

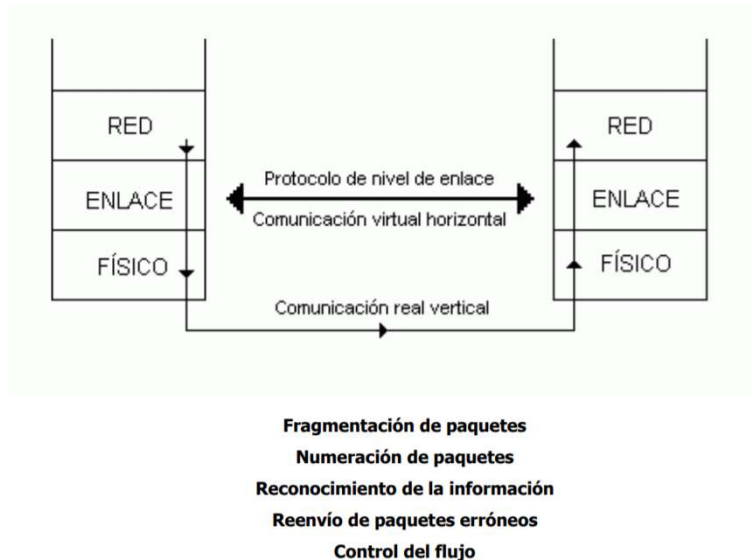


Redes T 4 1 - Resumen del tema 4 parte 1 completado con el libro

Redes De Computadores (Universidad de Alicante)

Introducción.

La capa de enlace es el segundo nivel dentro del modelo de arquitectura OSI y su objetivo, es dado un canal físico de comunicación con una cierta tasa de error, permitir establecer un enlace lógico libre de errores entre entidades de la capa superior de red.



La entidad de nivel de enlace emisora podrá conocer si las tramas de datos enviados han llegado correctamente a la entidad par del otro extremo manejando el reconocimiento de la información. Cada vez que la entidad receptora recibe una trama de datos procedente de la entidad emisora, envía una pequeña trama de información de control indicando que la trama de datos se recibió correctamente.

Dado que existe una tasa de error en el medio, se producirán pérdidas de tramas de datos y tramas de asentimiento. Para subsanar este tipo de errores el nivel de enlace realiza el reenvío de las tramas de datos perdidos o erróneos.

Tipo de servicios ofrecidos al nivel superior (red).

1. Servicio sin conexión y sin reconocimiento.

La estación origen envía tramas de información independientes a la máquina de destino sin pedir que se confirme que han llegado o no. No se establecen conexiones entre la estación origen y destino, pues al enviar tramas de datos independientes se consigue una transmisión más rápida.

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

2. Servicio sin conexión y con reconocimiento.

Por cada trama de datos independiente que es recibida por una estación receptora, esta envía una trama de asentimiento confirmando la recepción de la trama de datos al emisor. Se emplea cuando el medio físico presenta una tasa de error no despreciable y es preciso una transmisión fiable de la información.

- Medios físicos con tasa de error considerable
- Sólo confirmación del envío de información

3. Servicio con conexión y reconocimiento.

El servicio conectado se caracteriza por la presencia de las primitivas de servicio de establecimiento de conexión, liberación de conexión y envío de las tramas de datos. En el establecimiento de la conexión se reservan los recursos asociados al servicio, como son buffers, variables, etc. A continuación, se envían a cada una de las tramas de datos numeradas, que serán confirmadas por el receptor, y en caso de que alguna sufra errores en la transmisión, se realizará el reenvío de las misma. Una vez finalizado el envío de las tramas de datos, se procede a la liberación de la conexión.

La diferencia entre el servicio conectado y desconectado con reconocimiento está en el grado de fiabilidad en la transmisión de tramas de datos.

- Medios físicos con tasa de error considerable
- Control del flujo: ordenación de paquetes y reenvío correcto

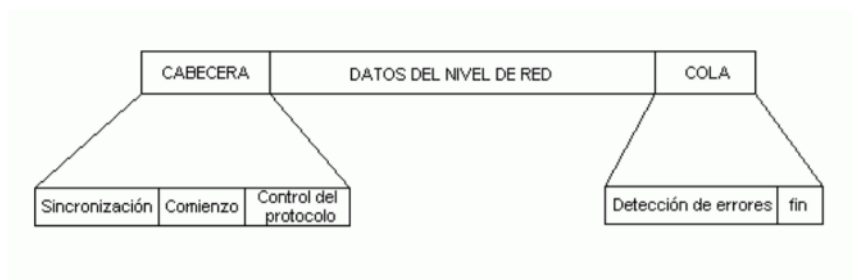
Funciones del nivel de enlace.

El nivel de enlace tiene un conjunto de funciones asignadas, que son principalmente:

- a) Delimitación de tramas. Especifica como identificar el inicio y fin de una trama de datos.
- b) Direccionamiento. Permite identificar origen y destino en el envío de una trama.
- c) Control de errores. Asegura una transmisión de tramas sin errores, producidos por el ruido y atenuaciones del medio físico.
- d) Control de flujo. Proporciona un control de flujo de tramas entre emisor y receptor para evitar saturaciones en receptores lentos.

a) Delimitación de tramas.

Formato de una trama de nivel de enlace



Formato de la trama Ethernet



El nivel de enlace define un formato de trama de datos con una cabecera inicial y una cola en la parte final, y entre ellas se encuentran los datos del nivel superior. La cabecera inicial indica el inicio de trama, donde se incorpora información de control como la numeración de trama. A continuación, se incorporan los datos procedentes del nivel superior. Al final de la trama de nivel de enlace aparece la cola, donde se incorpora información para detectar errores en los datos de la trama e indicar el final de esta.

b) Direccionamiento.

El objetivo del direccionamiento es el de identificar las estaciones que intercambian información en el canal.

El mecanismo de direccionamiento consiste en asignar secuencias de bits únicas a cada estación. La cantidad de bits (b) asociados a una dirección nos indica el rango de direccionamiento. Para $b=5$, tendríamos 2^5 estaciones, identificadas desde la secuencia 00000 a la 11111.

Entre los diferentes esquemas de direccionamiento destacan:

- Implícito. No precisa de la especificación de la estación origen y destino de los datos transmitidos. Se emplea en conexiones punto a punto.
- Explicito. Cada estación conectada al canal de comunicación tiene una dirección única. En la transmisión de datos, cada paquete incorpora en su cabecera la dirección de la estación origen del paquete y la dirección de la estación destino (Ethernet).

c) Control y detección de errores.

La detección de errores en un paquete de datos se consigue analizando un pequeño conjunto de datos que suele añadirse en la cola del paquete de nivel de enlace y que se denomina **secuencia de verificación de trama o FCS**. Dependiendo del tipo de información que aporte esta secuencia se distingue entre:

- Códigos de detección de error. La FCS solo incorpora información que permita detectar si el paquete de datos es correcto o posee algún error en 1 o más bits. Por tanto, el receptor tendrá que informar al emisor de que el paquete enviado llega de forma incorrecta y ha de ser reenviado. Este tipo de código no identifica el error.
- Códigos de corrección de error. La FCS incorpora información que, determina el conjunto de bits erróneos. Estas técnicas son más complejas y requieren de un tiempo de computo para determinar cuales son los bits erróneos, por lo que se emplearán cuando el reenvío del paquete de información tenga un retardo elevado.

-Métodos de detección de errores.

1. Paridad de los bits de datos.

Este método precisa de añadir a la trama de datos un bit de paridad cuyo valor se determina para que el número total de bits '1' en la trama sea impar o par. La paridad solo permite detectar errores en un número de bits, pues al modificar dos bits cualesquiera de una palabra con bit de paridad, la paridad sigue siendo correcta.

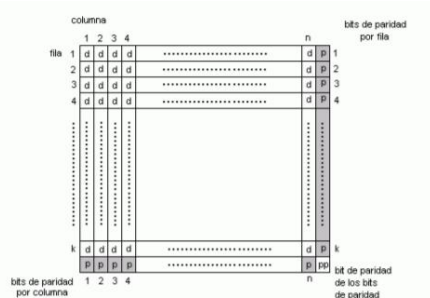
Bits de datos	Bit de paridad		
00100101	P	{	
		Paridad par	00100101 1
		Paridad impar	00100101 0

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

2. Paridad por filas y columnas.

Se puede aumentar la capacidad de detectar errores añadiendo más de un bit de paridad al paquete de datos. Este aumento de los bits de paridad se consigue distribuyendo los bits de datos a enviar en una matriz de k filas y n columnas, calculando un bit de paridad por cada fila y otro por cada columna.

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.

3. Códigos de redundancia cíclica.

Un código de redundancia cíclica consiste en una secuencia de bits que se incorporan en el campo FCS de una trama de nivel de enlace y permiten detectar. Se obtiene considerando a los bits como los coeficientes de un polinomio x y realizando operaciones aritméticas sobre el mismo.

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

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

$$x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x$$

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

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

$$\begin{array}{r|l} D(x) \cdot x^r & G(x) \\ \hline R(x) & C(x) \end{array} \quad r = \text{grado de } G(x)$$

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

La operación resta es la operación XOR

Ejemplo

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

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

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

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

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

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

d) Control de flujo.

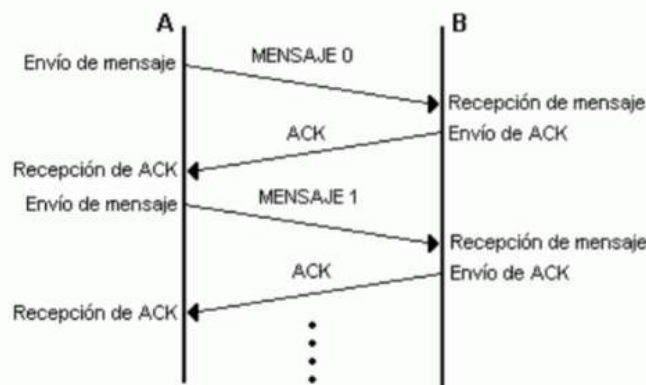
Tiene como objetivo que cada paquete del nivel de enlace, procedente de la fragmentación de un paquete de nivel de red, llegue al receptor y allí se recomponga el paquete de nivel de red original. A parte de esa función también se encarga de controlar la sincronización del emisor y receptor de datos y 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 de flujo.

- Protocolo unilateral de parada y espera

El receptor ha de informar al emisor que está listo para recibir el siguiente paquete enviando un paquete de información pequeño denominado de aceptación o ACK. El emisor no envía ningún paquete de nivel de enlace hasta que no recibe el ACK del anterior. Este mecanismo precisa de un medio físico semidúplex (cuando uno habla el otro escucha – Walkie) y los buffers del receptor serán de tamaño finito. No se consideran pérdidas en el medio físico ni errores en los paquetes.

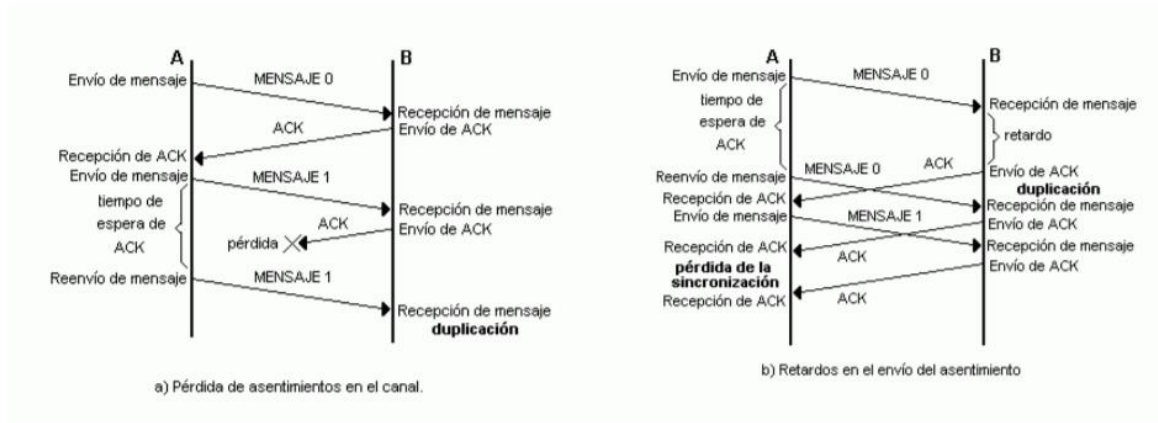
Protocolo unilateral de parada y espera. Canal sin errores



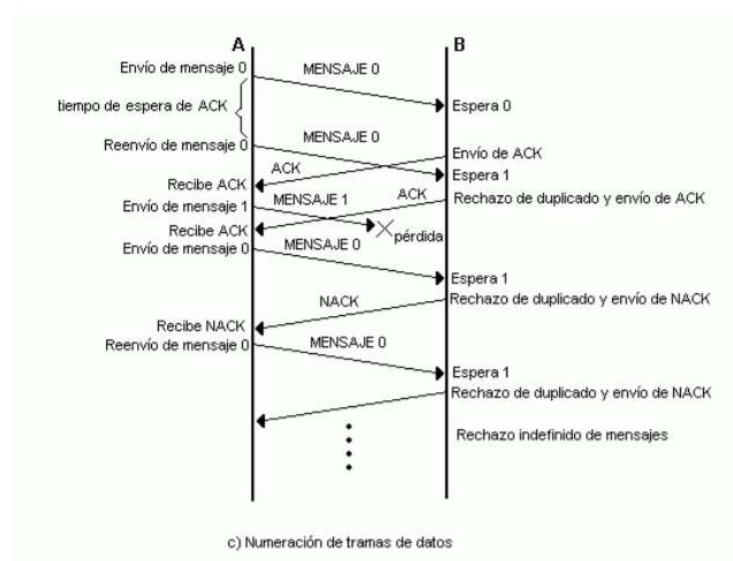
- Protocolo unilateral de parada y espera. Canal con errores.

Si se desea considerar una situación real de comunicación a nivel de enlace, es preciso tener en cuenta los errores en el canal de comunicación. Los paquetes pueden sufrir errores o incluso no llegar al receptor. El paquete de enlace dispondrá de un campo FCS que permitirá al receptor detectar errores en las tramas y proceder al reenvío de estas por parte del emisor.

Protocolo unilateral de parada y espera. Canal con errores



El mecanismo de parada y espera no es suficiente cuando se producen errores en el medio, es necesario un mecanismo de identificación de la información transmitida (numeración de datos).



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

[illegible]

- Se caracterizan por permitir transmisión de datos bidireccional. El medio físico es de tipo full dúplex con errores en los paquetes y pérdidas de estos. Además, consiguen un mayor aprovechamiento del canal de comunicación.

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

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)**

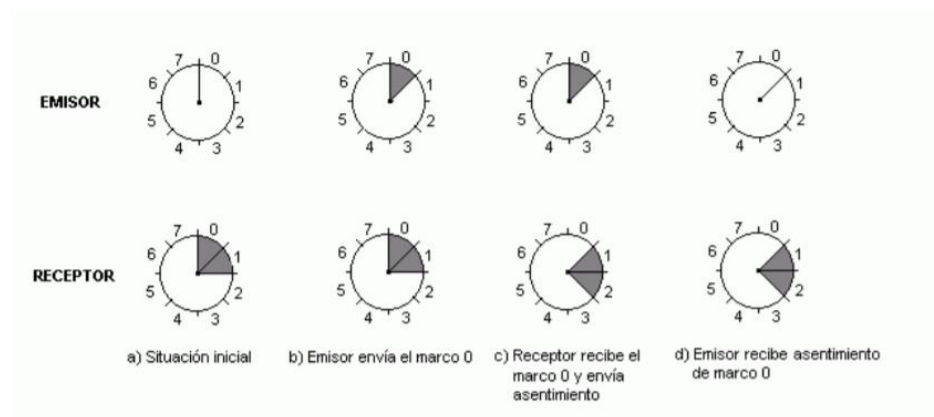
El receptor espera paquetes de datos cuya secuencia esté en la ventana del receptor. El número de secuencias en la ventana del receptor se denomina **Tamaño de la ventana del receptor (W_r)**. Cuando se recibe un paquete con secuencia dentro de la ventana del receptor, se envía un ACK de la secuencia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

Ejemplo del funcionamiento del protocolo de ventana deslizante

Número de secuencias: 8 (0-7)

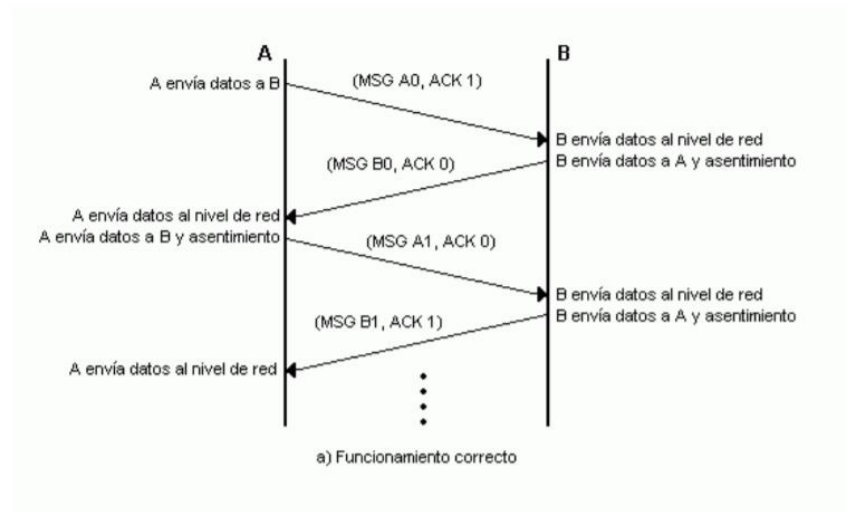
Tamaño de la ventana del emisor: 1

Tamaño de la ventana del receptor: 2



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

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.

Este protocolo permite la recuperación de errores debido a pérdidas en el medio que serán tanto de datos como de los asentimientos al empelar la incorporación.

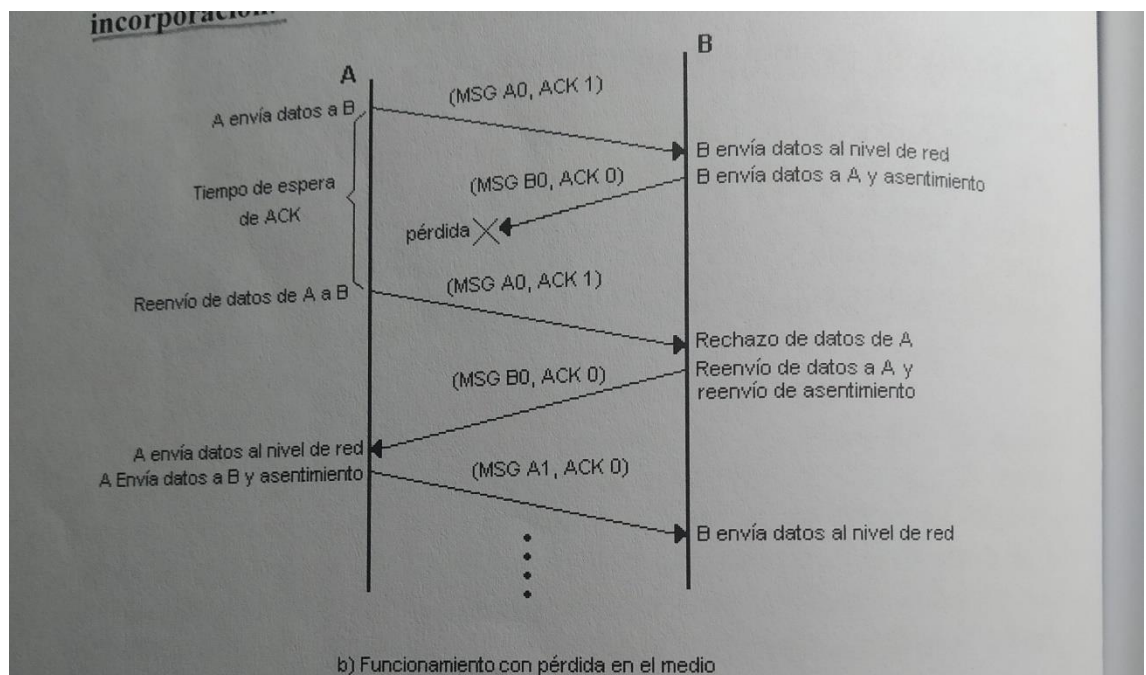


Figura 7.8 Funcionamiento del protocolo con pérdida en el medio.

En cuanto a las situaciones anómalas debido a un temporizador de espera de ACK demasiado corto, el protocolo de ventana deslizante de 1 bit

recupera los errores. Sin embargo, si los dos extremos de la comunicación inician la transmisión de datos de forma simultánea, se producen continuos reenvíos de la información en la transmisión.

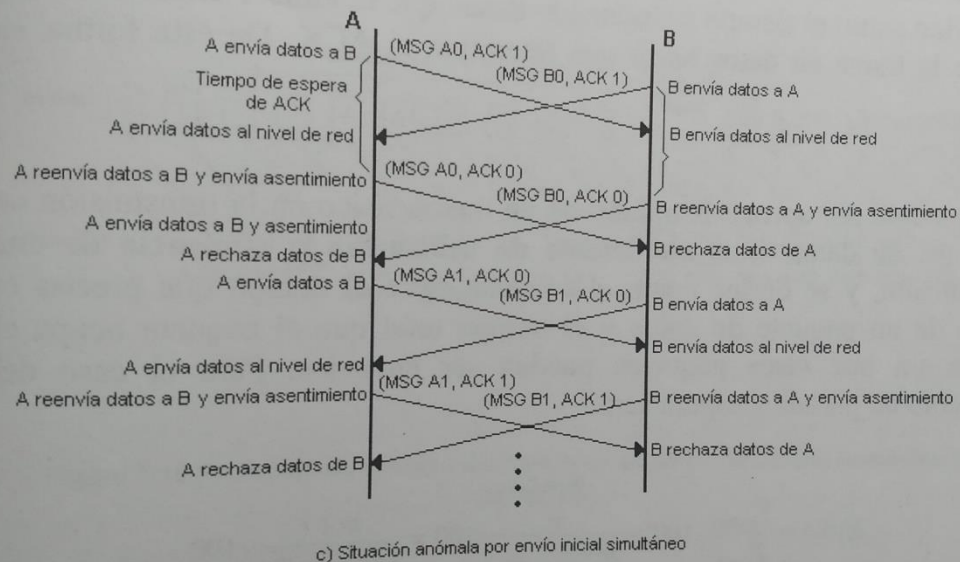


Figura 7.9 Envío simultáneo con temporizador de ACK corto.

-Protocolo de ventana deslizante con repetición no selectiva.

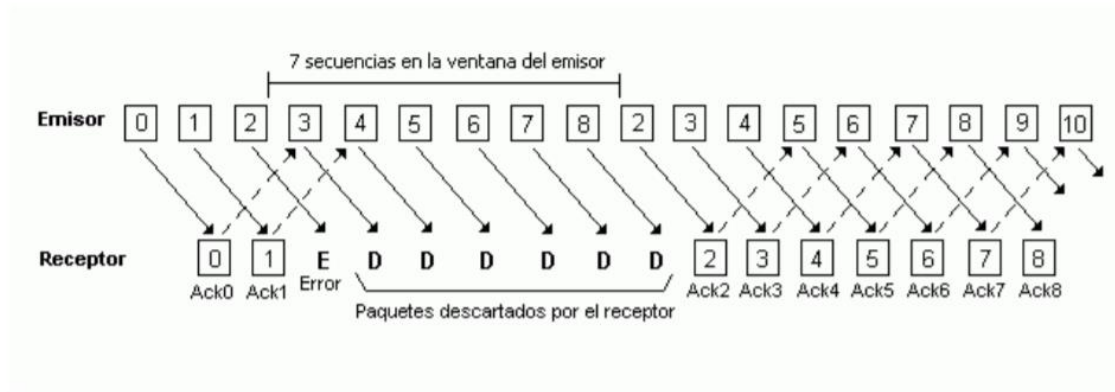
El tamaño de la ventana del emisor ha de ser de como mínimo un valor tal que permita enviar paquetes sin aceptación hasta que llega el ACK del primer paquete.

$$W_{\text{emisor}} = T_{\text{total}} / T_{\text{trama}}$$

De esta forma, cuando llega el primer ACK, la ventana del emisor está llena y puede entonces disminuir su tamaño en una unidad y enviar otro paquete. Debido a que se realizó un envío continuo de paquete de datos, los asentimientos llegarán de forma continua y el aprovechamiento del medio será del 100%. Sin embargo, si se produce un error de algún paquete, el emisor se percatará de ellos cuando expire el temporizador para el asentimiento del paquete. Por otro lado, el receptor, al tener un tamaño de ventana 1, no aceptará los paquetes de datos enviados después del error y habrán de ser reenviados. Esto produce una disminución del aprovechamiento del medio, que depende de la tasa de error del mismo.

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.

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.

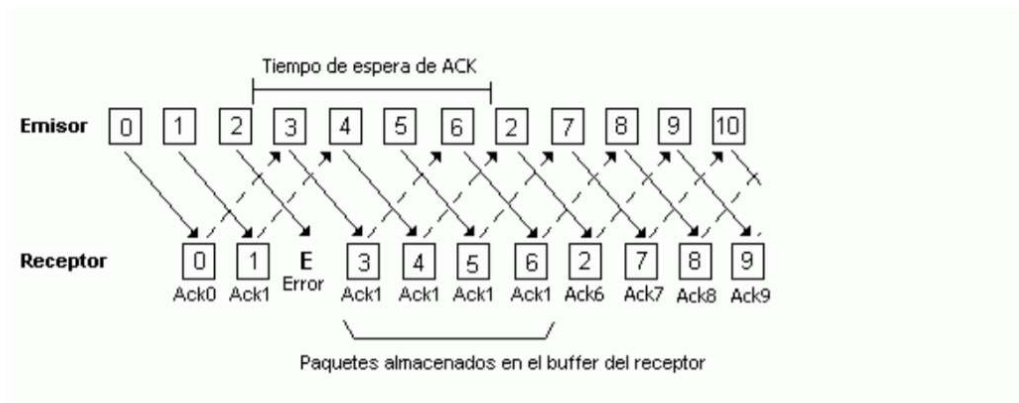


En este ejemplo se aprecia un desaprovechamiento en el medio físico debido al retardo en el envío del ACK8.

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

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

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

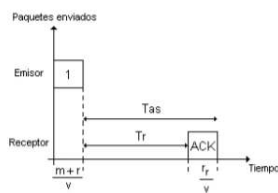


Se evita el efecto del retardo en el envío de ACK's.

Elección del tamaño de la ventana del emisor y del receptor

Ventana del emisor

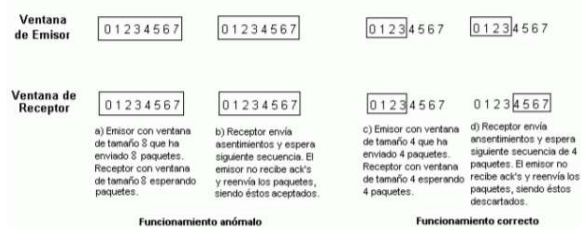
La ventana del emisor debe permitir como MÍNIMO transmitir paquetes hasta que llega el primer ACK de datos.



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

Ventana del receptor

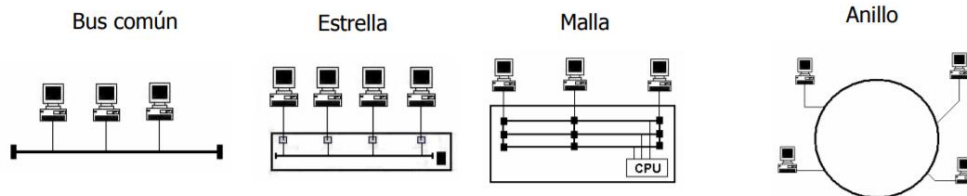
La ventana del receptor no debe permitir repeticiones de secuencia en una rotación completa.



Normas IEEE 802.X para redes LAN.

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 (radio, infrarrojos)

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

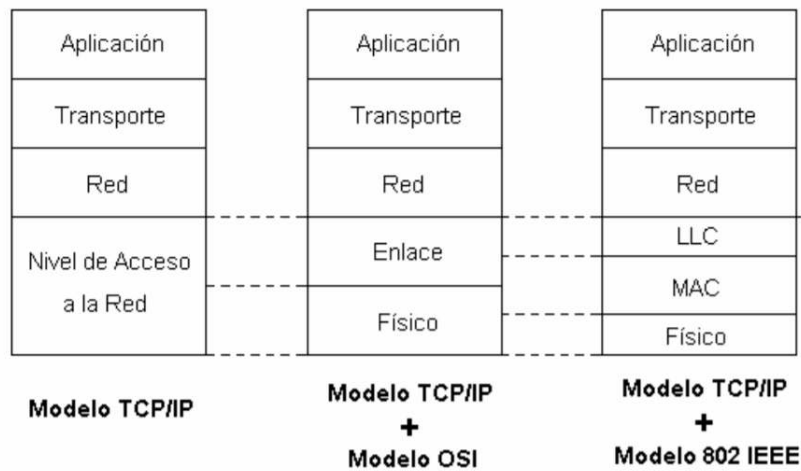
Modelo TCP/IP

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

La normativa del IEEE se denomina **Modelo de Referencia IEEE 802**, que posteriormente fue adoptada por el ISO debido a su fácil integración en el modelo de arquitectura OSI.

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

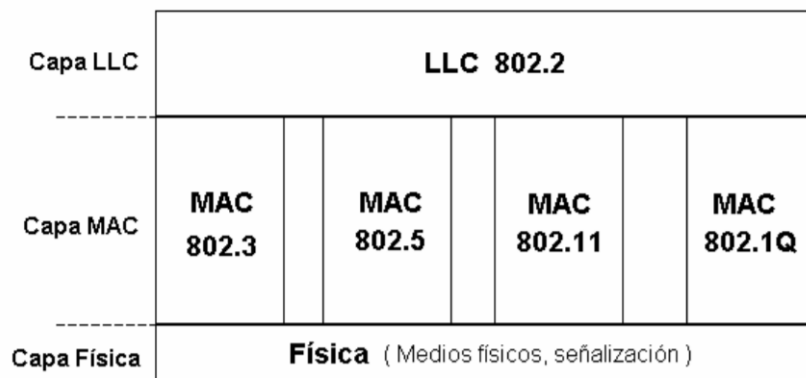
Incorporación del modelo del IEEE en el modelo TCP/IP



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.

Arquitectura IEEE 802



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

IEEE 802.3: Ethernet (CSMA/CD)

IEEE 802.11x: LAN Inalámbrica

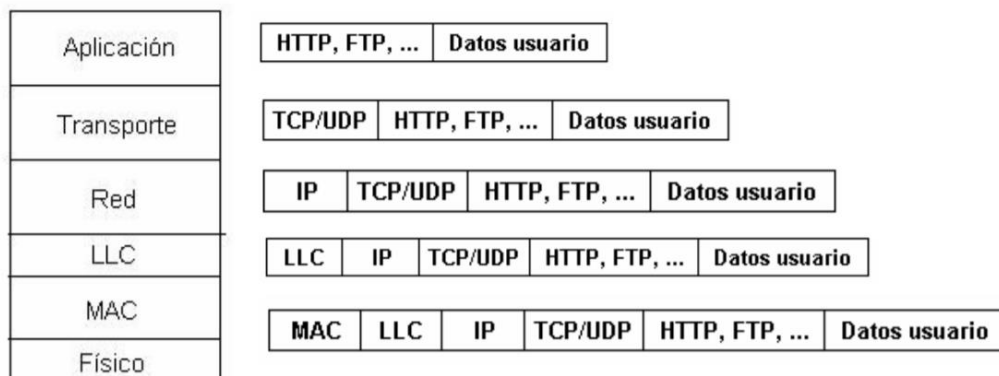
IEEE 802.5: Token Ring (Anillo con testigo)

IEEE 802.1Q: LAN Virtual (VLAN)

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.



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):

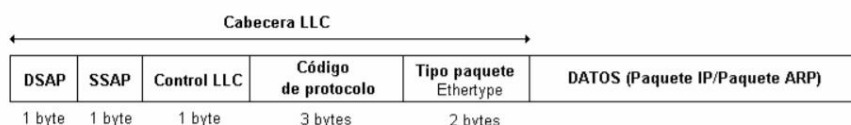
Servicio no orientado a conexión y sin confirmación: Servicio sin control de errores ni de flujo, pero muy rápido en funcionamiento (servicio tipo 1). **Es el empleado por TCP/IP.**

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).

El protocolo LLC está implementado en los drivers del dispositivo de comunicación (tarjeta de red) que emplea las normativas IEEE 802.

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).