | 1 | 0 | 1 | 0 | P/F | N(R) |
| | | REJ Reject | 1 | 0 | 0 | 1 | F | N(R) |
| | | SREJ Single Reject | 1 | 0 | 1 | 1 | F | N(R) |

a) TRAMAS NUMERADAS DE SUPERVISION

| FORMATO | TIPO PROTOCOL | COMANDO | RESPUESTAS | CODIFICACION C.C. | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|--|-------------------------------------|-------------------|---|---|---|-----|---|---|---|
| | | | | BIT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| TRAMAS NO NUMERADAS | H D L C + S D L C | SABM Start asynchr. Balanc. mode | | 1 | 1 | 1 | 1 | P | | 1 | 0 |
| | | | CMDR/FRMR Comand Detect | 1 | 1 | 1 | 0 | F | | 0 | 0 |
| | | DISC Disconnect | | 1 | 1 | 0 | 0 | P | | 0 | 1 |
| | | | NSA/UA Unnumbered Ack | 1 | 1 | 0 | 0 | F | | 1 | 1 |
| | | | ROL/DM Disconnect Mode | 1 | 1 | 1 | 1 | F | | 0 | 0 |
| | | SIM Set initialle Mode | RQI/RIM Request Initial. mode | 1 | 1 | 1 | 0 | P/F | | 0 | 0 |
| | | TEST prueba | TEST prueba | 1 | 1 | 0 | 0 | P/F | | 1 | 1 |
| | | UI Unsequenced Inform | UI | 1 | 1 | 0 | 0 | P/F | | 0 | 0 |
| | | XID Transmit Identific | XID | 1 | 1 | 1 | 1 | P/F | | 1 | 0 |
| | | SNRM Set normal Respon. mode | | 1 | 1 | 0 | 0 | P | | 0 | 0 |
| | | NSP/NP Non sequenc. Pollins | | 1 | 1 | 0 | 0 | P | | 1 | 0 |

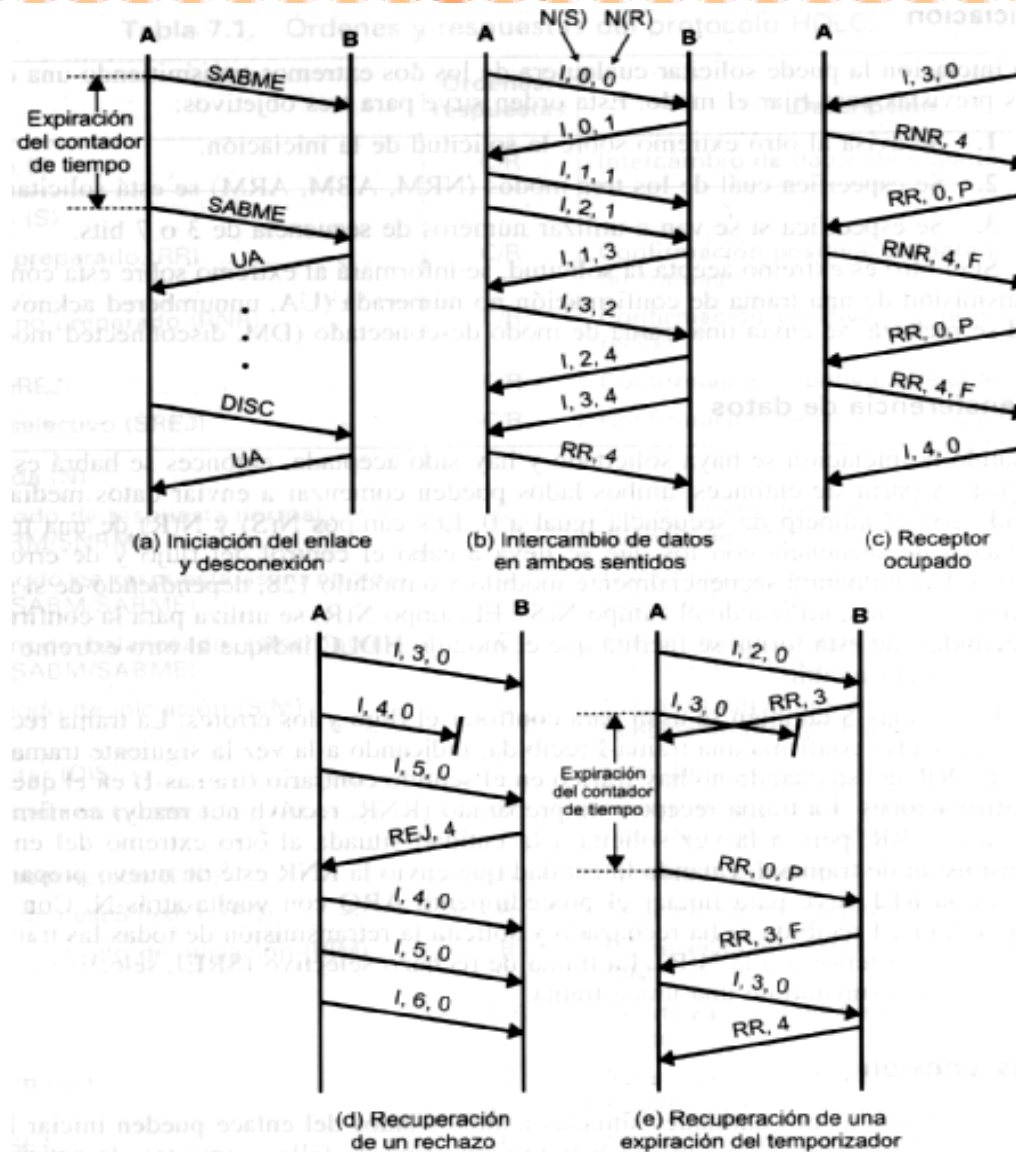
b) TRAMAS NO NUMERADAS

HDLC (III)

TABLA 6.1 Órdenes y respuestas del protocolo HDLC.

| Nombre | Órdenes/ Respuesta | Descripción |
|--|-----------------------|---|
| Información (I) | C/R | Intercambio de datos de usuario |
| Supervisión (S) | | |
| Receptor preparado (RR) | C/R | Confirmación positiva; preparado para recibir tramas I |
| Receptor no preparado (RNR) | C/R | Confirmación positiva; no preparado para recibir |
| Rechazo (REJ) | C/R | Confirmación negativa; adelante-atrás-N |
| Rechazo selectivo (SREJ) | C/R | Confirmación negativa; rechazo selectivo |
| No numerada (U) | | |
| Fijar el modo de respuesta normal/ ampliado (SNRM/SNRME) | C | Fija el modo; ampliado = números de secuencia de 7 bits |
| Fijar el modo de respuesta asíncrono/ ampliado (SARM/SARME) | C | Fija el modo; ampliado = números de secuencia de 7 bits |
| Fijar el modo balanceado asíncrono/ ampliado (SABM/SABME) | C | Fija el modo; ampliado = números de secuencia de 7 bits |
| Fijar el modo de iniciación (SIM) | C | Inicia las funciones de control del enlace en la estación direccionada |
| Desconectar (DISC) | C | Finaliza la conexión lógica del enlace |
| Confirmación no numerada (UA) | R | Confirma la aceptación de una de las órdenes para fijar el modo |
| Modo desconectado (DM) | C | Finaliza la conexión lógica del enlace |
| Solicitud de desconexión (RD) | R | Solicita una orden DISC |
| Solicitud de modo de iniciación (RIM) | R | Se necesita iniciación; solicitud de la orden SIM |
| Información no numerada (UI) | C/R | Se utiliza para intercambiar información de control |
| Sondeo no numerado (UP) | C | Se utiliza para solicitar información de control |
| Reset (RSET) | C | Se utiliza para las recuperaciones; pone N (R) y N (S) a sus valores iniciales |
| Intercambio de identificación (RIM) | C/R | Se utiliza para solicitar o informar sobre el estado |
| Test (TEST) | C/R | Intercambio de campos idénticos de información para test |
| Rechazo de trama (FRMR) | R | Informa sobre la recepción de una trama inaceptable |

HDLC (IV)



Otros protocolos para el Control del enlace de datos

- **LAPB** (Link Access Procedure Balanced-
Procedimiento de acceso balanceado al enlace)
- **LAPD** (Link Access Procedure D-channel-
Procedimiento de acceso al enlace sobre canal D)
- **LLC** (Logical Link Control – Control del enlace lógico)
- **Frame Relay**. Usa LAPF (Link Access procedure for frame mode bearer service)
- **ATM**. No basado en HDLC.

Otros protocolos para el Control del Enlace de Datos

| Delimitador | Dirección | Control | Información | FCS | Delimitador |
|-------------|-----------|---------|-------------|---------|-------------|
| 8 | 8n | 8 o 16 | variable | 16 o 32 | 8 |

(a) HDLC, LAPB

| Delimitador | Dirección | Control | Información | FCS | Delimitador |
|-------------|-----------|---------|-------------|-----|-------------|
| 8 | 16 | 16* | variable | 16 | 8 |

(b) LAPD

| Control MAC | Dirección destino MAC | Dirección origen MAC | DSAP | SSAP | Control LLC | Información | FCS |
|-------------|-----------------------|----------------------|------|------|-------------|-------------|-----|
| variable | 16 o 48 | 16 o 48 | 8 | 8 | 16* | variable | 16 |

(c) LLC/MAC

| Delimitador | Dirección | Control | Información | FCS | Delimitador |
|-------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| 8 | 16, 24 o 32 | 16* | variable | 16 o 32 | 8 |

(d) LAPF (control)

| Delimitador | Dirección | Información | FCS | Delimitador |
|-------------|-------------|-------------|---------|-------------|
| 8 | 16, 24 o 32 | variable | 16 o 32 | 8 |

(e) LAPF (core)

| Control de flujo general | Identificador del camino virtual | Identificador del canal virtual | Bits de control | Control de errores de la cabecera | Información |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------|
| 4 | 8 | 16 | 4 | 8 | 384 |

(f) ATM

* = campo de control de 16 bits (números de secuencia de 7 bits) para tramas I y S, 8 bits para tramas N.

Análisis de rendimiento: parada y espera

- El tiempo de transmisión = 1
- El tiempo de propagación = a
- Para $a > 1$ el enlace está infrautilizado.
- Para $a < 1$ el uso del enlace es ineficiente, porque solo viaja una trama. Esto sucede para velocidades altas o distancias grandes. Varias tramas en tránsito mejora la eficiencia del enlace.

$$T = nTF$$

$$TF = T_{\text{prop}} + T_{\text{trama}} + T_{\text{proc}} + T_{\text{prop}} + T_{\text{conf}} + T_{\text{proc}} = 2 T_{\text{prop}} + T_{\text{trama}}$$

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

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

$a = \frac{R \cdot d}{v \cdot L}$, donde R es la velocidad de transmisión, d la distancia, v la velocidad de la luz y L la long. de trama. WAN: 0,027%, LAN: 50-99%, Telef: 26%.

Análisis de rendimiento: ventana deslizante

Tamaño de ventana: W
Tiempo propagación: a

$$T=2a+1$$

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

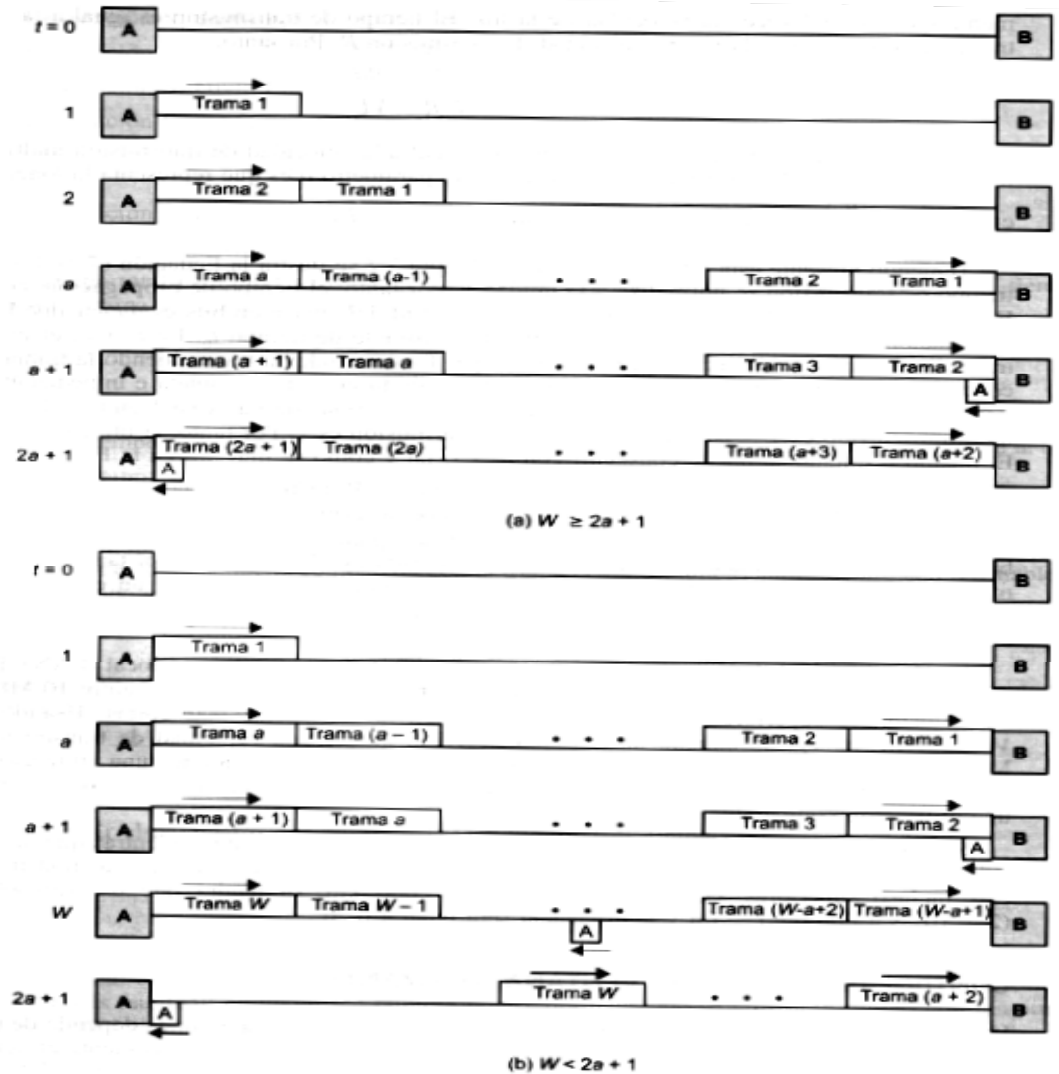


Figura 7.15. Temporización de un protocolo de ventana deslizante.

Analisis de rendimiento: ventana deslizante

Máxima eficiencia que se puede conseguir para ventanas de tamaño 1, 7 y 127 en función de a .

Una ventana de tamaño 1 corresponde con parada y espera.

Una ventana grande es adecuada para valores grandes de a como en WAN de alta velocidad.

