

Control del Enlace

Mg. Gabriel H. Tolosa

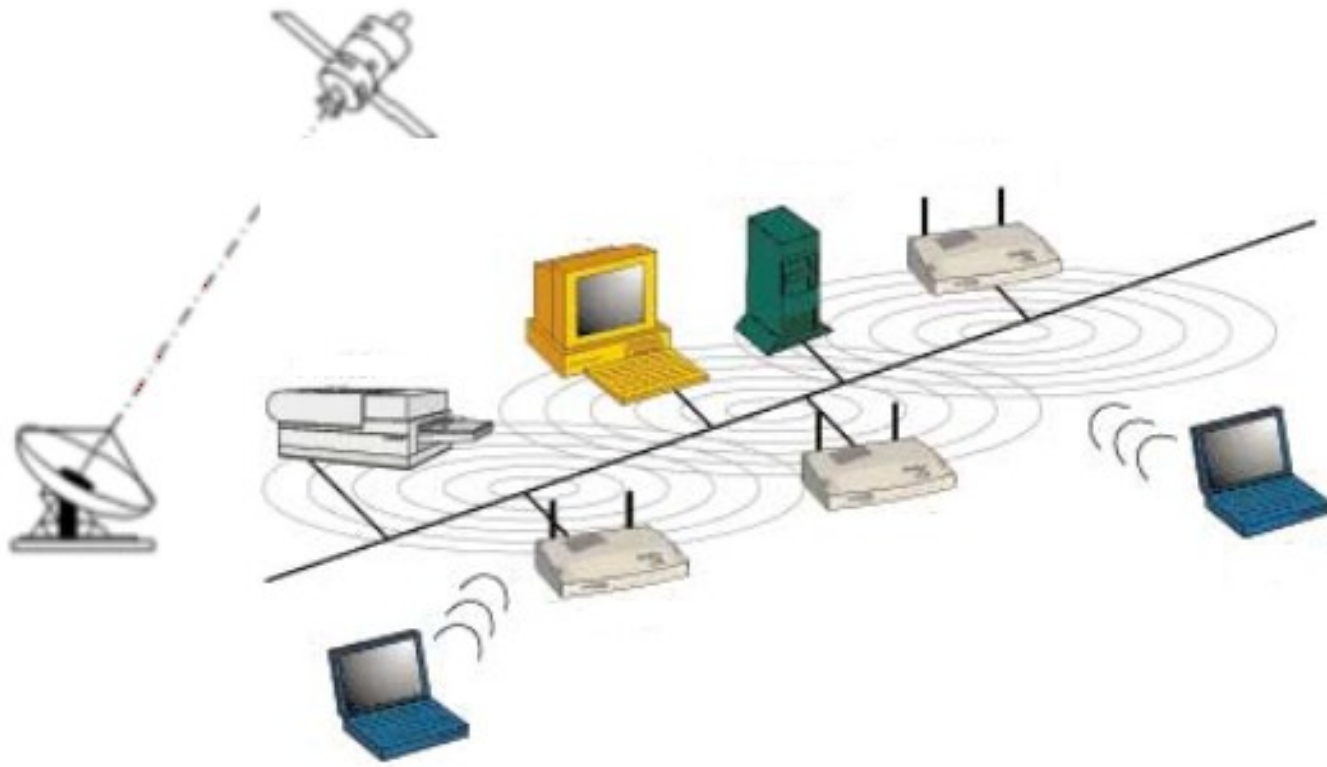
tolosoft@unlu.edu.ar

"Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic"

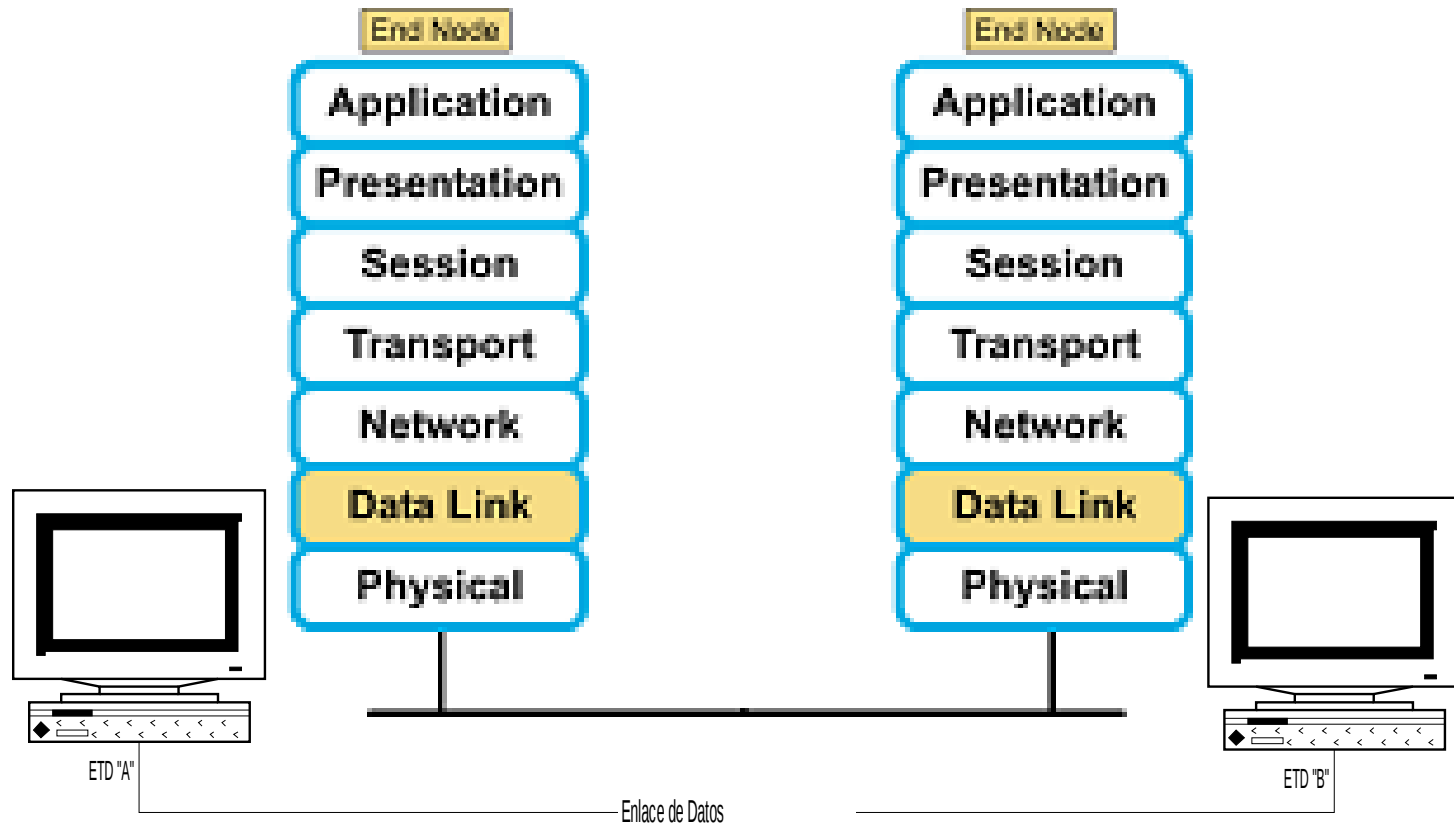
Artur C. Clarke
"Profiles of the future"

Capa de Enlace

*Conjunto de procedimientos para gestionar y controlar el intercambio de datos entre equipos **adyacentes**, creando la ilusión de que **existe un enlace (link) confiable***

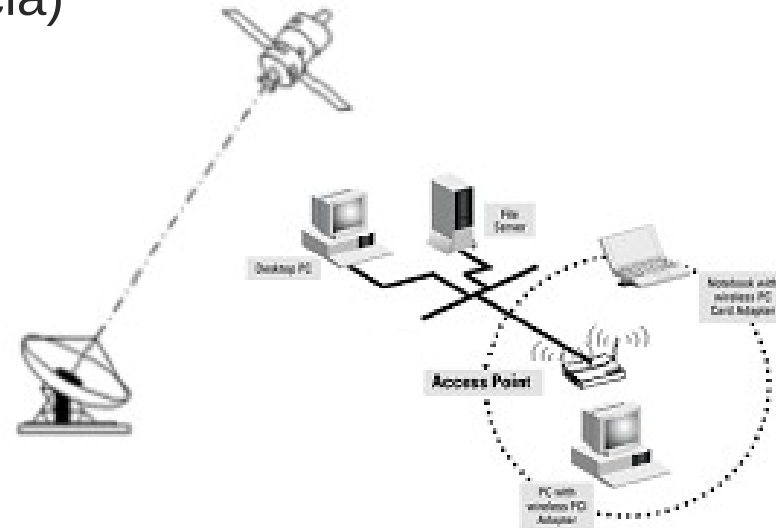


Capa de Enlace



Capa de Enlace

- **Factores a Considerar**
- **Medios de comunicación**
 - Imperfectos (ruido, atenuación)
 - Capacidad finita (ancho de banda)
 - Retardo de propagación (distancia)
- **Emisor/Receptor**
 - Tiempo de procesamiento
 - Tamaño finito de buffers



Capa de Enlace

■ Requisitos/Objetivos

■ Estructura de Intercambio

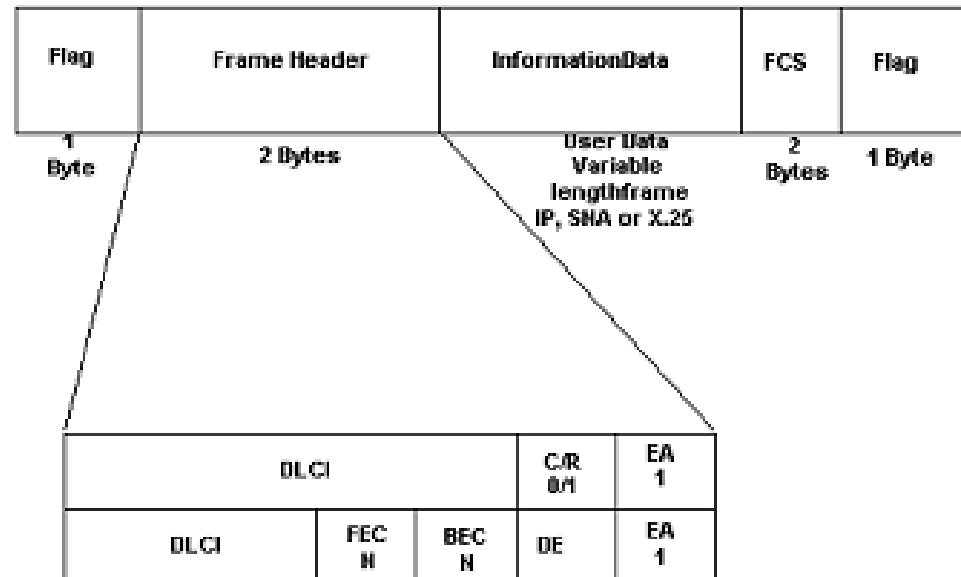
- Tramas (Frames)

■ Control de flujo

■ Control de errores

- Detección
- Recuperación

■ Direccionamiento



Capa de Enlace

■ Tipos de Servicio

- **Sin conexión, sin acuse de recibo**
LANs, Voz
- **Sin conexión, con acuse de recibo**
Canales inestables
- **Con conexión, con acuse de recibo**
Servicio crítico

Capa de Enlace

Situación #1 - Condiciones

Transmisión unidireccional

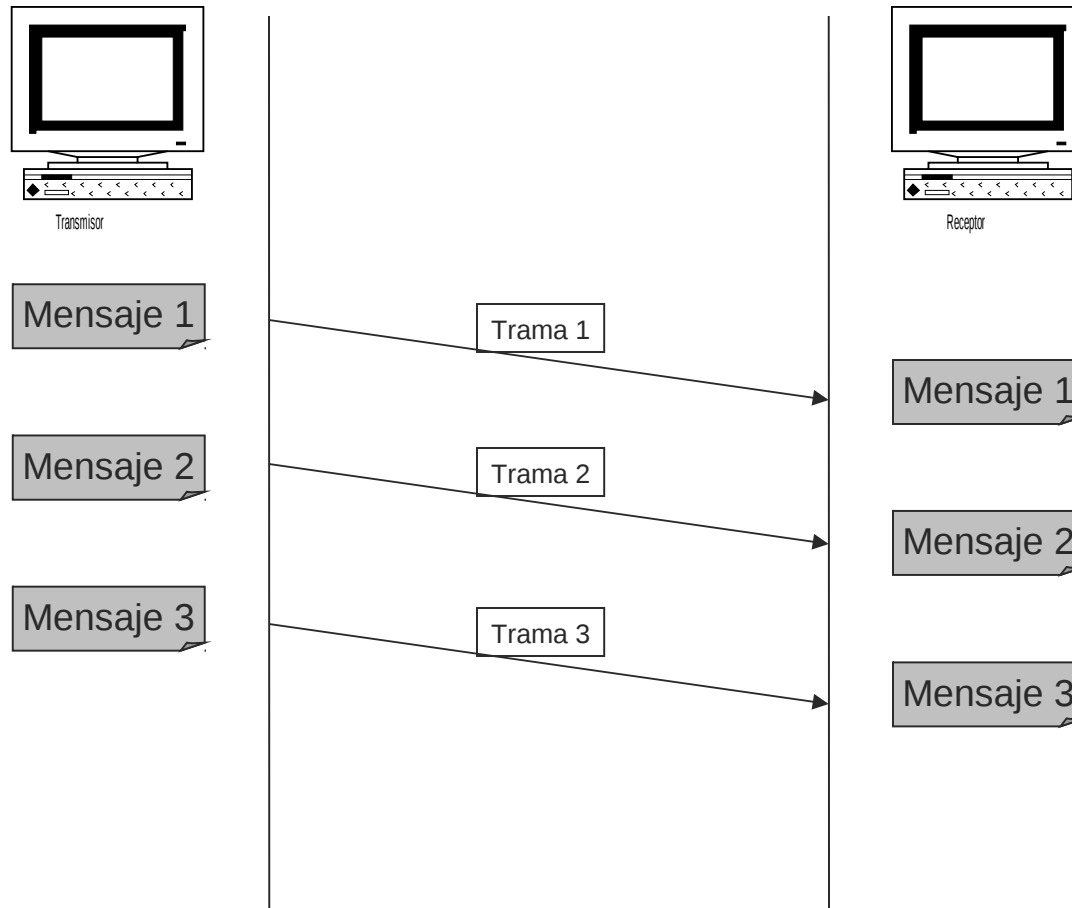
Transmisor y receptor siempre disponibles

Canal de comunicaciones libre de errores

Tiempo de proceso despreciable

Capa de Enlace

Situación #1 – Esquema de Transferencia



Capa de Enlace

Situación #2 - Condiciones

Transmisión unidireccional

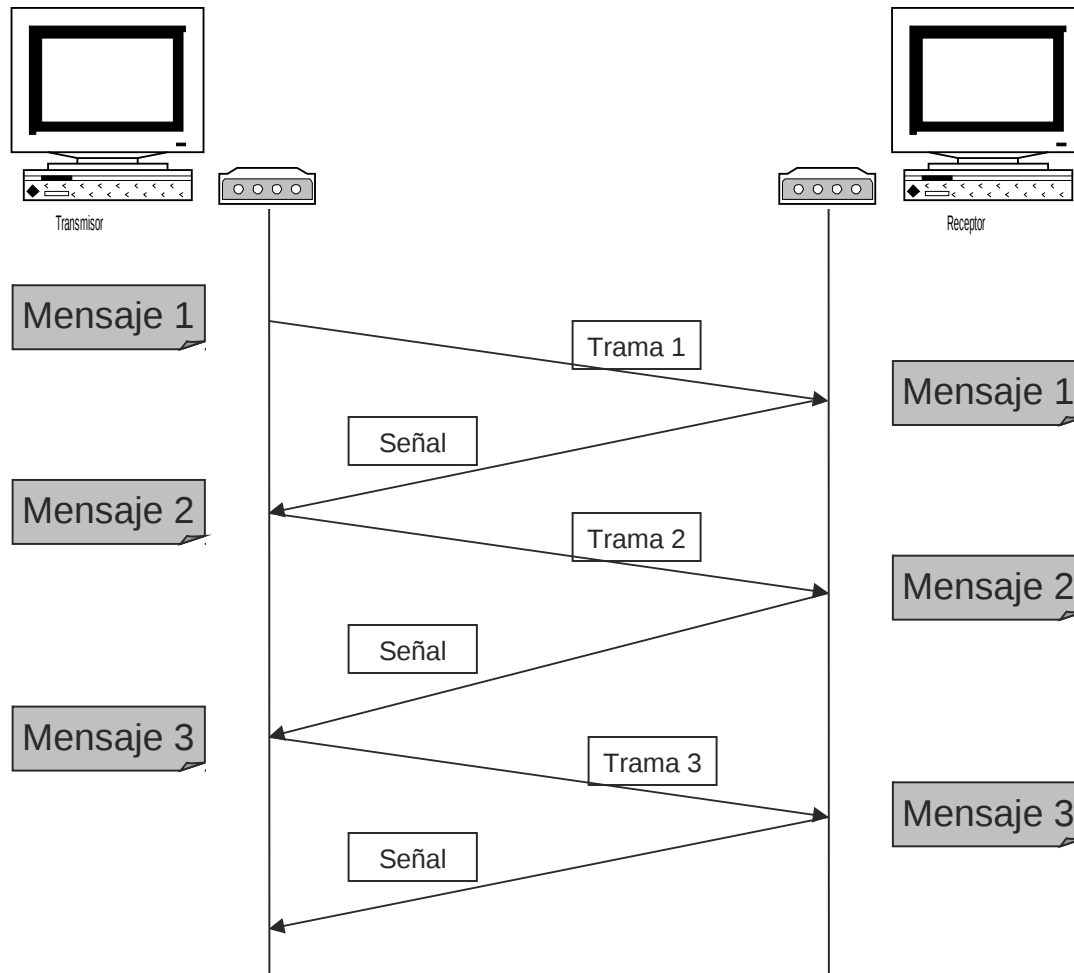
Transmisor y receptor siempre disponibles

Canal de comunicaciones libre de errores

Tiempo de proceso NO despreciable

Capa de Enlace

Situación #2 – Esquema de Transferencia



Capa de Enlace

Situación #3 - Condiciones

Transmisión unidireccional de datos

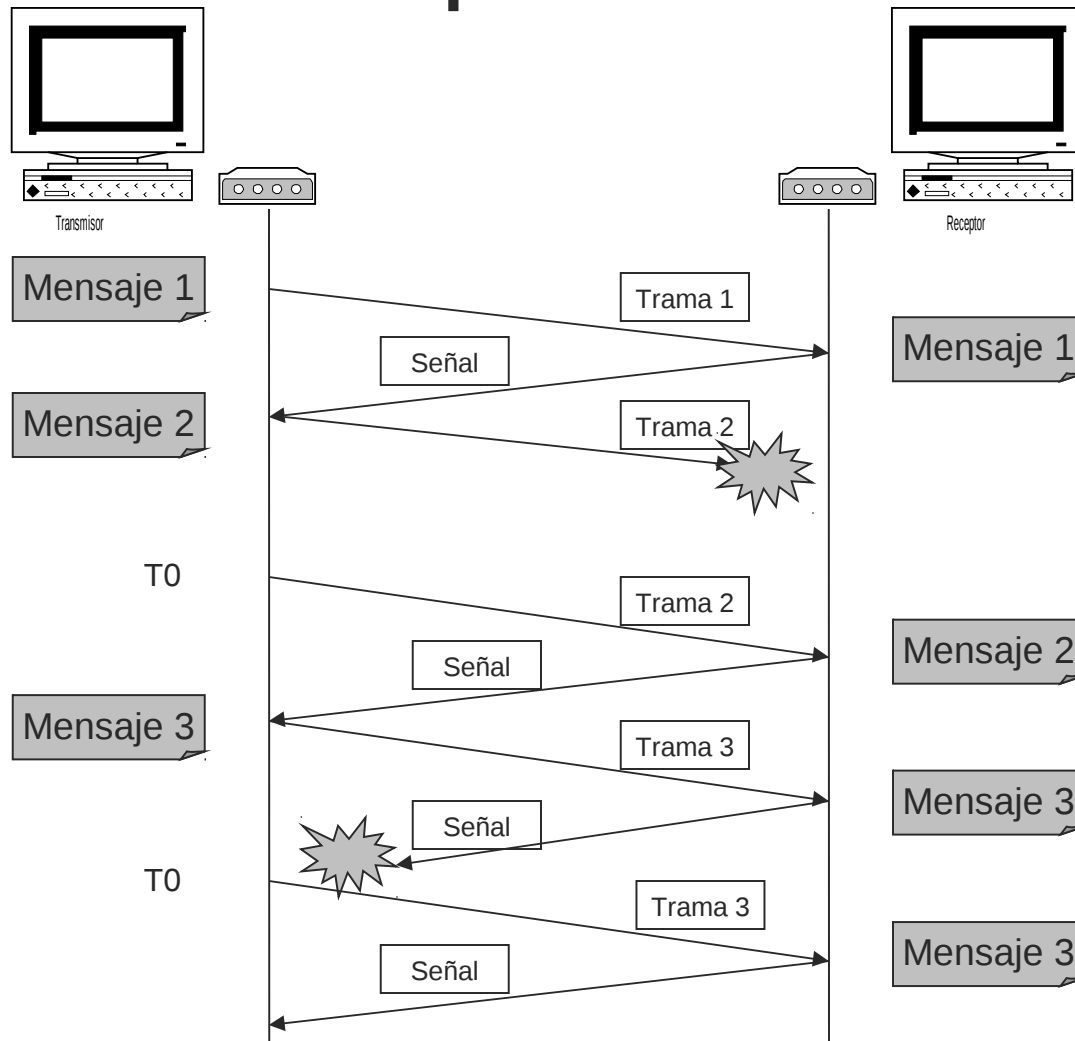
Transmisor y receptor siempre disponibles

Canal de comunicaciones con posibilidad de errores

Tiempo de proceso no despreciable

Capa de Enlace

Situación #3 – Esquema de Transferencia



Capa de Enlace

Situación #4 - Condiciones

Transmisión bidireccional de datos

Transmisor y receptor siempre disponibles

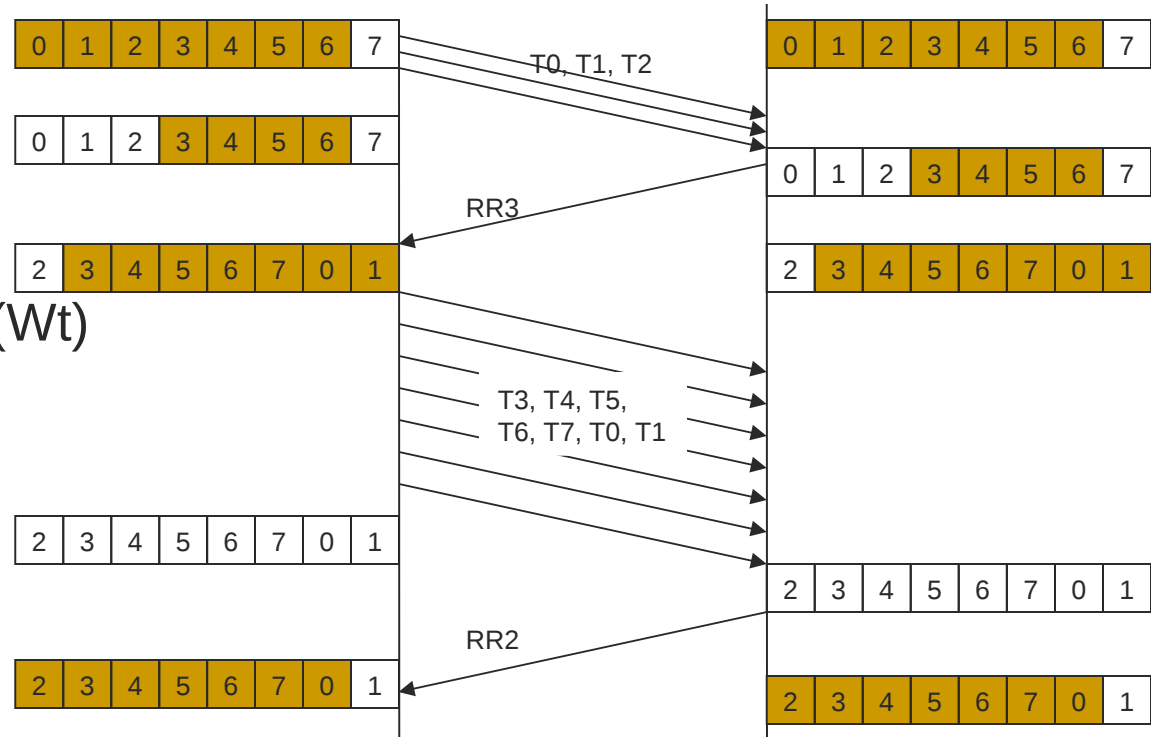
Canal de comunicaciones con posibilidad de errores

Tiempo de proceso no despreciable

Protocolo de Ventana Deslizante

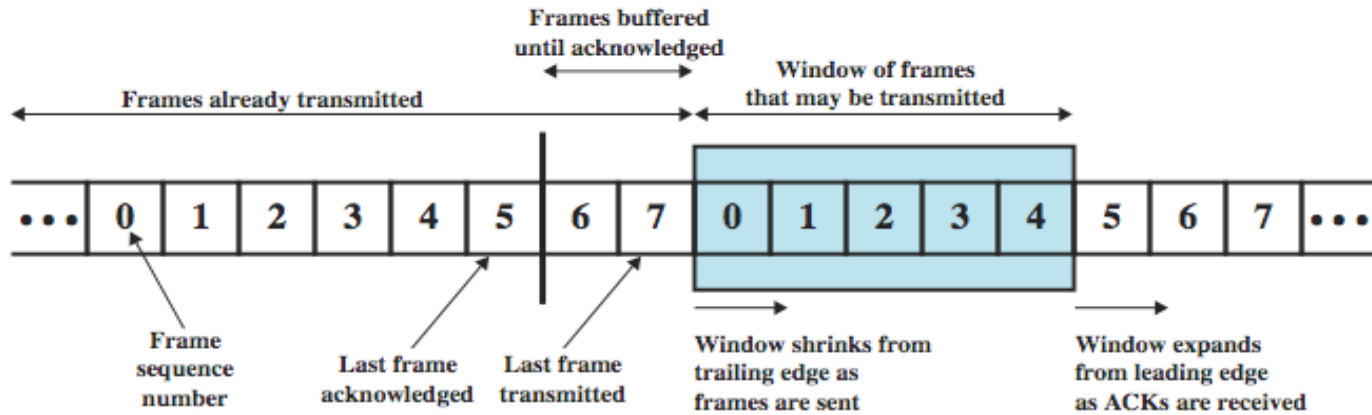
- Mejorar la utilización del canal de comunicaciones
- Eliminar los tiempos de espera (de los ACK)
- Se basa en el envío de n tramas (ventana) antes de recibir confirmación

- Módulo (#sec)
- Ventana transmisión (Wt)
- Confirmación

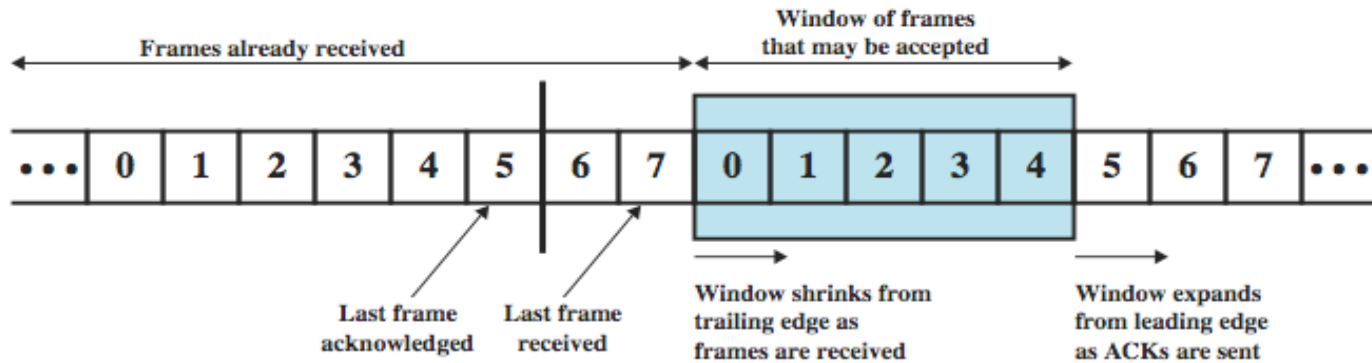


Protocolo de Ventana Deslizante

Diagrama (Fuente: Stallings [STA])



(a) Sender's perspective

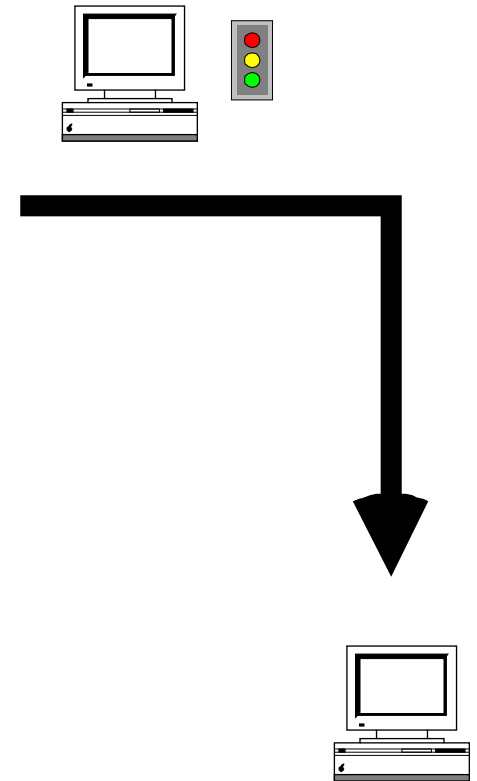


(b) Receiver's perspective

Control de Flujo

Técnica para controlar la transmisión de manera que el receptor siempre disponga de espacio (buffers) para aceptar nuevos datos entrantes

- Mediante Parada y Espera
(**Stop and Wait**)
- Mediante Ventanas Deslizantes
(Sliding Windows)



Control de Errores

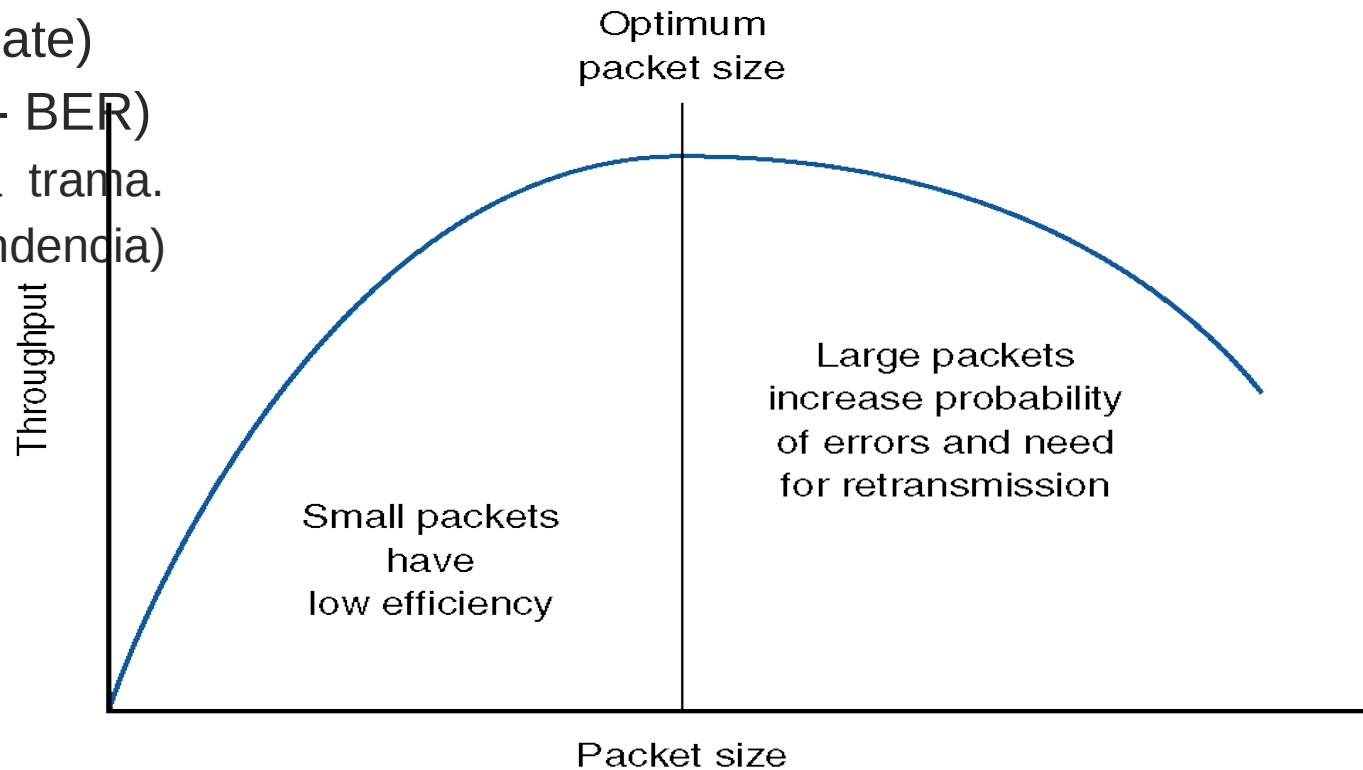
Limitaciones y defectos de los medios

BER (Bit Error Rate)

$\text{Prob}(\text{TOK}) = (1 - \text{BER})^F$

(F: Cant. bits de la trama.

Se asume independencia)



Control de Errores

○ Efectos

- Tramas Perdidas
- Tramas Dañadas

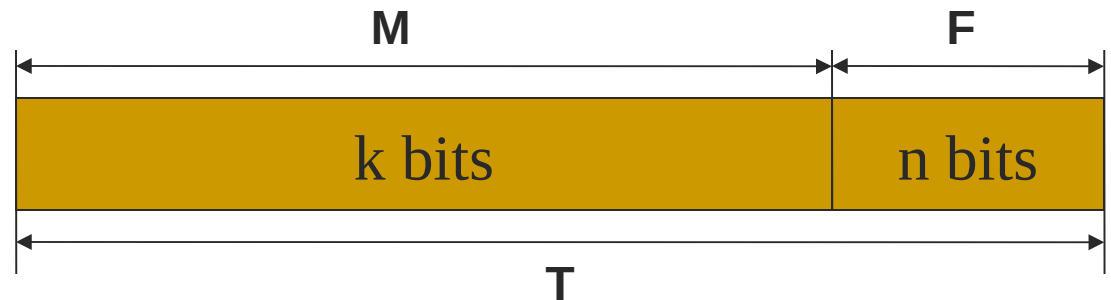
○ Bases

- Detección
- Confirmaciones positivas (ACKs)
- Expiración de temporizadores
- Confirmaciones negativas (NACKs)

Control de Errores

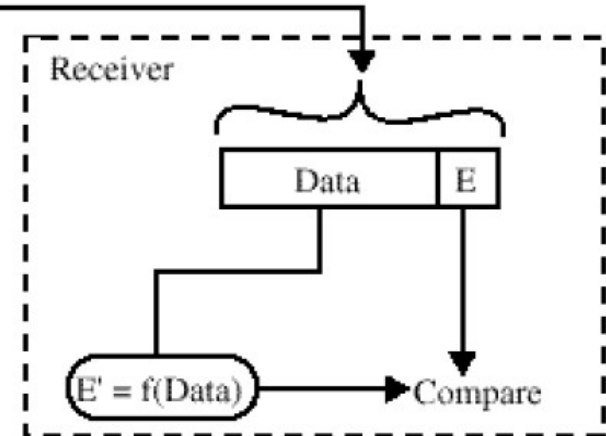
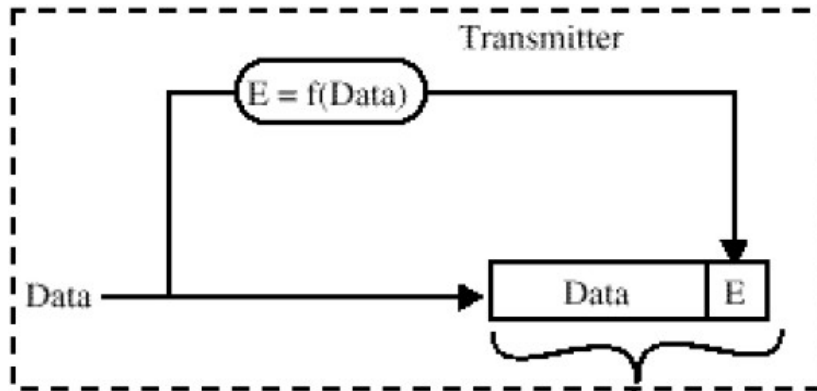
○ Detección de Errores

- Comprobación de paridad
- Comprobación de redundancia cíclica



○ Corrección de Errores

Control de Errores



E, E' = error detecting codes
 f = error detecting code function

Control de Errores

CRC

- $M(x)$ es el polinomial del mensaje
- Sea $P(x) = x^p + \dots + 1$.
- Sea $x^p M(x) = Q(x)P(x) + R(x)$
- Se transmite $M(x)x^p + R(x)$
-

Polinomios estándares (internacionales)

$$\text{CRC-12 } G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

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

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

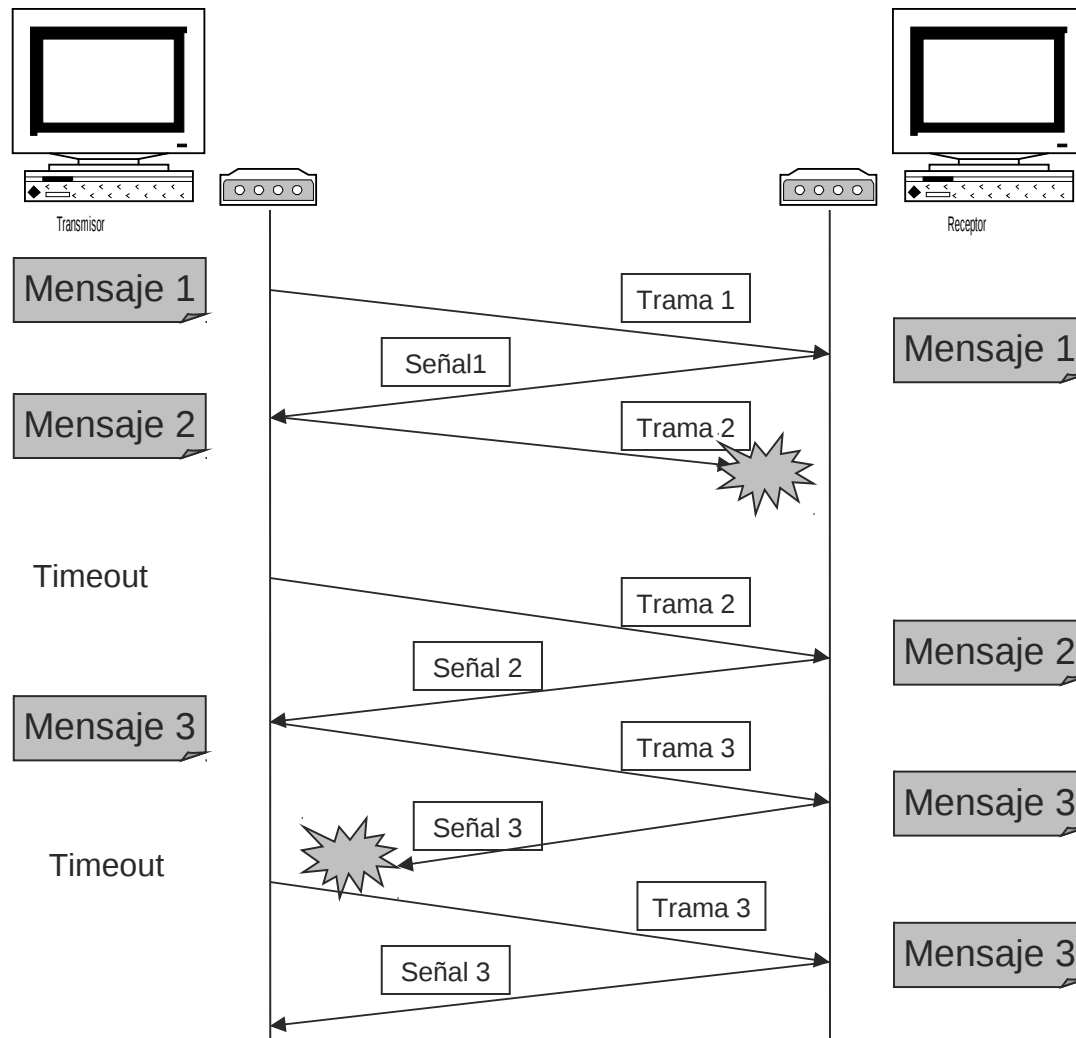
$$\text{CRC-32 } G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

Control de Errores

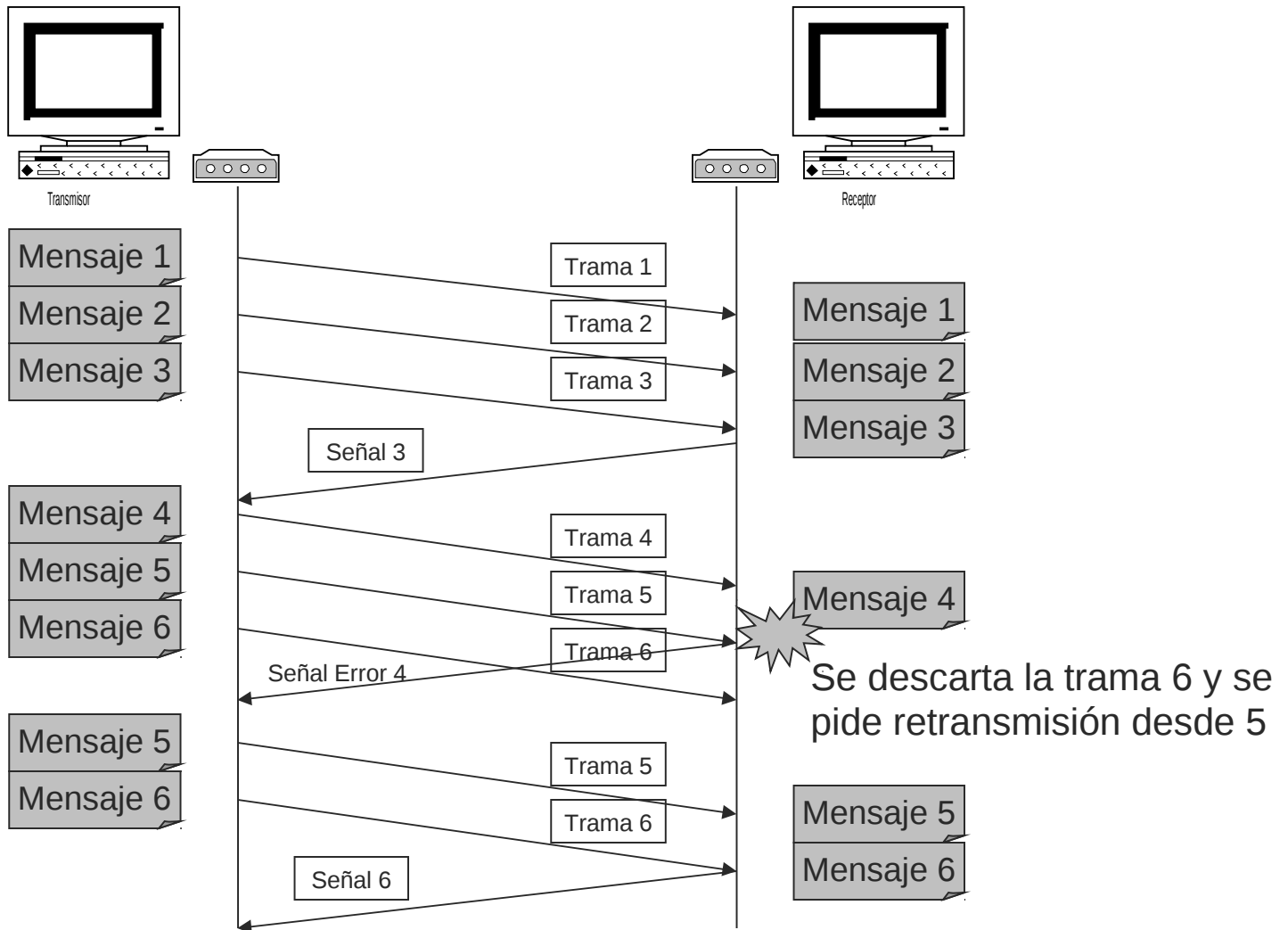
■ Técnicas

- **Solicitud de Repetición Automática (ARQ)**
 - ARQ con parada y espera
 - ARQ adelante-atrás-N
 - ARQ con retransmisión selectiva

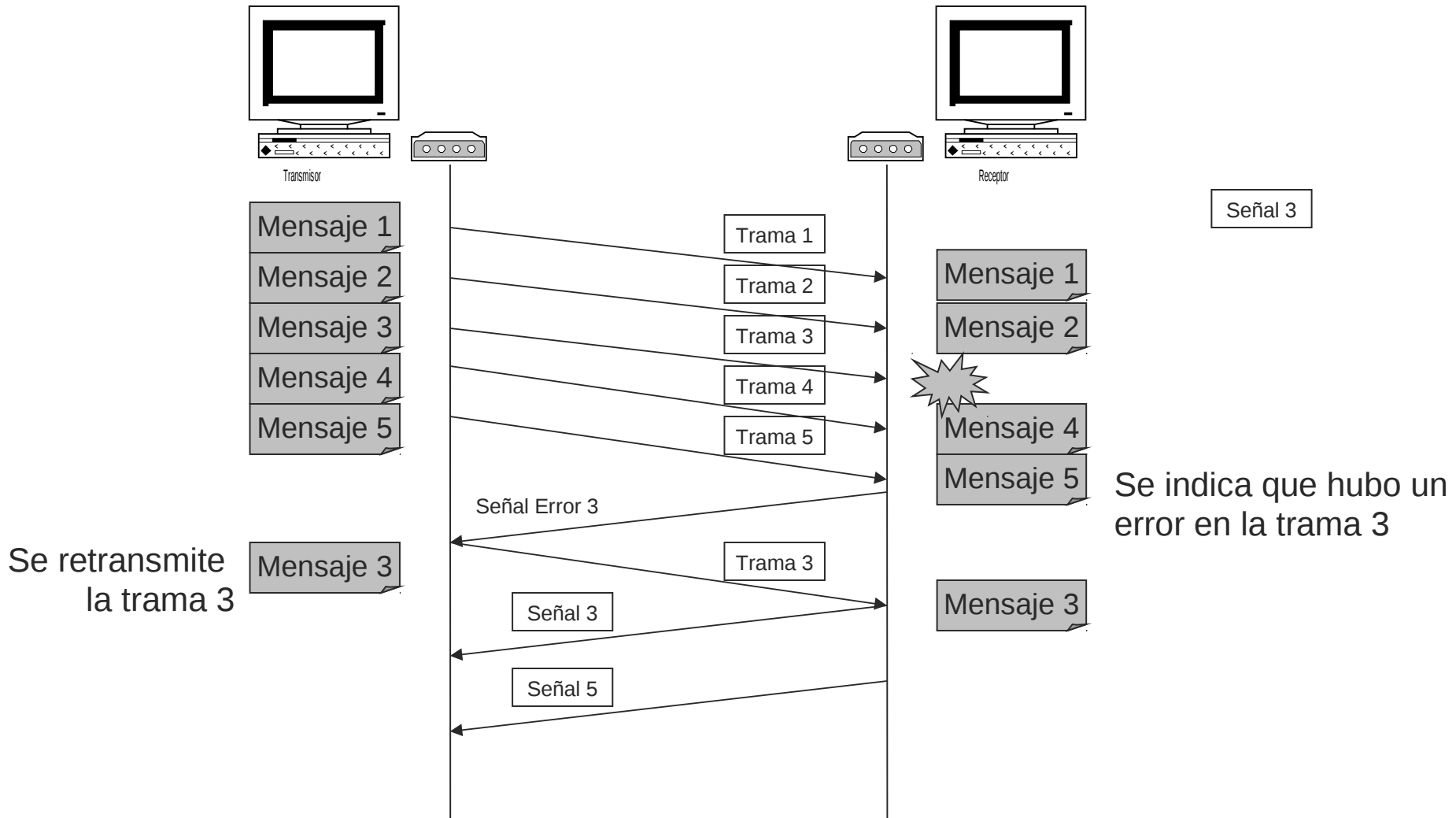
ARQ Con Parada y Espera



ARQ Adelante-Atrás-N



ARQ Con Retransmisión Selectiva



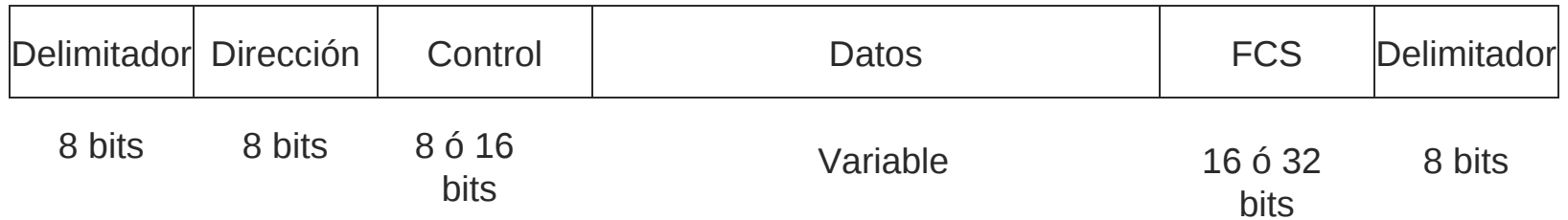
HDLC Control del Enlace de Datos de Alto Nivel

■ Estándar ISO 3309 - ISO 4335

■ Características

- Tres tipos de estaciones
 - Primaria/Secundaria/Combinada
- Configuración
 - Balanceada/No Balanceada
- Tres modos de transferencia
 - NRM - Modo de respuesta normal
 - ABM - Modo balanceado asincrónico
 - ARM - Modo de respuesta asincronico

HDLC – Estructura de la Trama



■ Tres tipos de tramas

- I: Información
- S: Supervisión
- U: No Numeradas



N(S): # de secuencia enviado

S: bits p/tramas de supervisión

P/F: Bits de poll/final

N(R): # de secuencia recibido

M: bits p/tramas no numeradas

HDLC – Estructura de la Trama

■ Tres tipos de tramas

- Secuencia de bits 01111110
- Bit stuffing 011111010

■ Ejemplo

- Secuencia original 011111111011111100
- Secuencia c/bit stuffing 011111011110111110100

HDLC – Estructura de la Trama

- **Campo de dirección**
 - Identifica las estaciones
- **Campo de control**
 - Identifica el tipo de trama (+ opciones)
- **Campo de información**
 - Carga (payload) de la trama (si corresponde)
- **Campo de FCS**
 - Código de detección de errores (CRC)

HDLC – Comandos y Respuestas

■ Información

- Información (I) Intercambio

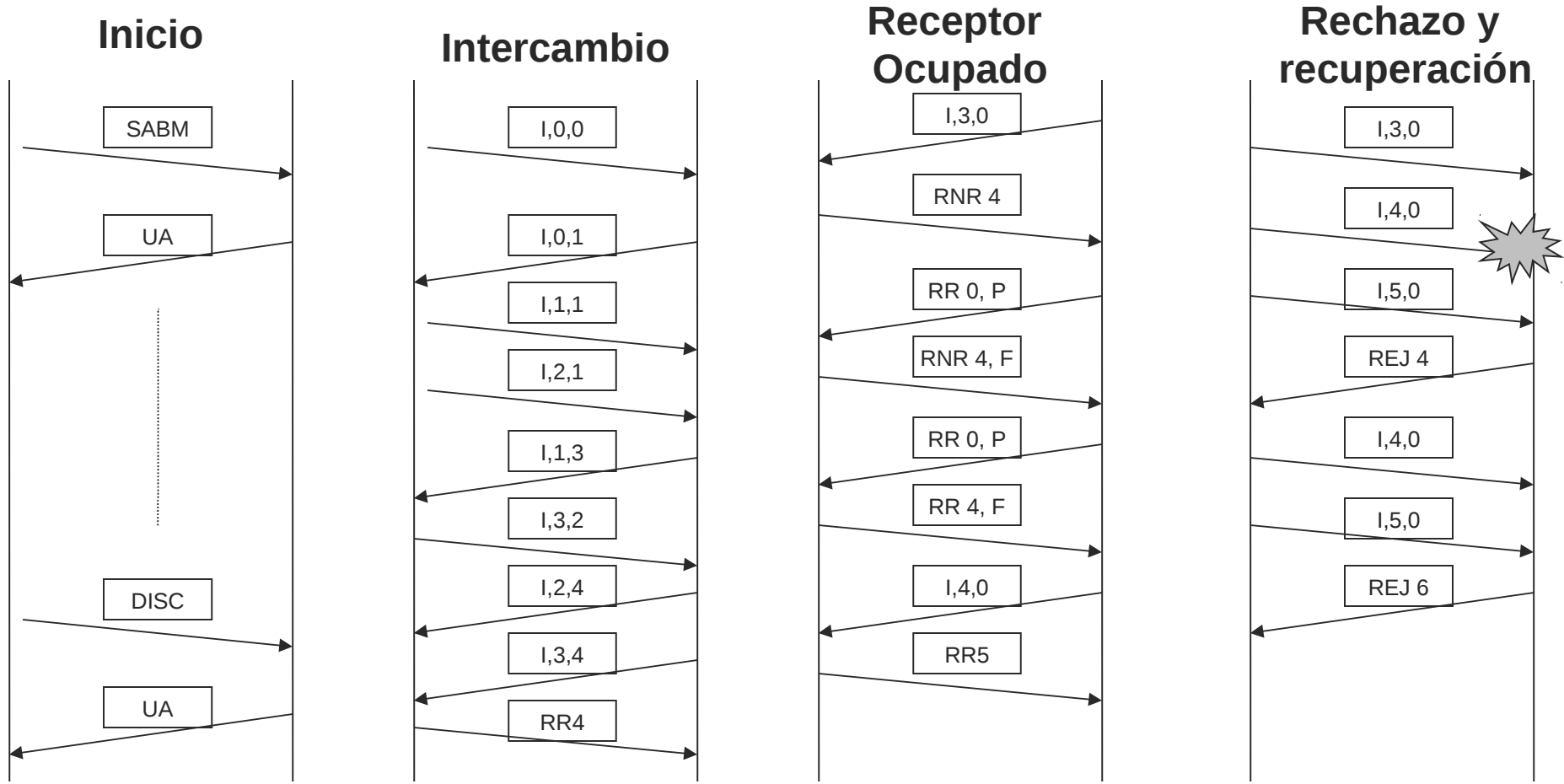
■ Supervisión

- Receptor preparado (RR)
- Receptor no preparado (RNR)
- Rechazo (REJ) Go-Back-N
- Rechazo selectivo (SREJ)

■ No numeradas

- Fijar modo de respuesta (SNRM/SARM/SAMB)
- Desconectar (DISC)
- Confirmación (UA)
- Reset (RSET)

HDLC – Ejemplos de Operación



Otros Protocolos de Enlace

- **SDLC** Synchronous Data Link Control - IBM
- **LAPB** Link Access Procedure-Balanced - X.25
- **LAPD** Link Access Procedure for D channel - ISDN
- **LAPF** Frame Relay
- **LAPM** Link Access Procedure for Modems - v.42
- **LLC** Logical Link Control - LAN (IEEE)
- **PPP** Point to Point Protocol - Internet
- **ATM** Asynchronous Transfer Mode

El Nivel de Enlace en Internet

En la pila TCP/IP **no se especifica** protocolo de enlace alguno, es decir que IP está diseñado para funcionar sobre casi cualquier enlace que lo soporte (“IP over everything”)

Medio	RFC	Año
X.25	877, 1356	1983
Ethernet	894	1984
802.x	1042	1988
FDDI	1188, 1390	1990
PPP	1171, 1663	1990
Frame Relay	1490	1993
ATM	1483, 1577	1994

Capa de Enlace

■ Análisis de Prestaciones

■ Factores a considerar:

○ a) Retardos

- Procesamiento (examinar mensaje)
- Cola (espera por transmisión por un enlace)
- Transmisión (“inyectar” mensaje)
- Propagación (tiempo que tarda 1 bit en recorrer el enlace)

○ b) Control de Flujo

○ c) Errores

Capa de Enlace

■ Análisis de Prestaciones: Parada y Espera

Simplificaciones

- T_{proc} Se considera despreciable (Procesadores actuales)
- Tamaño ACK También despreciable (Comparado al frame de datos)

Entonces

$$T_f = 2T_{prop} + T_{trama} \quad U = \frac{T_{trama}}{(2T_{prop} + T_{trama})}$$

Sea

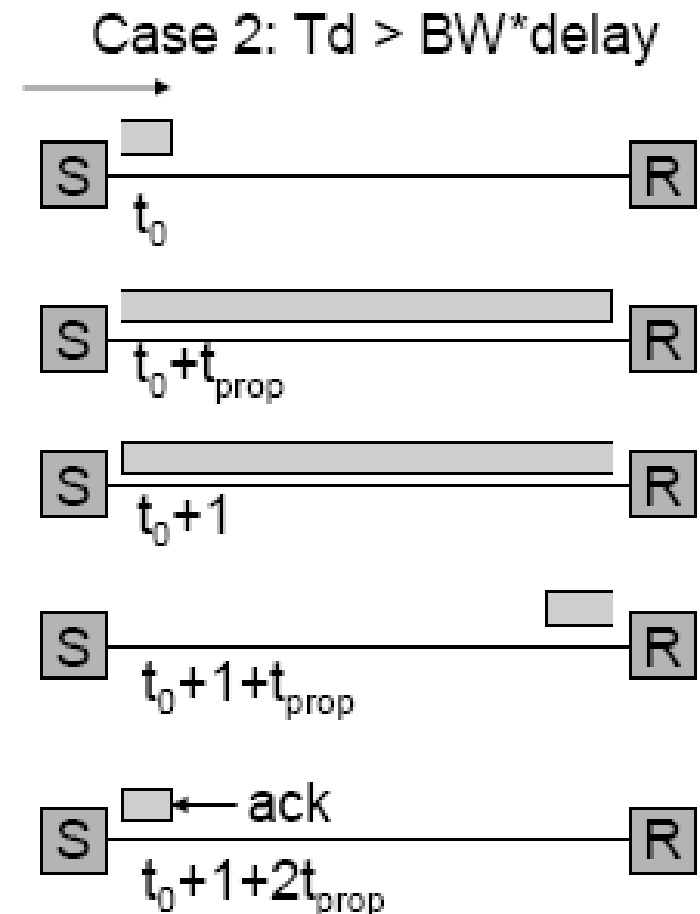
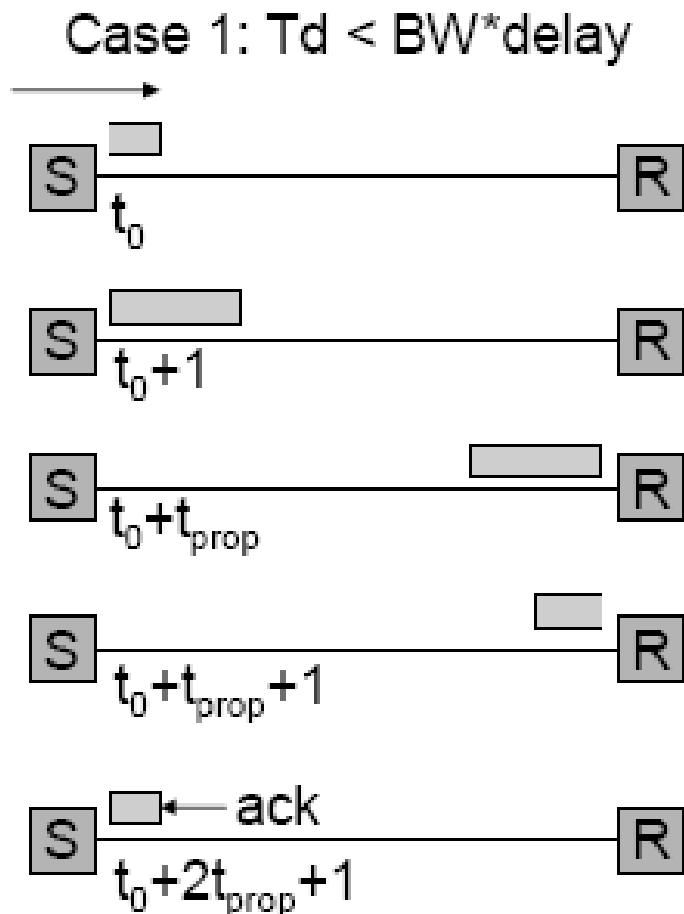
$$a = \frac{T_{prop}}{T_{trama}}$$

Luego

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

Capa de Enlace

■ Análisis de Prestaciones: Parada y Espera



Capa de Enlace

■ Análisis de Prestaciones: Parada y Espera

Modem at 56kbps, 1500 bits, 10 km

- $a = RD/VL = 56,000 * 10,000 / 1,500 * 2 \times 10^8 = 0.002$
- Utilisation, $U = 1 / (1 + 2 * 0.002)$
- $U = 0.996 = 99.6\%$

ATM at 155Mbps, 424 bits, 600km

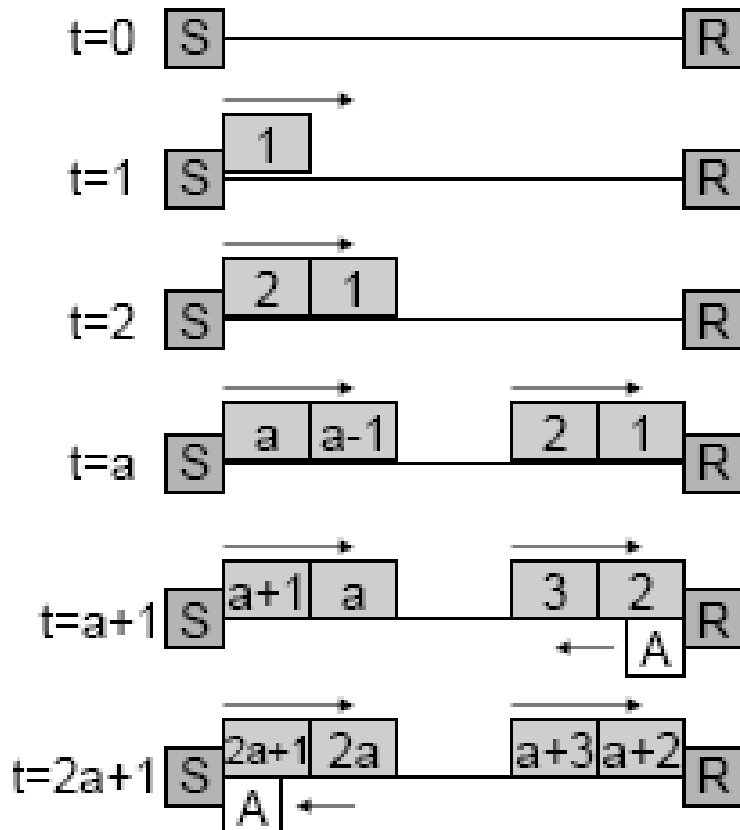
- $a = 155 \times 10^6 * 600,000 / 424 * 2 \times 10^8 = 1096.7$
- Utilisation, $U = 1 / (1 + 2 * 1096.7)$
- $U = .0005$ (approx) = 0.05%

Capa de Enlace

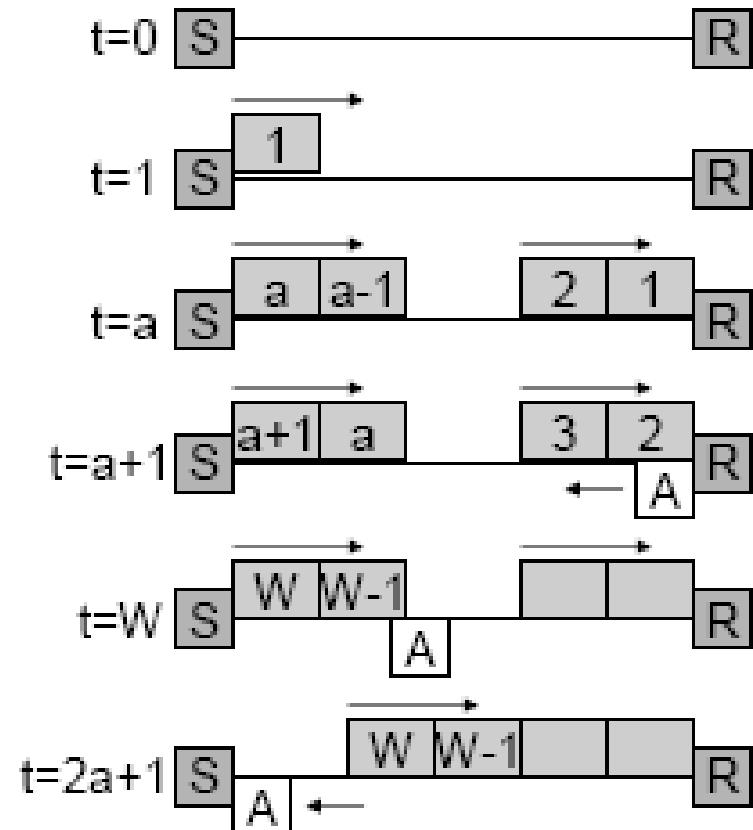
■ Análisis de Prestaciones: Ventanas desliz.

transmission = 1; propagation = a ; window size = W

$W > 2a + 1$



$W < 2a + 1$



Capa de Enlace

■ Análisis de Prestaciones: Ventanas desliz.

$$\text{line utilisation} = \begin{cases} 1 & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases}$$

Two key variables:

a – the propagation delay *

W – the window size

* *When normalised for frame transmission = 1*