

# **Control de enlace de datos**

**Concepto y funciones de un protocolo de enlace**

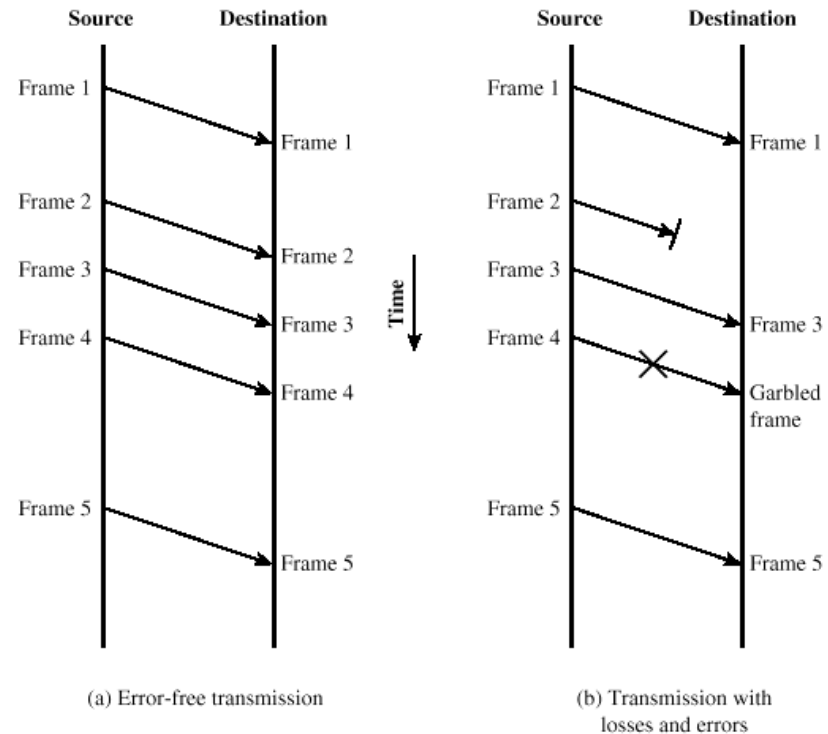
**Control de flujo: mecanismo de ventana**

**Control de errores: algoritmos de retransmisión**

**Ejemplos de protocolos de nivel de enlace de datos: HDLC**

## Funciones del Control de enlace de datos

- ✓ **Sincronización de la trama:** comienzo y final identificable.
- ✓ **Control del flujo:** adecuación de la velocidad de emisión recepción.
- ✓ **Control de errores:** Detectar y corregir errores.
- ✓ **Datos y control sobre el mismo enlace:** necesidad de diferenciar.
- ✓ **Gestión del enlace:** establecimiento y conclusión del intercambio.

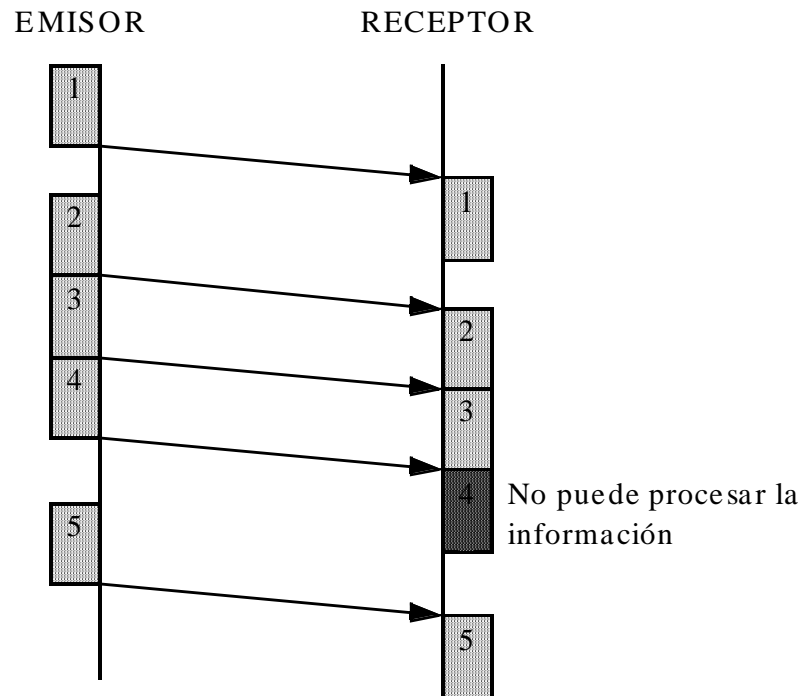


## Control de flujo

---

- ✓ Asegura que la entidad emisora no sobrecarga a la receptora con una cantidad excesiva de datos.
- ✓ Modelo de control de flujo.

☆ *Uso de tramas.*



# Control de flujo

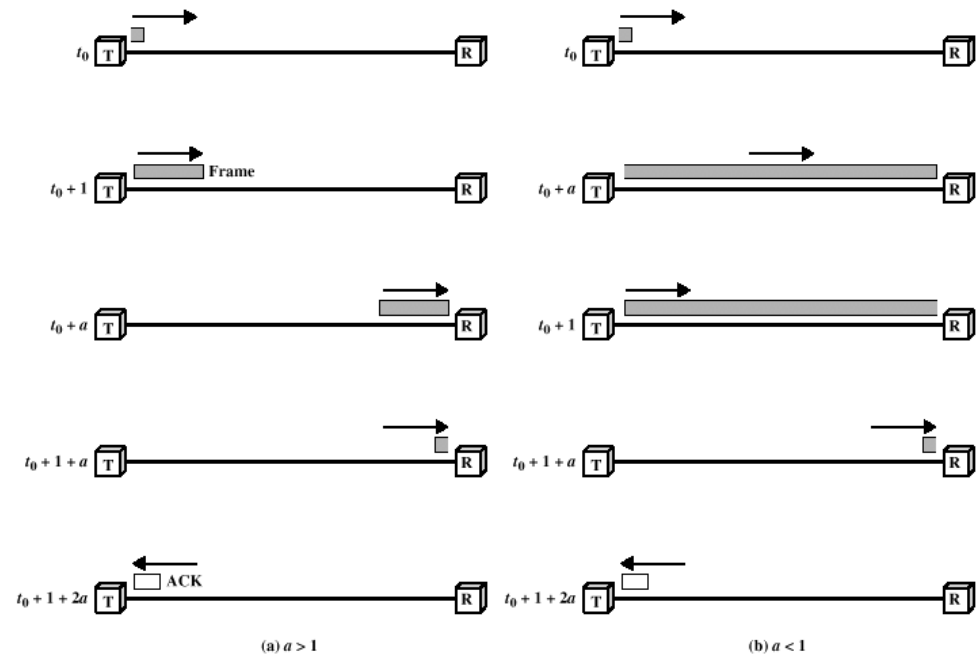
## ✓ Control mediante parada-y-espera

- ☆ La entidad emisora debe esperar a la llegada de la confirmación desde la estación receptora.
- ☆ Da lugar a ineficiencias, especialmente cuando el tiempo de transmisión es menor que el tiempo de propagación (tramas cortas en enlaces a largas distancias).

✓ El tamaño de la memoria temporal del receptor es limitado.

✓ Cuando hay errores la retransmisión será más eficiente.

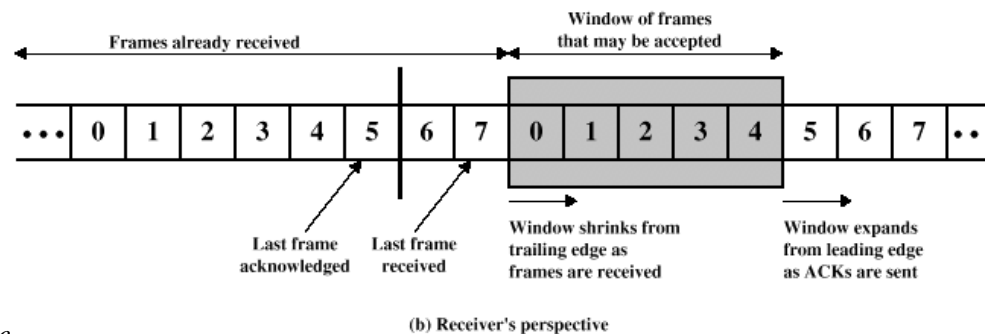
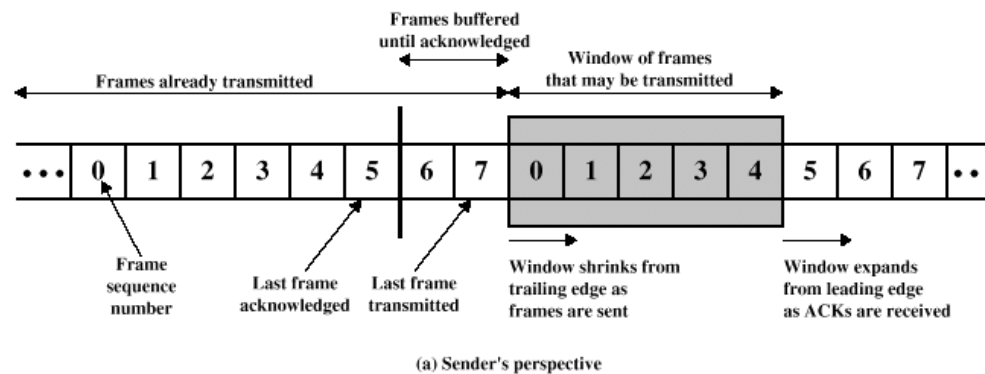
✓ No permitir en LANs que una estación monopolice el enlace durante demasiado tiempo.



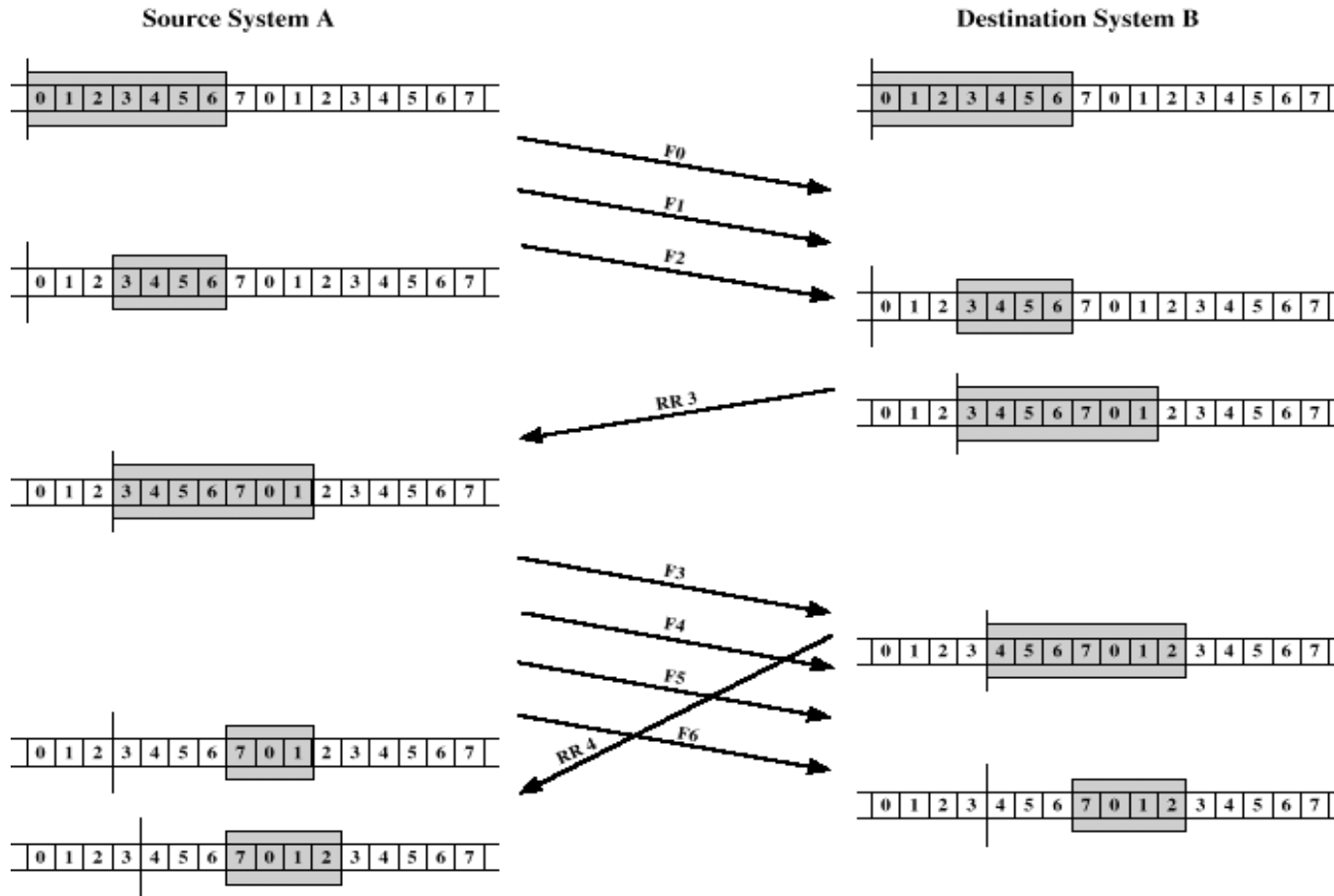
# Control de flujo

## ✓ Control mediante ventana deslizante

- ☆ *Permite transitar a varias tramas simultáneamente a través del enlace.*
- ☆ *La estación receptora es capaz de almacenar varias trama.*
- ☆ *Las tramas son nombradas con un número de secuencia.*



# Control de flujo: ventana deslizante



## Control de flujo: ventana deslizante

---

- ✓ **Uso de la orden Received no Ready para prohibir la transmisión de más tramas:**
  - ☆ *RNR5 confirma la recepción hasta la trama 4 y prohíbe nuevas transmisiones.*
- ✓ **En transmisión bidireccional, cada estación deberá mantener dos ventanas (una de transmisión y otra de recepción).**
  - ☆ *La trama de envío de datos se puede usar para incluir la confirmación de una trama recibida: incorporación de la confirmación (piggybacking) .*
  - ☆ *Si no hay nada que confirmar se repite la última confirmación.*
  - ☆ *Si no hay tramas que enviar se emite un RR sólo.*
- ✓ **Protocolo de ventana deslizante es más eficiente que parada-y-espera.**

## Control de errores

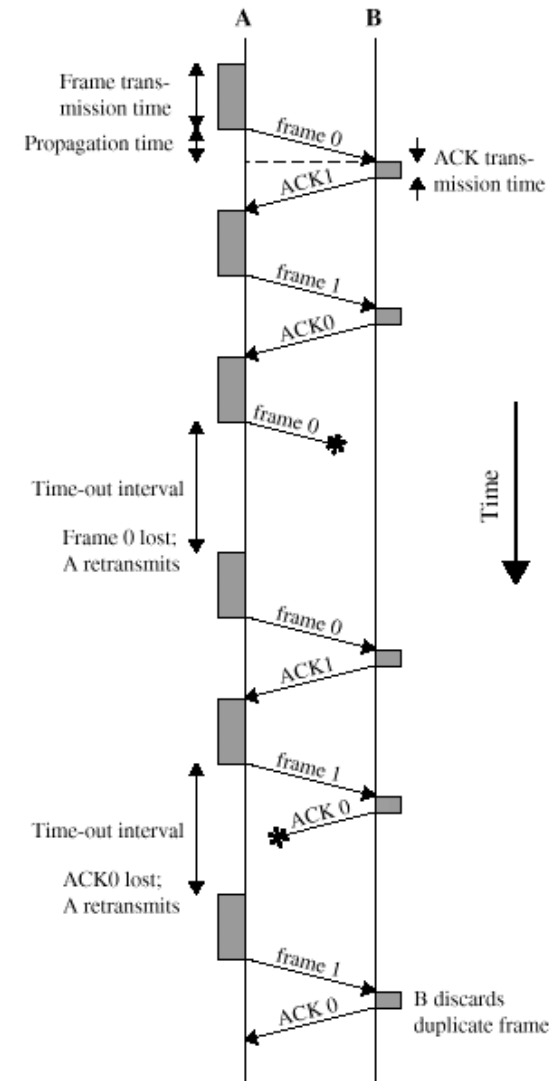
---

- ✓ **Mecanismos necesarios para la detección y la corrección de errores.**
  - ☆ *ARQ: solicitud de repetición automática.*
- ✓ **Tipos de errores:**
  - ☆ *Tramas perdidas.*
  - ☆ *Tramas dañadas.*
- ✓ **Técnicas para el control:**
  - ☆ *Detección de errores: bit de paridad o CRC.*
    - ✦ **CRC:** Complementa la trama (16/32bits) para que sea divisible por un número. En caso contrario error.
  - ☆ *Confirmaciones positivas: confirmación de trama recibida sin errores.*
  - ☆ *Confirmación negativa o retransmisión: confirmación negativa al detectar errores en las trama recibidas.*
- ✓ **Tipos:**
  - ☆ *ARQ con parada-y-espera, ARQ con adelante-atrás-N y ARQ con rechazo selectivo.*



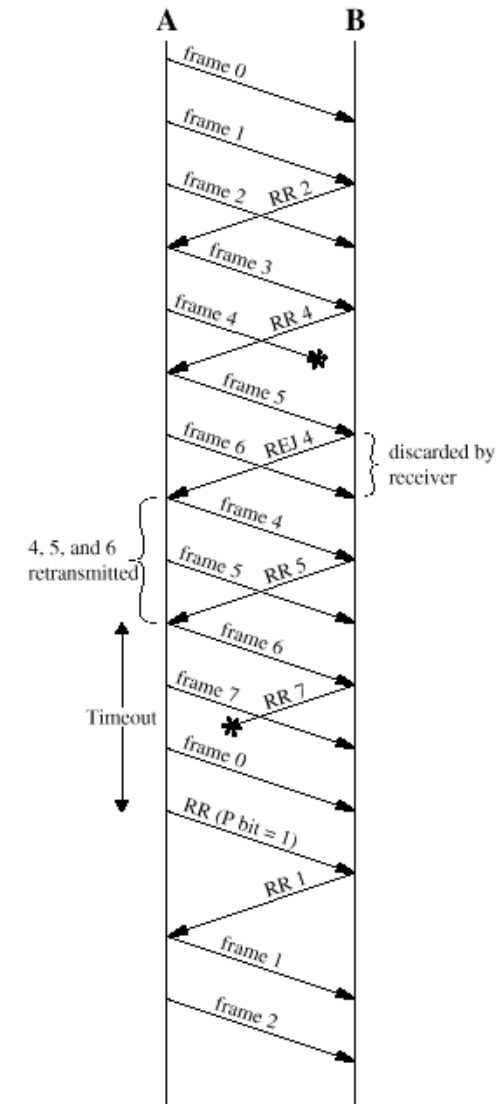
# ARQ con parada y espera

- ✓ El emisor espera un tiempo a la confirmación de la recepción de cada trama.
- ✓ Si se supera el tiempo, se reenvía la trama.
- ✓ Si la confirmación se pierde, el receptor reenviará la misma trama.
  - ☆ Es necesario numerar las tramas (para evitar que el reenvío de la misma trama sea tomado como dos tramas en el receptor) y las confirmaciones.
  - ☆ ACK0 confirma recepción de la trama 1 y en espera de recibir una trama 0.



## ARQ con adelante-atrás-N

- ✓ **Control de fijo mediante ventanas deslizante.**
- ✓ **Cuando se detecta un error en una trama la estación destino envía REJ**
  - ☆ *La estación destino descarta la trama errónea y posteriores.*
  - ☆ *La estación emisora debe reemitir la trama errónea y siguientes.*
- ✓ **Situaciones.**
  - ☆ *Trama deteriorada.*
    - ✦ A transmite la trama i, B detecta error, B envía REJ i, A retransmite trama i y posteriores.
    - ✦ Trama i se pierde por el camino, B recibe trama i+1 después de i-1, B emite REJ i. A retrans.
    - ✦ A emite trama i y temporizador de confirmación de A va a cero, A emite una trama RR con bit P a 1.



## ARQ con adelante-atrás-N

### ✓ Situaciones

#### ☆ *RR deteriorada*

- ✦ B recibe trama  $i$  y envía  $RR(i+1)$  que se pierde. B envía confirmación para una trama posterior, no hay problema
- ✦ Contador de A expira, A envía RR con bit P a 1 y inicia un nuevo temporizador, si se agota el proceso se repite varias veces.

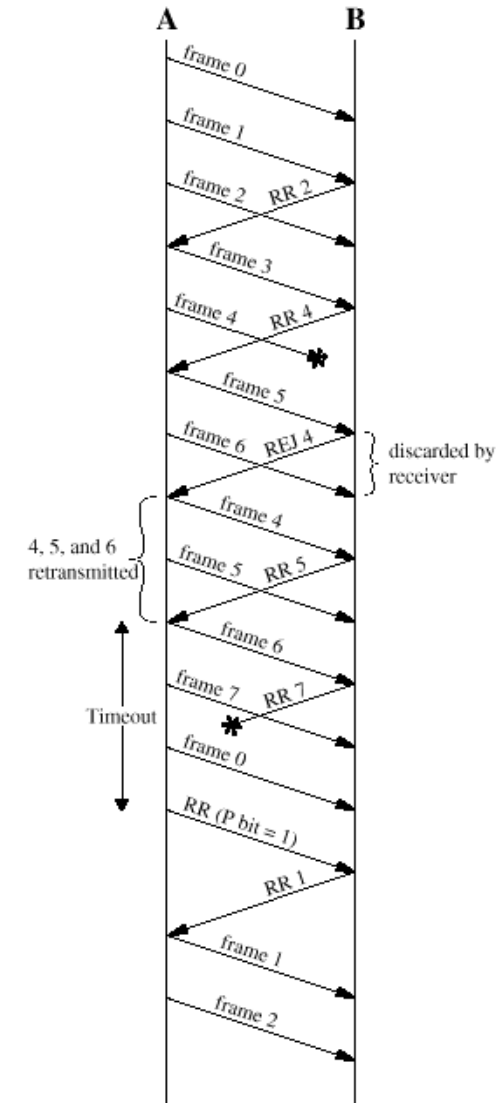
#### ☆ *REJ deteriorada. Equivale a tercera situación de trama deteriorada*

- ✓ **Si se usan  $k$  bits en el paquete para la secuencia, la ventana debe tener tamaño  $2^k-1$ , para evitar confundir la confirmación de una trama con la petición de repetición.**

#### ☆ *Envío trama 0,1, 2, 3 4, 5, 6, 7.*

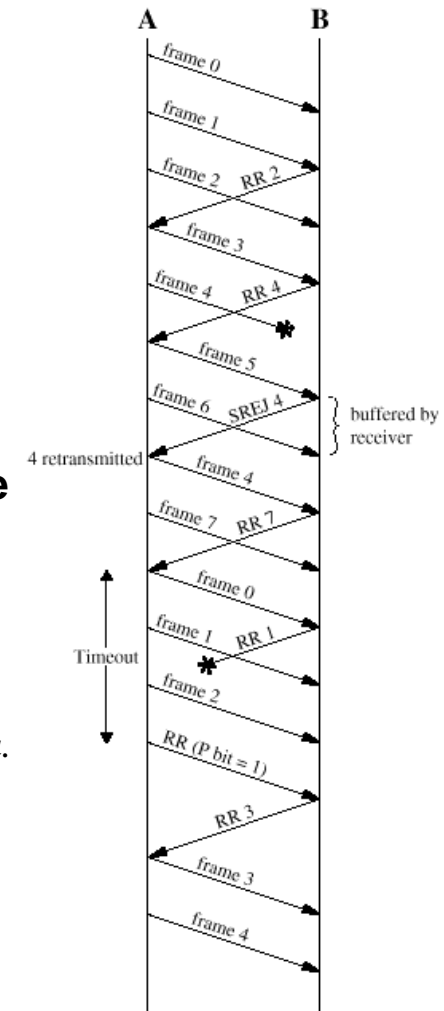
#### ☆ *Recibo RR0*

- ☆ *¿ No se han recibido las tramas anteriores y expira temporizador o están conformándose todas las enviadas ?*



## ARQ con rechazo selectivo

- ✓ **Sólo se retransmiten las tramas que reciben una confirmación negativa (SREJ) o aquellas para las que expirar el temporizador correspondiente.**
  - ☆ *Debe tener memoria para almacenar las tramas que han llegado tras la errónea.*
  - ☆ *Debe insertar la trama errónea en el lugar adecuado de la secuencia.*
  
- ✓ **El tamaño máximo la ventana no debería ser mayor de  $2^{k-1}$  si se retransmiten las tramas para las que expira el temporizador correspondiente.**
  - ☆ *Estación A envía tramas 0, 1, ..., 6.*
  - ☆ *Estación B recibe siete tramas y confirma RR7: desplaza su ventana.*
  - ☆ *Debido a ruido RR7 se pierde.*
  - ☆ *Temporizador de A expira y retransmite trama 0.*
  - ☆ *Trama 0 repetida por A es tomada por nueva trama 0 en B.*



## Protocolo HDLC

---

✓ **Base para protocolos importantes de la capa de enlace.**

✓ **Características:**

☆ *Estaciones:*

- ✦ Estación primaria: tiene la función de controlar el enlace. Las tramas que genera se llaman órdenes.
- ✦ Estación secundaria: sus tramas se llaman respuestas. La primaria establece un enlace lógico independiente con cada una de las secundarias presentes en la línea.
- ✦ Estación combinada: mezcla de primaria y secundaria.

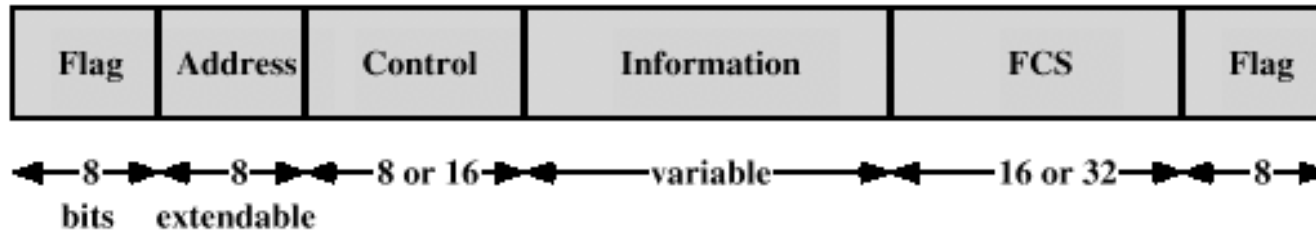
☆ *Configuraciones del enlace:*

- ✦ No balanceada: una estación primaria y una o más secundarias. Full-duplex o semi-duplex.
- ✦ Balanceada: dos estaciones combinadas. Full-duplex o semi-duplex.

☆ *Modos de transferencia:*

- ✦ Respuesta normal (NRM): configuración no balanceada. La secundaria responde a la primaria.
- ✦ Balanceado asíncrono (ABM): config. balanceada. Cualquier estación balanceada puede iniciar la transmisión.
- ✦ Respuesta asíncrono (ARM): config. no balan. La estación secundaria puede iniciar la

## Estructura de la trama HDLC



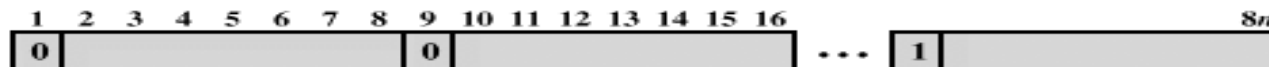
✓ **Usa transmisión síncrona.**

- ☆ *Cabecera: campos de delimitación, dirección y control.*
- ☆ *Cola: FCS y campo delimitador final.*

✓ **Delimitación: patrón 01111110.**

- ☆ *Si se debe enviar mas de cinco unos seguidos en los datos, se inserta un cero en el sexto bit, que será eliminado por el receptor.*

✓ **Campo de dirección. Estación secundaria que ha transmitido o va a recibir la información. Broadcast: todos a uno.**



(b) Extended Address Field

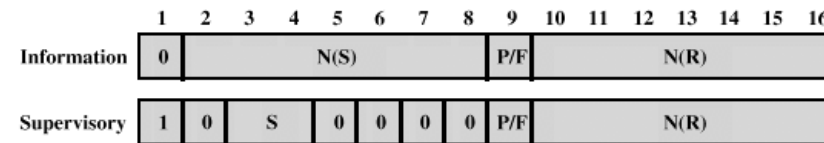
## Estructura de la trama HDLC

### ✓ Campo de control.

- ☆ *Trama-I(Información). Transporta datos generados por el usuario. Incluye control de errores y flujo.*
- ☆ *Trama-S(Supervisión). Confirmación cuando no se puede incluir en el campo de información.*
- ☆ *Trama-N(No numerada). Funciones suplementarias para controlar el enlace.*



(c) 8-bit control field format



(d) 16-bit control field format

### ✓ Campo de información.

- ☆ *Sólo para tramas-I y tramas-N.*
- ☆ *El número de bits debe ser un múltiplo entero de 8.*

### ✓ Campo para la secuencia de comprobación de trama.

- ☆ *Detección de errores que excluye a los delimitadores.*
- ☆ *CRC-CCITT o CRC-32.*

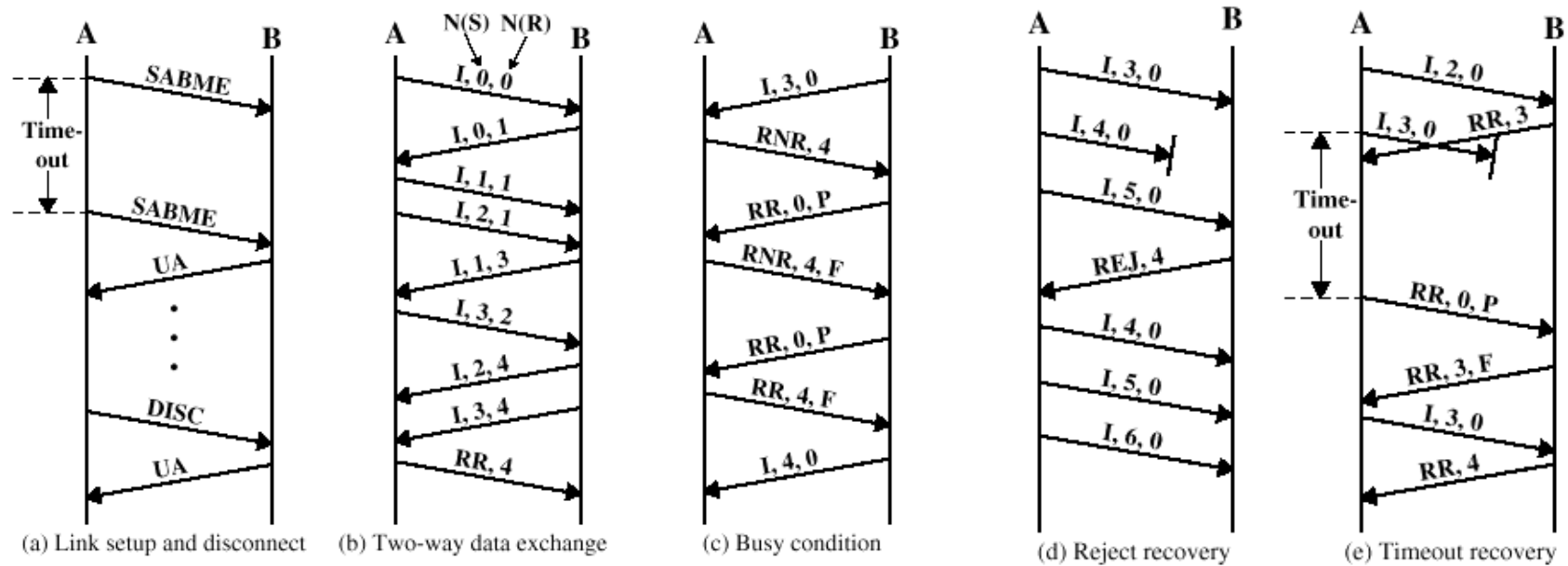
## Funcionamiento del protocolo HDLC

---

- ✓ **Intercambio de tramas-I, tramas-S y tramas-N entre dos estaciones.**
- ✓ **Fases:**
  - ☆ *Iniciación:*
    - ✦ Los dos extremos pueden iniciar la conexión generando una de las seis posible órdenes de fijación de modo (NRM, ABM, ARM) y los números de secuencia con 3 ó 7 bits.
    - ✦ El otro extremo debe aceptar la solicitud con UA (unnumbered acknowledge) o rechazar con DM.
  - ☆ *Transferencia de datos:*
    - ✦ Uso de tramas-I.
    - ✦ Campos N(S) y N(R) llevan número de secuencia y confirmación de tramas.
    - ✦ También se usan tramas-S para confirmación de tramas. Adelante-atrás-N, rechazo selectivo.
  - ☆ *Desconexión:*
    - ✦ Iniciada por cualquier entidad.
    - ✦ Tramas de desconexión DISC. El otro extremo acepta con UA.



# Funcionamiento del Protocolo HDLC



## Otros protocolos de nivel de enlace

---

### ✓ LAPB (Link Access procedure, balanced):

- ☆ *HDLC en modo balanceado. Parte de la norma X.25.*
- ☆ *Enlace punto a punto y nodo de una red de conmutación de paquetes.*

### ✓ LAPD (Link access procedure, D-channel):

- ☆ *Desarrollo de la UIT-T como recomendación RDSI.*
- ☆ *Usa números de secuencia de 7 bits, CRC-16.*
- ☆ *Dirección de 16 bits con dos subdirecciones que identifican dispositivos físicos y usuarios lógicos.*

### ✓ LLC (Logical Link Control):

- ☆ *Parte del estándar 802.2 para redes locales.*
- ☆ *LLC divide las funciones de control en dos capas: MAC (control de acceso al medio) y LLC.*
  - ✦ *MAC lleva direcciones origen y destino de los dispositivos.*
  - ✦ *LLC identifica al usuario lógico en los sistemas origen y destino a través de los DSAP y SSAP.*

## Otros protocolos de nivel de enlace

---

### ✓ Frame Relay

- ☆ *Usa protocolo LAPF (link access procedure for frame-mode bearer service).*
- ☆ *Números de secuencia de 7 bits, CRC-16.*
- ☆ *Direcciones de dos, tres o cuatro octetos para identificar la conexión lógica.*
- ☆ *No tiene campos para control de flujo ni de errores.*

### ✓ ATM (asynchronous transference mode).

- ☆ *ATM está basado en un formato de tramas completamente nuevo, denominado celdas, reduciendo la cantidad de procesamiento necesario.*

## Análisis de prestaciones: Parada y espera

---

### ✓ $T_f$ : Tiempo para enviar una trama y recibir la confirmación.

$$\star T_f = t_{prop} + t_{trama} + t_{proc} + t_{prop} + t_{conf} + t_{proc}$$

☆ Transmisión  $n$  tramas suponiendo tiempo de procesado despreciable y  $t_{conf} \ll t_{trama}$

$$\oplus T = n(2t_{prop} + t_{trama})$$

### ✓ Eficiencia

$$\star U = t_{trama} / T_f = t_{trama} / (2t_{prop} + t_{trama})$$

☆ Si hacemos  $a = t_{prop} / t_{trama} \rightarrow U = 1 / (1 + 2a)$

☆  $d$ : longitud del medio,  $V$  velocidad en el medio,  $R$  razón de datos,  $L$  longitud de la trama

$$\oplus t_{prop} = d/V \text{ y } t_{trama} = L/R$$

$$\oplus a = Rd/VL. \text{ Longitud en bits en el medio } \rightarrow R \cdot d/V.$$

☆  $a$  representa la longitud del medio en relación con la longitud de trama.

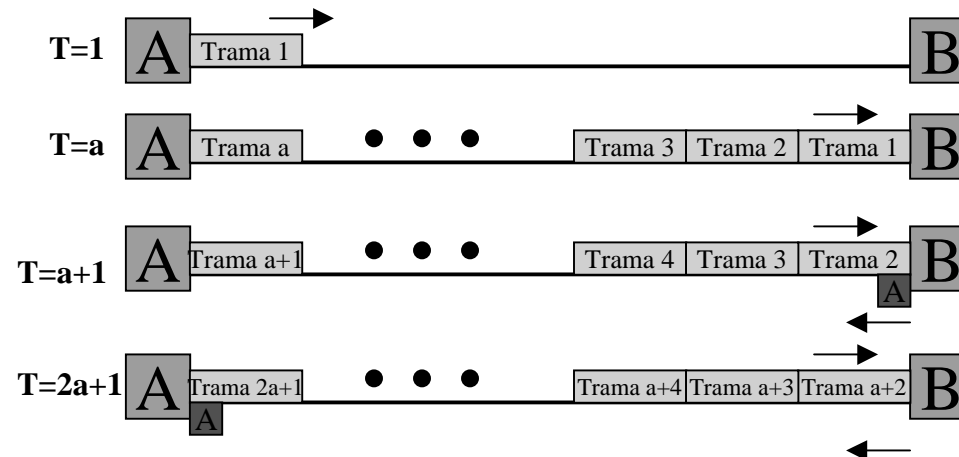
### ✓ Ejemplos:

☆ ATM:  $L=424$ ,  $R=155,52\text{Mbps}$ .  $d=10^6\text{m}$ . Fibra óptica  $V=2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   $\rightarrow a=1.850$ .  $U=0.00027$

☆ LAN:  $L=1000$ ,  $d:[0,1, 10] \text{ Km}$ ,  $R=[10,1000] \text{ Mbps}$ ,  $V=2 \cdot 10^8$   $\rightarrow a = [0.5, 0.99]$

## Análisis de prestaciones: Ventana deslizante

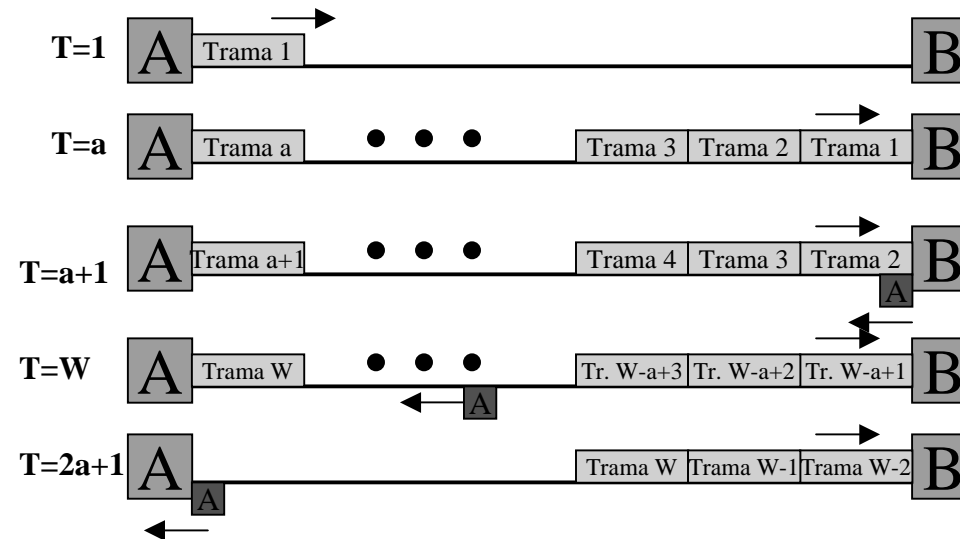
- ✓ Suponemos que tiempo de transmisión de trama es 1 y canal full-duplex.
  - ☆  $a$ =tiempo de propagación.
  - ☆ Primera trama llega en  $a+1$ .
- ✓ Si  $W \geq 2a+1$  la confirmación llega antes que el emisor agote su ventana.
  - ☆ Confirmación de la trama 1 llega antes de que se agote la ventana:  $U=1$ .



## Análisis de prestaciones: Ventana deslizante

- ✓ Si  $W < 2a + 1$  emisor agota su ventana y no podrá enviar tramas hasta  $2a + 1$ .

☆  $U = W / (2a + 1)$



## Análisis de prestaciones: ARQ

---

### ✓ Parada y espera

☆ *Tiempo para retransmitir una trama:  $N_r \cdot T_f$*

☆  *$U = 1 / N_r(1 + 2a)$ ,  $P$  es probabilidad de transmisión errónea*

$$N_r = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot \Pr[i \text{ transmisiones}]$$

☆  *$U = (1 - P) / (1 + 2a)$*

### ✓ Rechazo selectivo (dividiendo por $N_r$ )

$$U = \begin{cases} 1 - P & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P)}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases}$$