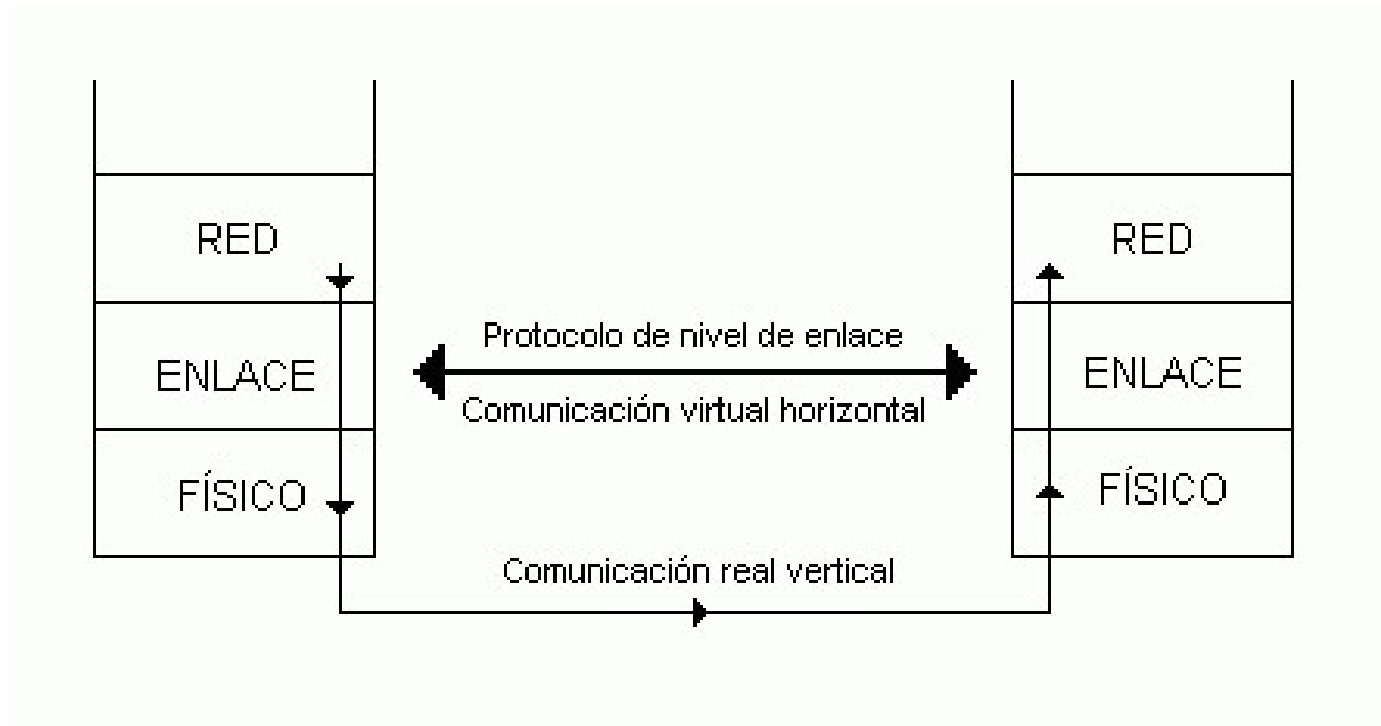


TEMA 4

NIVEL DE ENLACE

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Función genérica del nivel de enlace: comunicación libre de errores en un medio físico.



Fragmentación de paquetes
Numeración de paquetes
Reconocimiento de la información
Reenvío de paquetes erróneos
Control del flujo

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Modalidades de protocolos en el nivel de enlace

Protocolos sin conexión y sin reconocimiento

- Medios físicos con baja tasa de error
- Más importante el retardo que la fiabilidad
- Ejemplo: Ethernet

Protocolos sin conexión y con reconocimiento

- Medios físicos con tasa de error considerable
- Sólo confirmación del envío de información
- Ejemplo: Wi-Fi (IEEE 802.11)

Protocolos con conexión y con reconocimiento

- Medios físicos con tasa de error considerable
- Control del flujo: ordenación de paquetes y reenvío correcto
- Ejemplo: HDLC (no empleado en la actualidad)

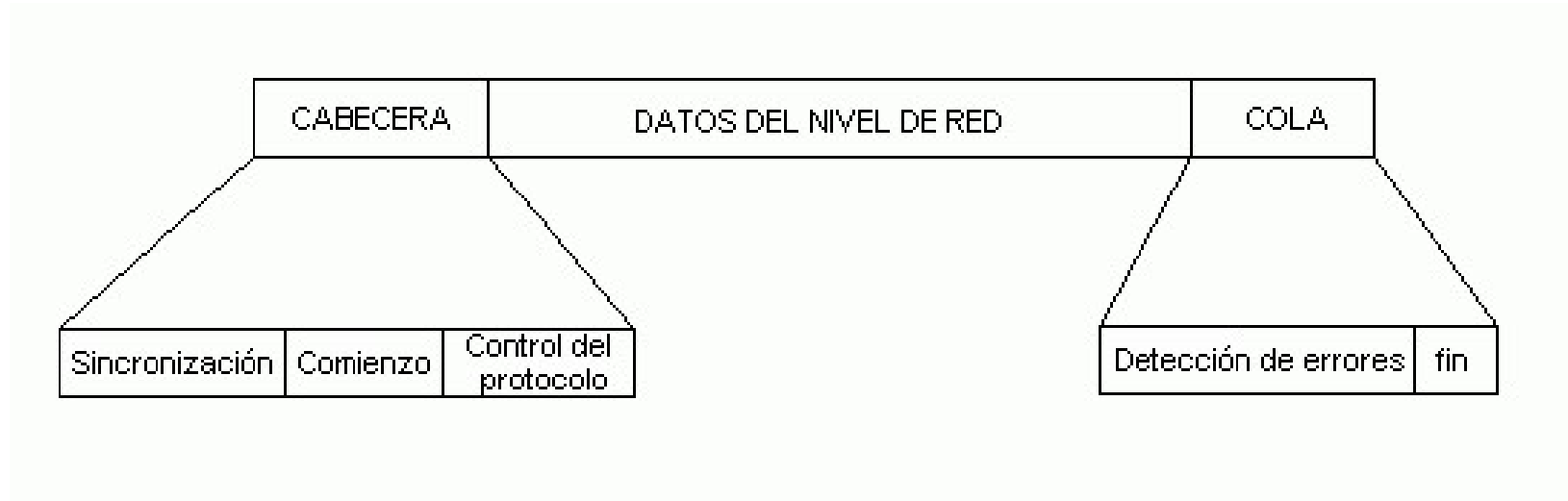
4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Funciones del nivel de enlace

A) Delimitación de paquetes	Identificación del inicio y fin de un paquete
B) Direccionamiento	Identificación de los extremos de la comunicación en un medio físico
C) Control de errores	Asegura una transmisión sin errores debidos al medio físico
D) Control del flujo	Control del flujo de tramas entre emisor y receptor para evitar congestiones, reenvíos incorrectos, etc.

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Formato de un paquete de nivel de enlace



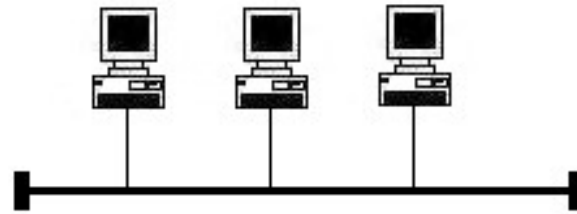
Formato del paquete Ethernet



4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Direccionamiento

Objetivo: Identificar los elementos que intercambian paquetes de nivel de enlace en un medio físico.



El mecanismo de direccionamiento consiste en asignar secuencias de bits únicas a cada máquina. La cantidad de bits (b) asociados a una dirección nos indica el rango de direccionamiento.

Para $b=5$, tendríamos 2^5 máquinas, identificadas desde la secuencia 00000 a la 11111.

Tipos

Implícito	No es necesario especificar las máquinas origen y destino que intercambian paquetes. Ej: línea punto a punto.
Explícito	Es necesario especificar las máquinas origen y destino que intercambian paquetes. Ej: Ethernet.

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

FCS (*Frame Check Sequence*): Secuencia de verificación de trama (paquete) (SVT)

Conjunto reducido de datos que suele añadirse en la cola de un paquete de enlace y que permite determinar si la información del paquete ha sufrido algún error.

Dependiendo del tipo de información en la FCS se distingue entre:

A) Códigos de detección de error

Procedimientos que determinan un valor de FCS que permite detectar si el paquete de nivel de enlace presenta algún bit erróneo, pero no puede identificarlo.

B) Códigos de corrección de error

Procedimientos que determinan un valor de FCS que permite detectar si el paquete de nivel de enlace presenta algún bit erróneo e identificarlo, por lo que la trama puede ser corregida en el receptor.

Estos procedimientos no se emplean en las redes de computadores actuales, pues el retardo en el reenvío de un paquete que ha sufrido un error es muy inferior al tiempo de cómputo para identificar los bits erróneos.

Como excepción, los sistemas de comunicación en sondas de exploración del sistema solar (donde los retardos son muy elevados, del orden de horas) y los sistemas de transmisión de TV digital (la imagen no puede sufrir retardos).

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por paridad de bits de datos

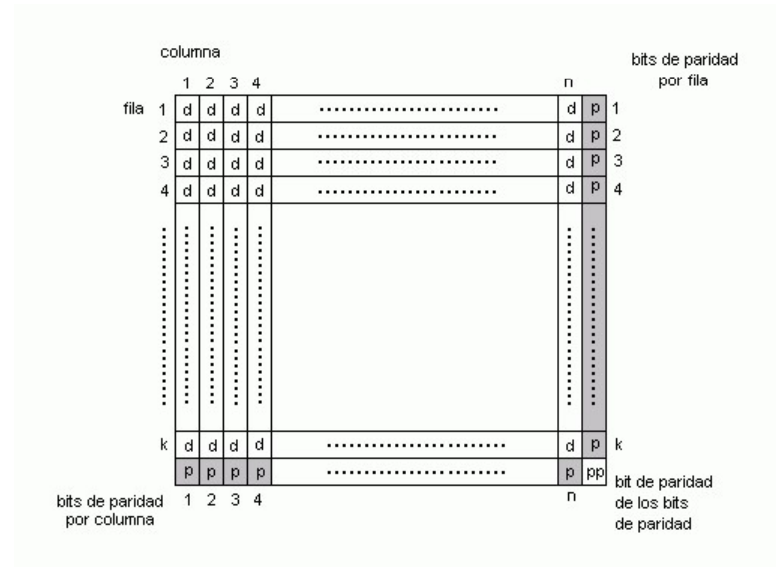
1. Paridad de los bits de datos

Bits de datos	Bit de paridad	Paridad par	00100101 1
00100101	P		00100101 0

Permiten detectar si en el paquete hay errores en un número impar de bits (1,3,5,etc).

2. Paridad por filas y columnas

Permiten detectar si en el paquete hay errores en 2 bits y un número impar de bits (1,3,5, etc).



En general, los sistemas de detección de errores por paridad incorporan mucha información redundante, en comparación con otros sistemas.

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

Asocia un bloque de datos a un polinomio en x , determinando la SVT mediante operaciones y propiedades de polinomios.

$$\mathbf{11101110 \text{ (8 bits)} \rightarrow 1 \cdot x^7 + 1 \cdot x^6 + 1 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 1 \cdot x^1 + 0 \cdot x^0}$$
$$x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x$$

Propiedad de la división

$D(x)$ = Polinomio asociado a los datos a transmitir

$G(x)$ = Polinomio generador

$T(x)$ = Polinomio asociado a los datos transmitidos por el emisor

$$\begin{array}{r|l} D(x) & G(x) \\ \hline R(x) & C(x) \end{array}$$

$$T(x) = D(x) - R(x)$$

El receptor realiza la operación división de la secuencia recibida entre el mismo polinomio generador, analizando el resto.

Si $T(x) \% G(x) = 0$ Transmisión correcta

Si $T(x) \% G(x) \neq 0$ Transmisión incorrecta

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

La elección del polinomio generador se realiza para cumplir con las propiedades de detección de errores más adecuadas. Dado un polinomio generador de grado r , es posible detectar errores en 2 bits, un número impar de bits y errores en ráfaga (bits erróneos consecutivos) de longitud menor que r .

Polinomios generadores $G(x)$

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

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

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

División de polinomios para el cálculo del CRC

$$\begin{array}{r} D(x) \cdot x^r \quad \overline{) \quad G(x)} \\ R(x) \quad C(x) \end{array}$$

$r = \text{grado de } G(x)$

$$T(x) = D(x) \cdot x^r - R(x)$$

La operación resta es la operación XOR

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

Ejemplo

$$D(x) = 1101011011 \quad G(x) = x^4 + x + 1 \quad r = 4 \quad D(x) \cdot x^r = 11010110110000$$

$$\begin{array}{r} \overline{11010110110000} \\ \oplus \quad 10011 \\ \hline 010011 \\ \oplus \quad 10011 \\ \hline 000001 \\ \oplus \quad 00000 \\ \hline 000010 \\ \oplus \quad 00000 \\ \hline 000101 \\ \oplus \quad 00000 \\ \hline 001011 \\ \oplus \quad 00000 \\ \hline 010110 \\ \oplus \quad 10011 \\ \hline 001010 \\ \oplus \quad 00000 \\ \hline 010100 \\ \oplus \quad 10011 \\ \hline 001110 \\ \oplus \quad 00000 \\ \hline 01110 \\ \hline R(x) \end{array}$$

$$T(x) = D(x) \cdot x^r - R(x)$$

$$\begin{array}{r} 11010110110000 \\ \oplus \quad 00000000001110 \\ \hline 11010110111110 \end{array}$$

$$T(x) = D(x) R(x)$$

R(x) es la FCS incluida en la trama de enlace

4.2 Algoritmos de control del flujo

Objetivos

La funcionalidad del control del flujo en el nivel de enlace tiene como objetivos:

- Controlar el envío y recepción correcto de los paquetes de nivel enlace

- Controlar la sincronización del emisor y receptor de datos

- Evitar congestiones en el envío de información del emisor al receptor

Para llevar a cabo estas funcionalidades se suelen emplear dos protocolos diferentes para el control del flujo

Protocolos de parada y espera

Protocolos de ventana deslizante

La funcionalidad de control del flujo se puede realizar a nivel de enlace (protocolos de control del medio físico) o nivel de transporte (protocolos de control de la comunicación extremo a extremo, como TCP).

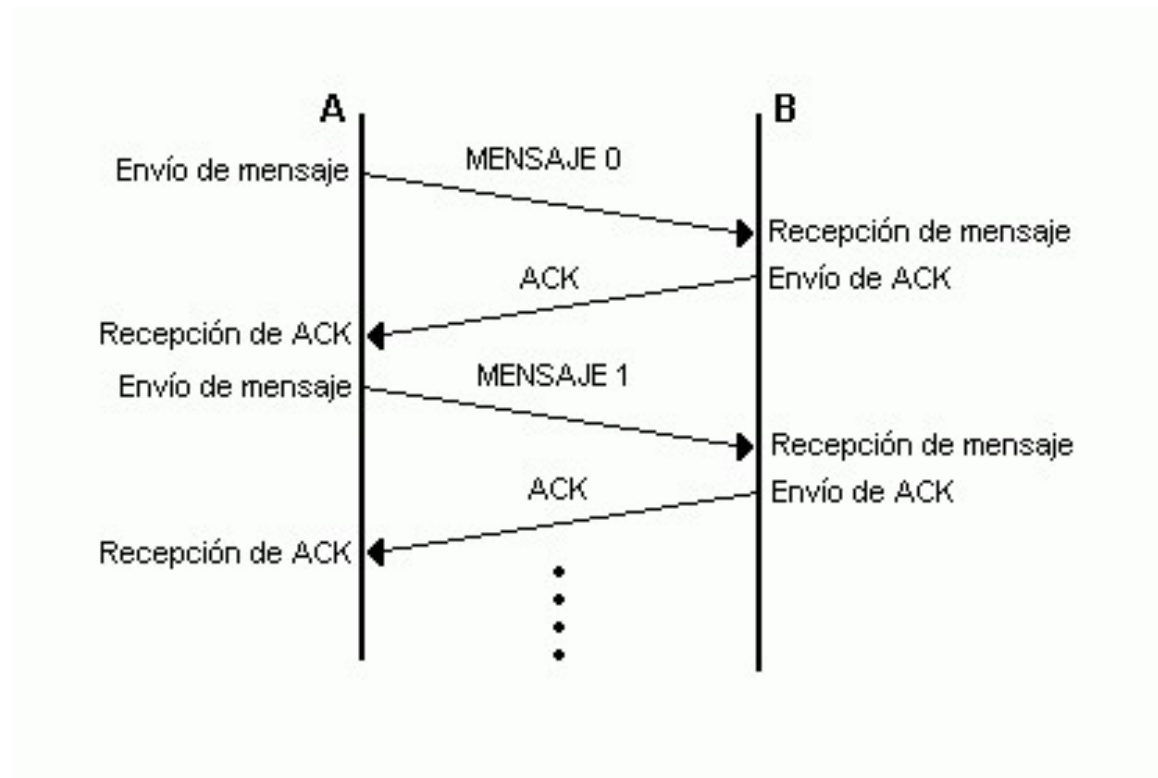
4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de parada y espera

El control del flujo se establece en que el emisor debe esperar a una confirmación por parte del receptor por cada bloque de datos enviado para poder continuar la transmisión.

Tiene un bajo aprovechamiento del medio físico, sobre todo cuando los retardos en el medio son elevados.

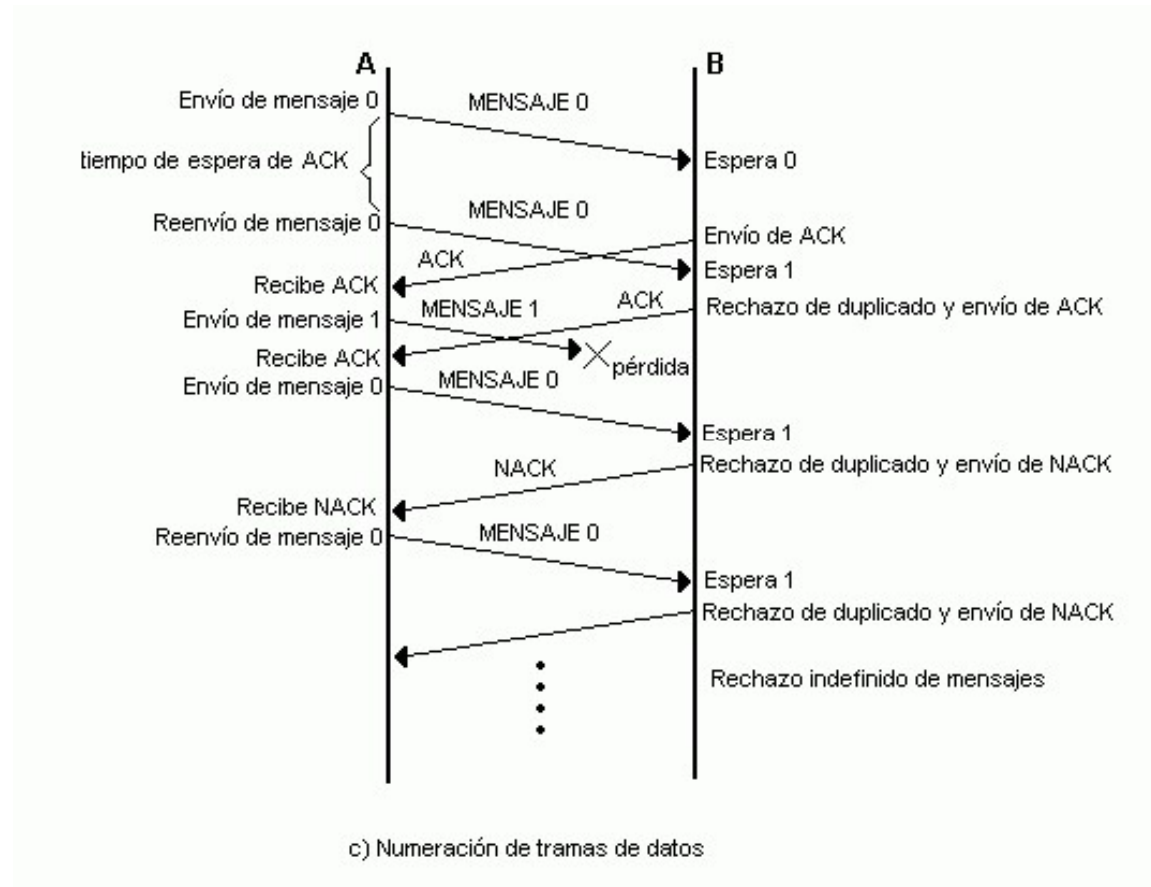
Protocolo unilateral de parada y espera. Canal sin errores



4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de parada y espera

Protocolo unilateral de parada y espera. Canal con errores



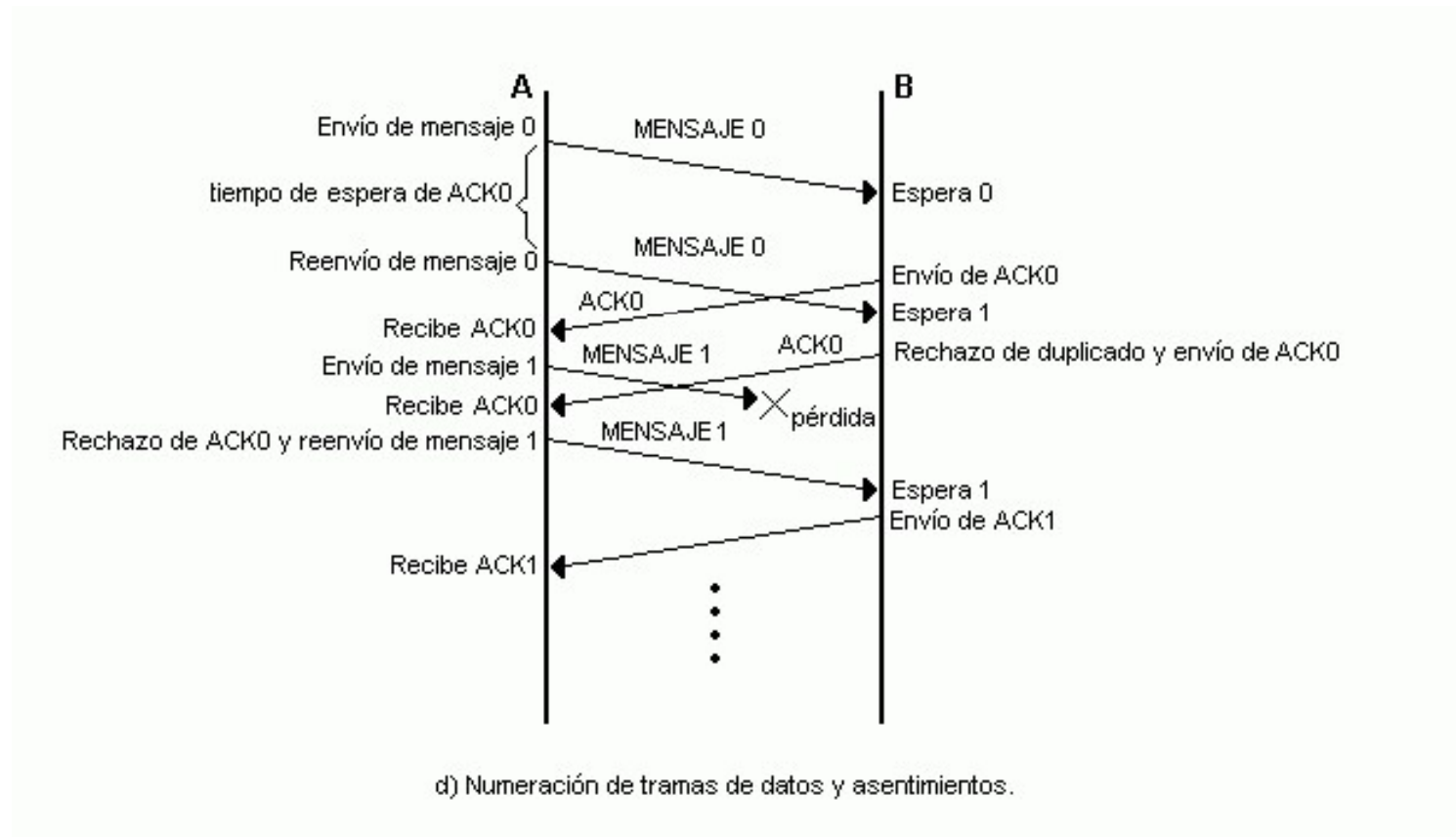
El control de la numeración de los paquetes de datos transmitidos no es suficiente para solventar todos los posibles errores.

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de parada y espera

Protocolo unilateral de parada y espera. Canal con errores

El control de la numeración de los paquetes de datos y asentimientos es suficiente para solventar los posibles errores, aunque el rendimiento de la comunicación es bajo debido a los retardos.

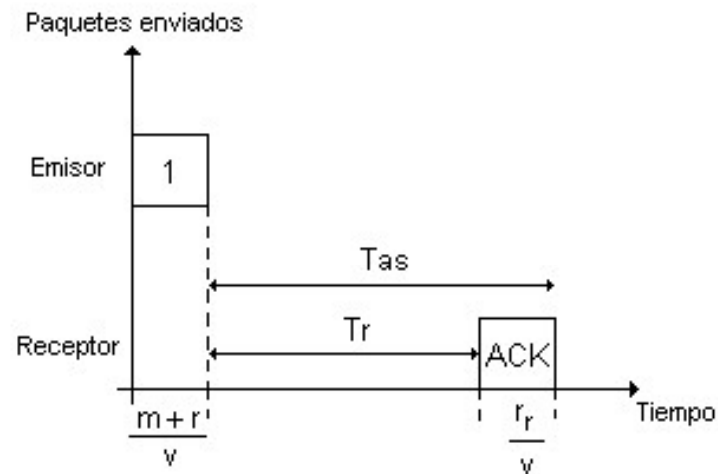


4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Objetivo

Mejorar el aprovechamiento del canal de comunicación enviando datos aunque no se haya recibido el ACK de los datos.



Definiciones

Lista del emisor: conjunto de secuencias de numeración de los paquetes de datos.

Ejemplo: Si la numeración es con 3 bits, el número de secuencias es 8 (0-1-2-3-4-5-6-7)

Lista del receptor: conjunto de secuencias de numeración de los asentimientos de paquetes de datos.

Ejemplo: Si la numeración es con 3 bits, el número de secuencias es 8 (0-1-2-3-4-5-6-7)

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Definiciones

Ventana del emisor: Conjunto de secuencias de numeración de los paquetes que el emisor ha transmitido y de los que no ha recibido su ACK correspondiente.

Ventana del receptor: Conjunto de secuencias de numeración de los paquetes que el receptor espera recibir y de los que enviará ACK.

Tamaño de ventana del emisor: Número de secuencias en la ventana del emisor.

Tamaño de ventana del receptor: Número de secuencias en la ventana del receptor.

Funcionamiento del protocolo de ventana deslizante

Cada vez que el emisor envía un paquete de datos se añade su secuencia a la ventana del emisor. Existirá por tanto, un número máximo de secuencias en la ventana del emisor que se denomina ***Tamaño de la ventana del emisor (W_e)***. Cuando se recibe un ACK de la secuencia transmitida, se elimina la secuencia de la ventana del emisor.

El receptor espera paquetes de datos cuya secuencia esté en la ventana del receptor. El número de secuencias en la ventana del receptor se denomina ***Tamaño de la ventana del receptor (W_r)***. Cuando se recibe un paquete con secuencia dentro de la ventana del receptor, se envía un ACK de la secuencia al emisor y se introduce una nueva secuencia en la ventana del receptor.

4.2 Algoritmos de control del flujo

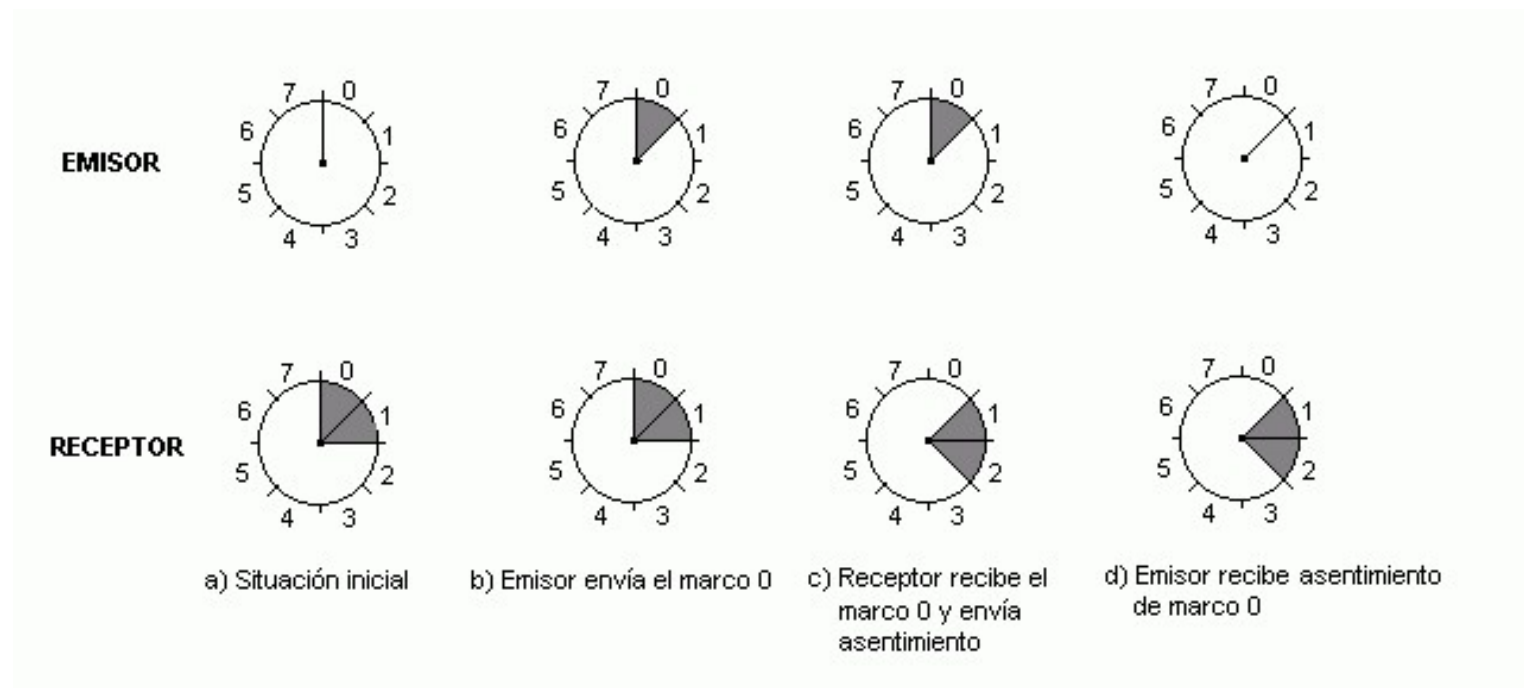
Protocolos de ventana deslizante

Ejemplo del funcionamiento del protocolo de ventana deslizante

Número de secuencias: 8 (0-7)

Tamaño de la ventana del emisor: 1

Tamaño de la ventana del receptor: 2

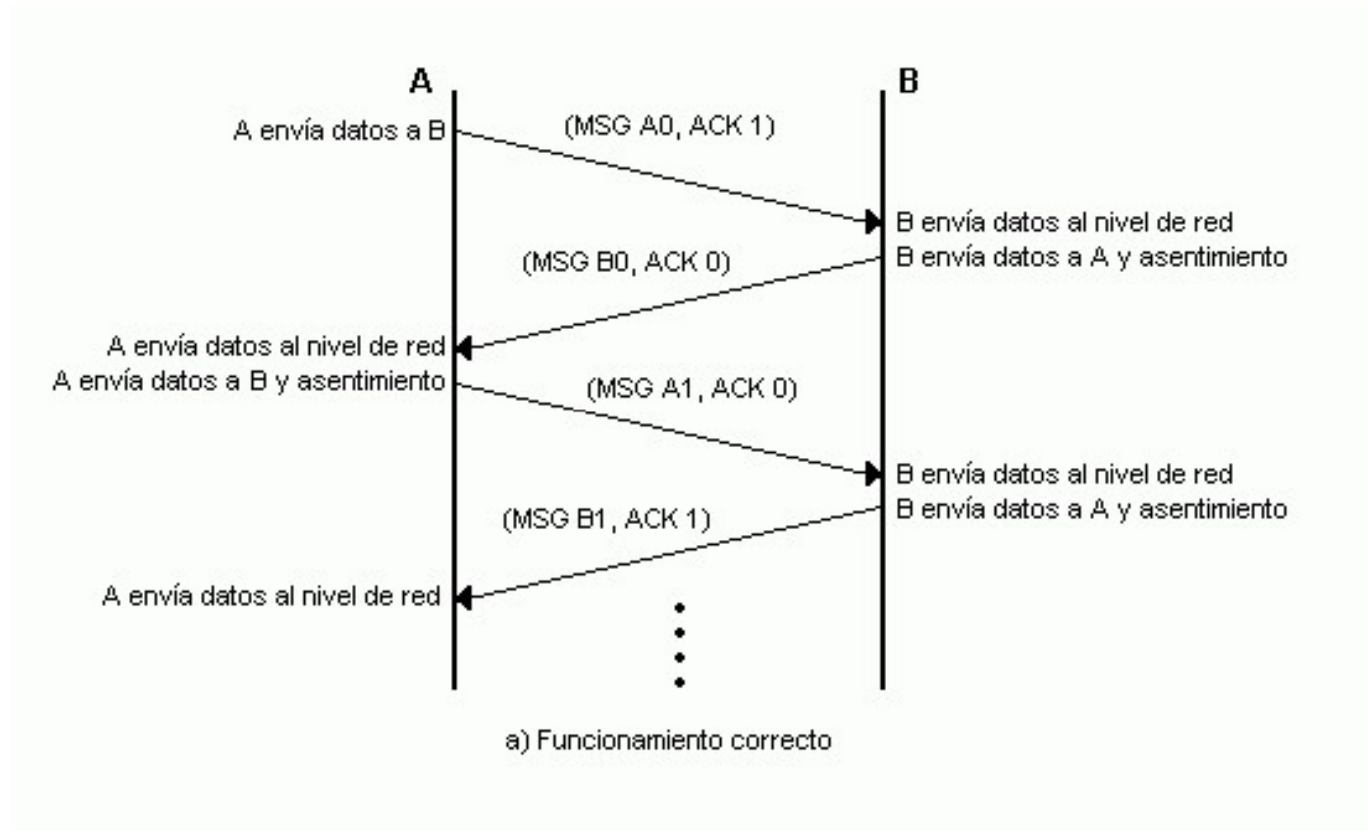


El tamaño de la ventana del emisor **VARÍA** y la del receptor es **CONSTANTE**

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con numeración de 1 bit. $W_e=1$ y $W_r=1$



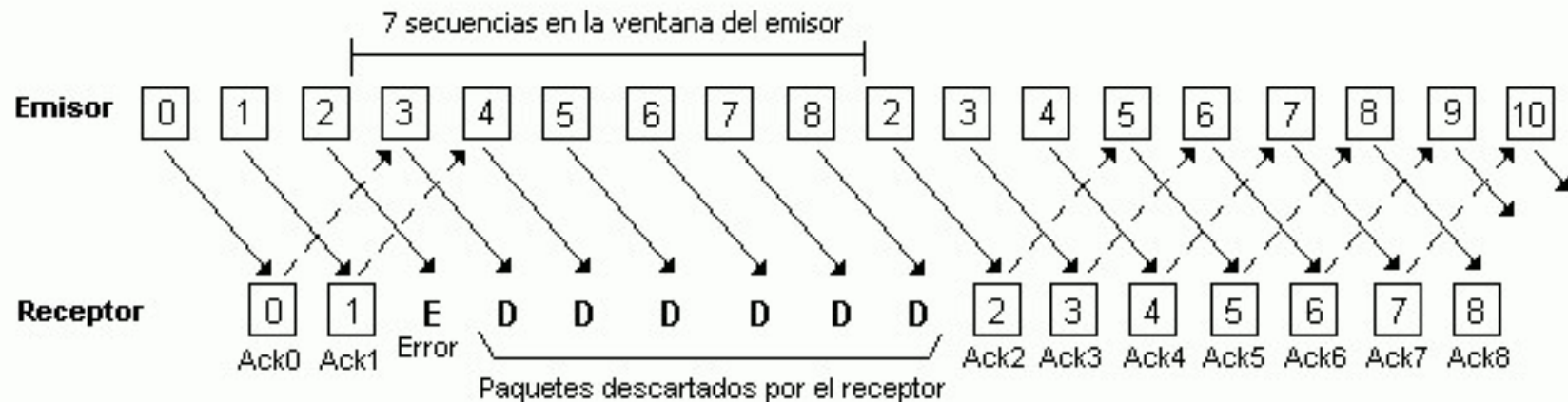
Los protocolos de ventana deslizante son bidireccionales pudiendo incorporar datos e información de confirmación en un mismo paquete.

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con repetición no selectiva. $W_r=1$ SIEMPRE.

Ejemplo: $W_e=7$ y $W_r=1$. El medio físico es full-duplex.



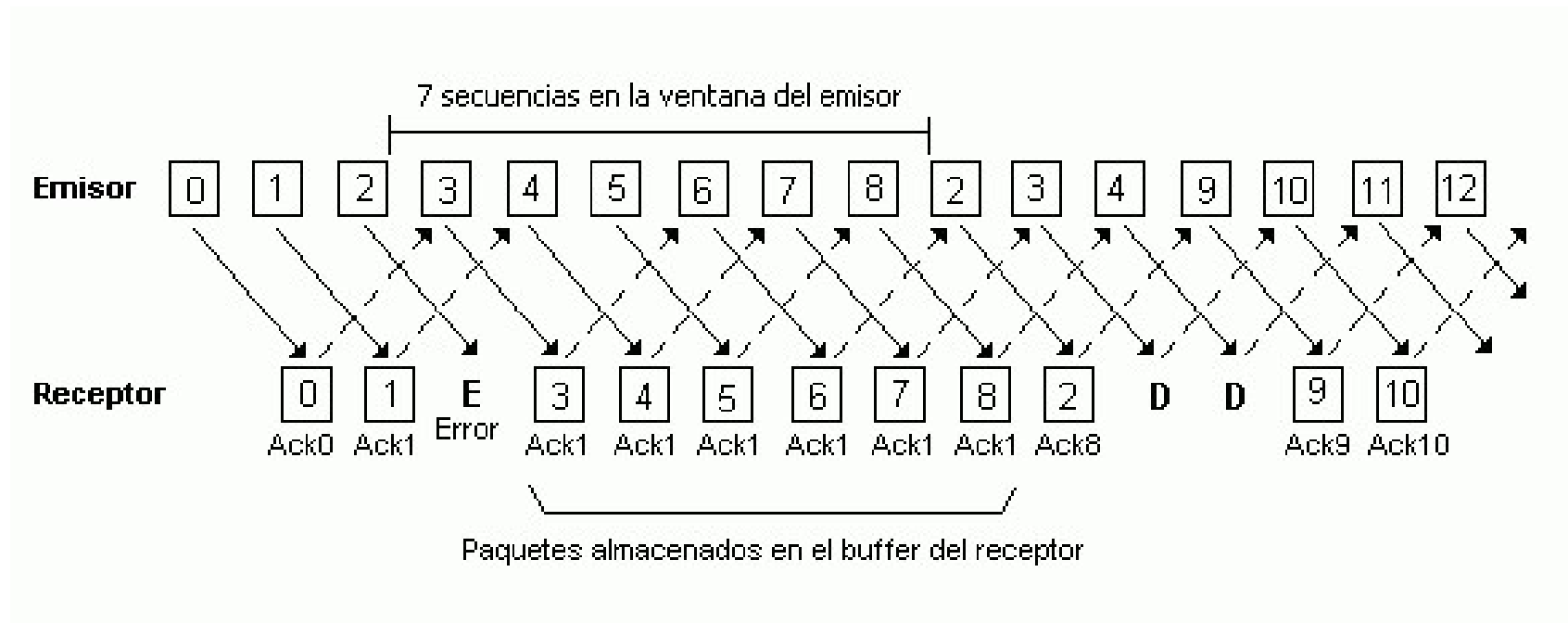
Cuanto mayor es la ventana del emisor mayor desaprovechamiento del medio físico se consigue al producirse un error.

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con repetición selectiva. $W_r > 1$ SIEMPRE.

Ejemplo: $W_e = 7$ y $W_r = 7$. El medio físico es full-duplex.



En este ejemplo se aprecia un desaprovechamiento en el medio físico debido al retardo en el envío del ACK8.

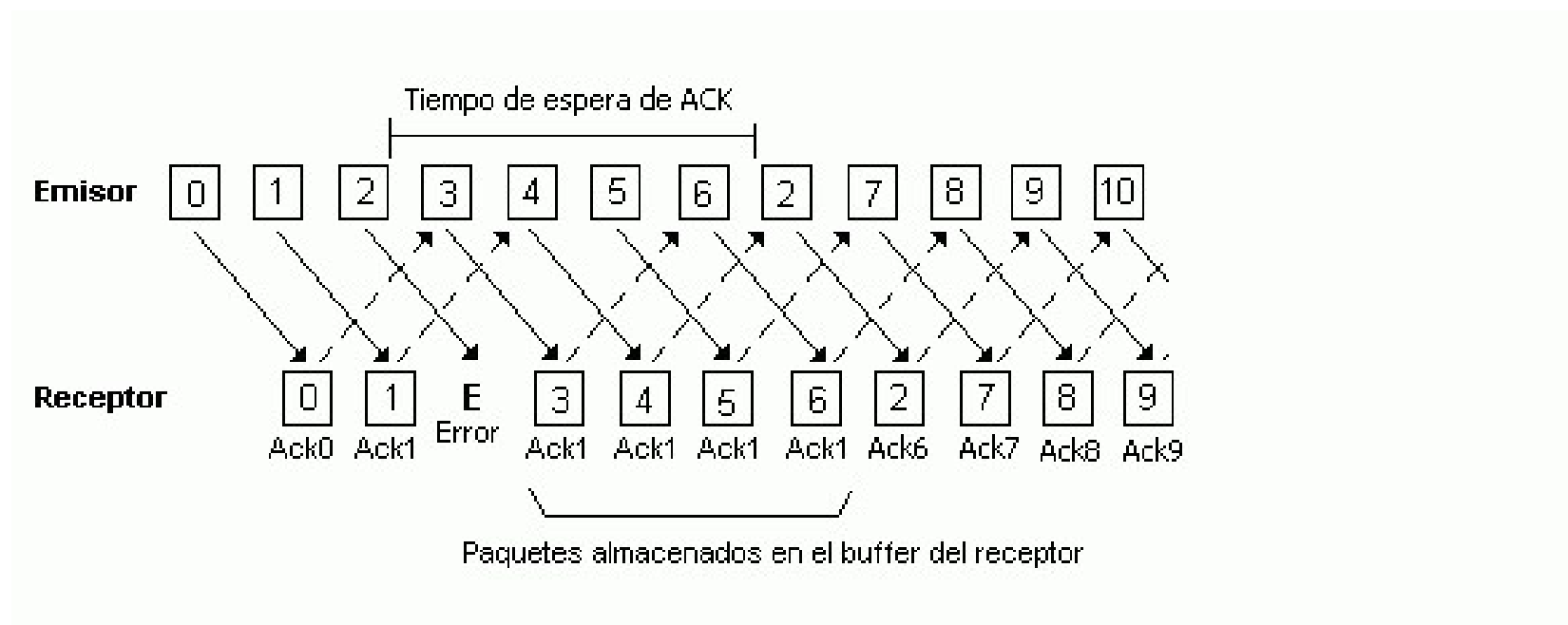
4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con repetición selectiva. $W_r > 1$ SIEMPRE.

Introducción de un tiempo de espera de ACK en el emisor inferior al tiempo de llenado de la ventana del emisor.

Ejemplo: $W_e = 7$ y $W_r = 7$. El medio físico es full-duplex.



Se evita el efecto del retardo en el envío de ACK's.

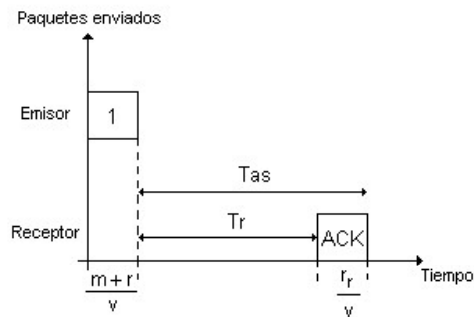
4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Elección del tamaño de la ventana del emisor y del receptor

Ventana del emisor

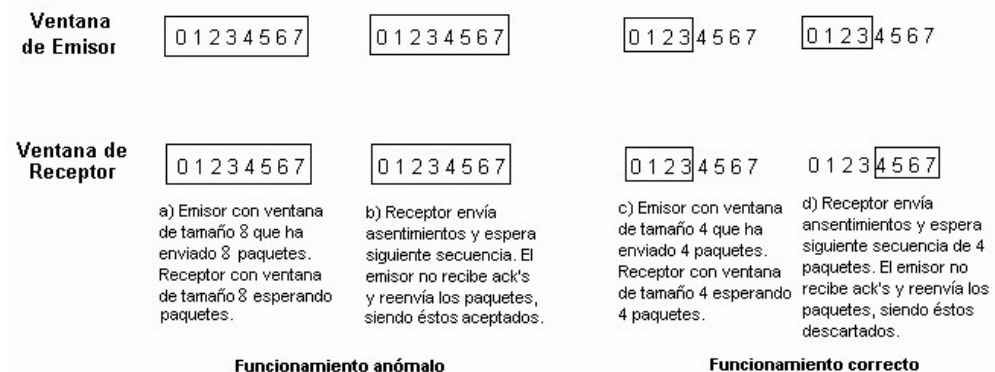
La ventana del emisor debe permitir como MÍNIMO transmitir paquetes hasta que llega el primer ACK de datos.



$$W_{emisor} = \frac{T_{total}}{T_{trama}} = \frac{\frac{m+r}{v} + T_{as}}{\frac{m+r}{v}} = \frac{m+r + v \cdot T_{as}}{m+r}$$

Ventana del receptor

La ventana del receptor no debe permitir repeticiones de secuencia en una rotación completa.

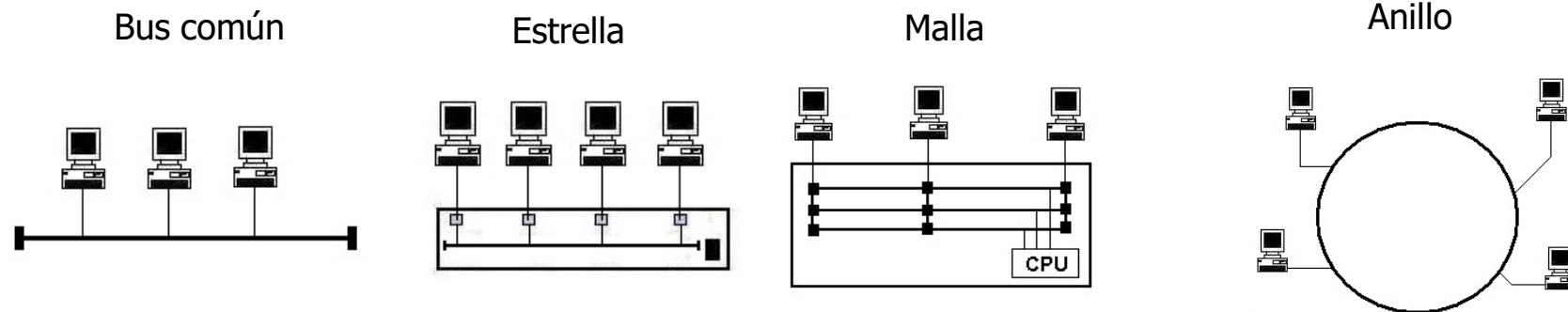


4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Definición

Una Red de Área Local (LAN – Local Area Network) se caracteriza por la interconexión de un conjunto de equipos en una extensión física reducida (metros – varios Km) y empleando un medio físico compartido.

Topologías en LAN



Necesidad de un mecanismo de reparto del medio físico

Velocidades de transmisión en LAN

10 Mbps – 10 Gbps

Medios físicos en LAN

Cables eléctricos, fibra óptica y comunicación inalámbrica

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Modelo TCP/IP

Aplicación
Transporte
Red
Nivel de Acceso a la Red

La arquitectura TCP/IP se desarrolla para funcionamiento en entorno WAN (nivel de red necesario para el encaminamiento)

El nivel de acceso a la red proporciona un mecanismo de intercambio de paquetes en un medio físico de transmisión (equivalente a niveles físico y de enlace en OSI)

Una red LAN puede intercambiar información empleando los niveles de enlace y físico

Modelo TCP/IP

El IEEE desarrolla una normativa para el intercambio de información en una LAN desarrollando una arquitectura de 3 niveles (LLC, MAC y físico).

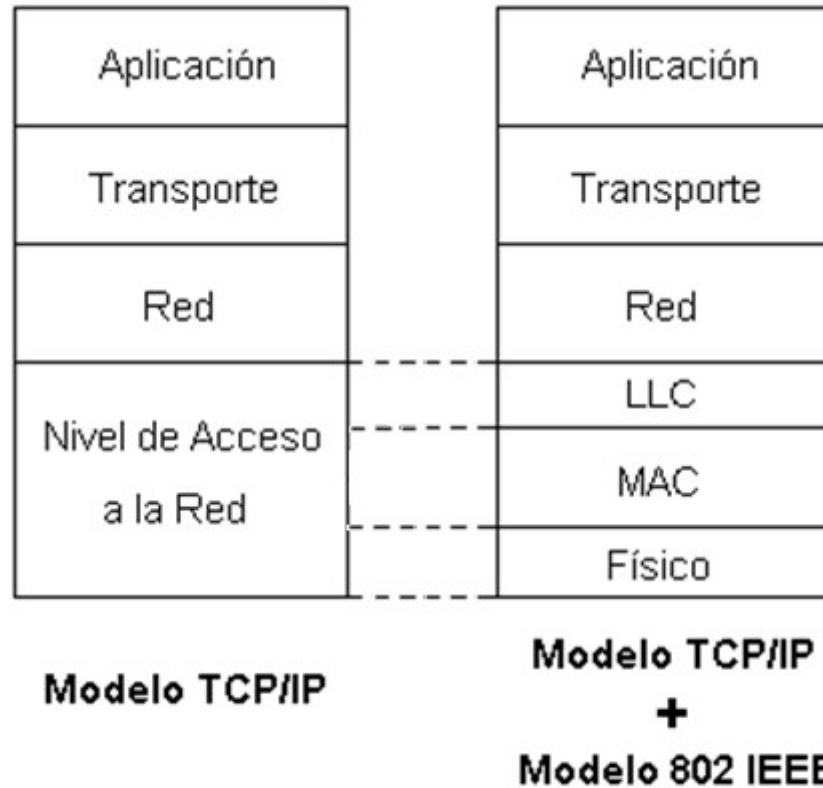
A esta normativa se le denomina **Modelo de Referencia IEEE 802**.

Realmente, el modelo de referencia IEEE 802 son un conjunto de normas denominadas **normas IEEE 802.x**

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Incorporación del modelo del IEEE en el modelo TCP/IP



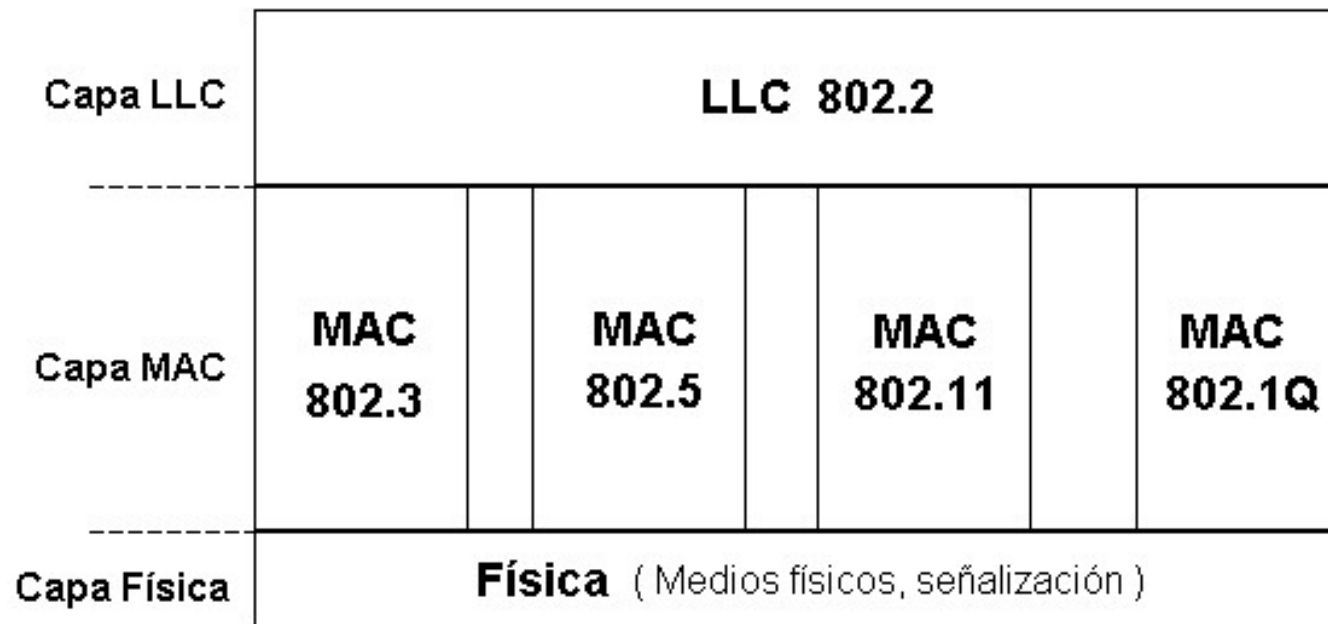
LLC: Control del Enlace Lógico. Funcionalidad de control del flujo y de errores.

MAC: Control de Acceso al Medio. Funcionalidades de reparto del medio físico, direccionamiento físico, etc.

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Arquitectura IEEE 802



IEEE 802.2: Protocolo de Control del Enlace Lógico (LLC)

IEEE 802.3: Ethernet (CSMA/CD)

IEEE 802.11x: LAN Inalámbrica

IEEE 802.5: Token Ring (Anillo con testigo)

IEEE 802.1Q: LAN Virtual (VLAN)

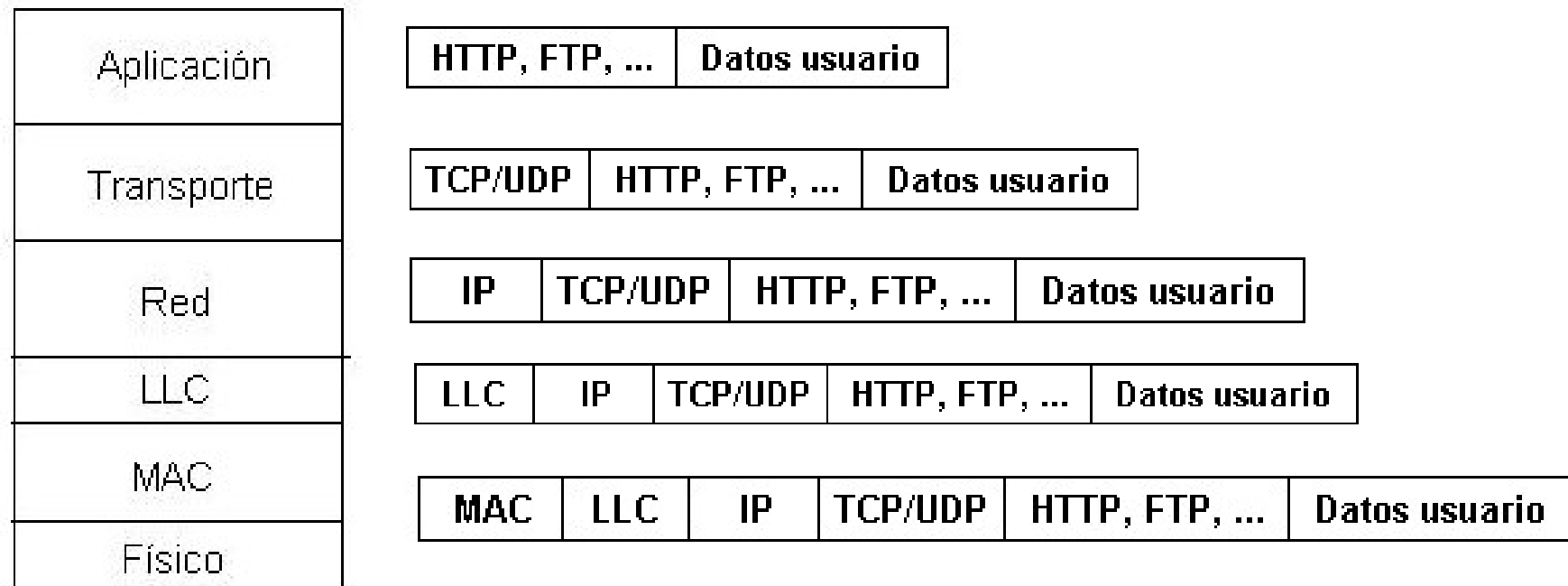
4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Integración TCP/IP con IEEE 802

En el documento RFC 1042 se describe cuál es el procedimiento para la transmisión de paquetes IP en redes LAN que soportan las normas del IEEE.

En **general** (excepto en el caso del IEEE 802.3 Ethernet que tiene dos formatos de paquete) la arquitectura TCP/IP emplea como capas inferiores la LLC, MAC y física del IEEE.



4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Protocolo IEEE 802.2 LLC

El protocolo LLC (Protocolo de Control del Enlace Lógico) se diseñó para proporcionar un conjunto de funcionalidades asociadas a la capa de Enlace del modelo OSI.

Para ello se basó en el protocolo HDLC (Protocolo de Control del Enlace de Alto Nivel) proporcionando 3 tipos de servicio al nivel superior, es decir 3 mecanismos para el envío de paquetes del nivel de red (IP):

Servicio no orientado a conexión y sin confirmación: Servicio sin control de errores ni de flujo, pero muy rápido en funcionamiento (servicio tipo 1). **Es el empleado por TCP/IP.**

Servicio orientado a conexión: Servicio con control de errores y de flujo. Funcionamiento más lento (servicio tipo 2).

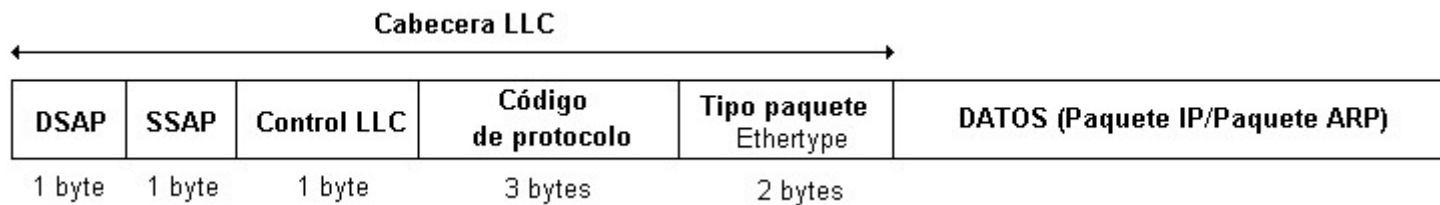
Servicio no orientado a conexión con confirmación: Servicio con confirmación de paquetes (servicio tipo 3).

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Protocolo IEEE 802.2 LLC

Formato de paquete LLC para redes TCP/IP



DSAP: Punto de Acceso al Servicio de Destino. En el caso de arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 170.

SSAP: Punto de Acceso al Servicio de Origen. En el caso de arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 170.

Control LLC: En el caso de arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 3.

Código de protocolo: Indica qué tipo de información viene a continuación. En el caso de la arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 0.

Tipo paquete: Los paquetes de datos IP tienen asociados el valor 2048 (0x0800), y los paquetes ARP el valor 2054 (0x0806).