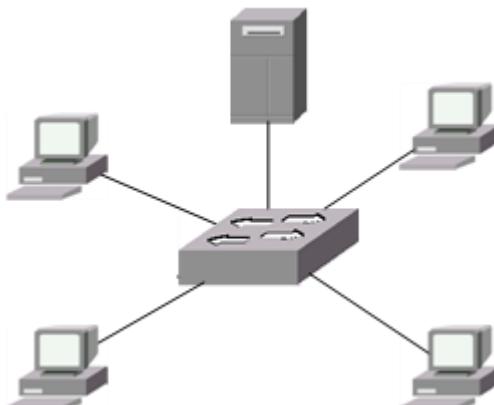


La Capa de Enlace



Sumario

- **Funciones de la capa de enlace**
- Protocolos de parada/espera
- Protocolos con ventana deslizante
- Protocolos de nivel de enlace: HDLC, PPP

Funciones de la Capa de Enlace

Provee el control
de la capa física

Detecta y/o
corrige errores
de transmisión

Regula el flujo
de datos

Relación entre los paquetes y las tramas

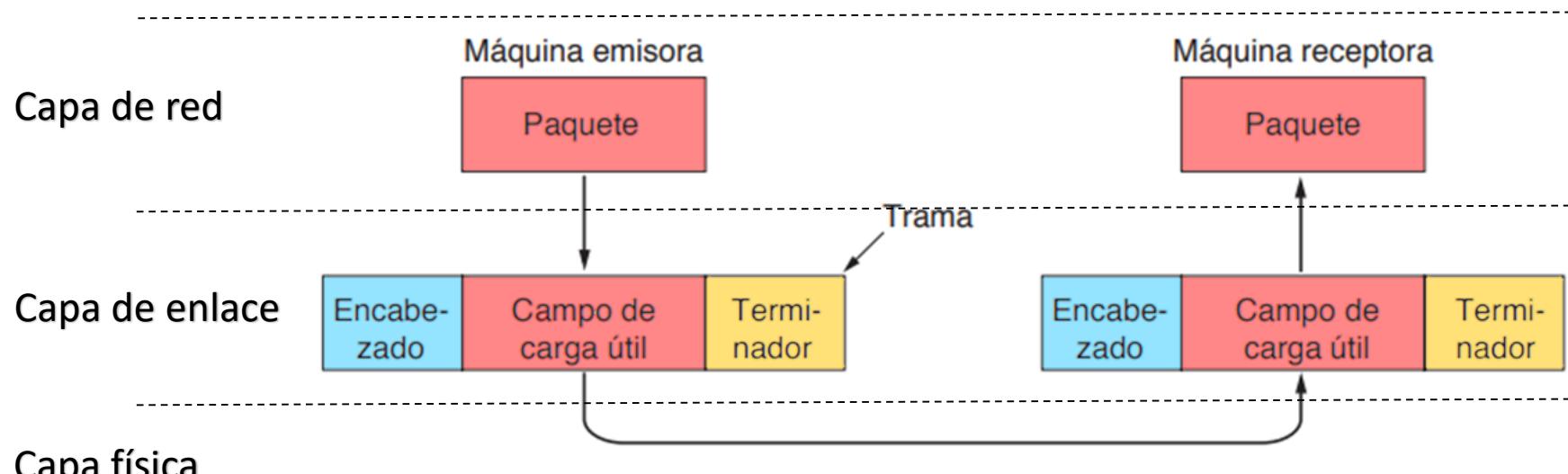
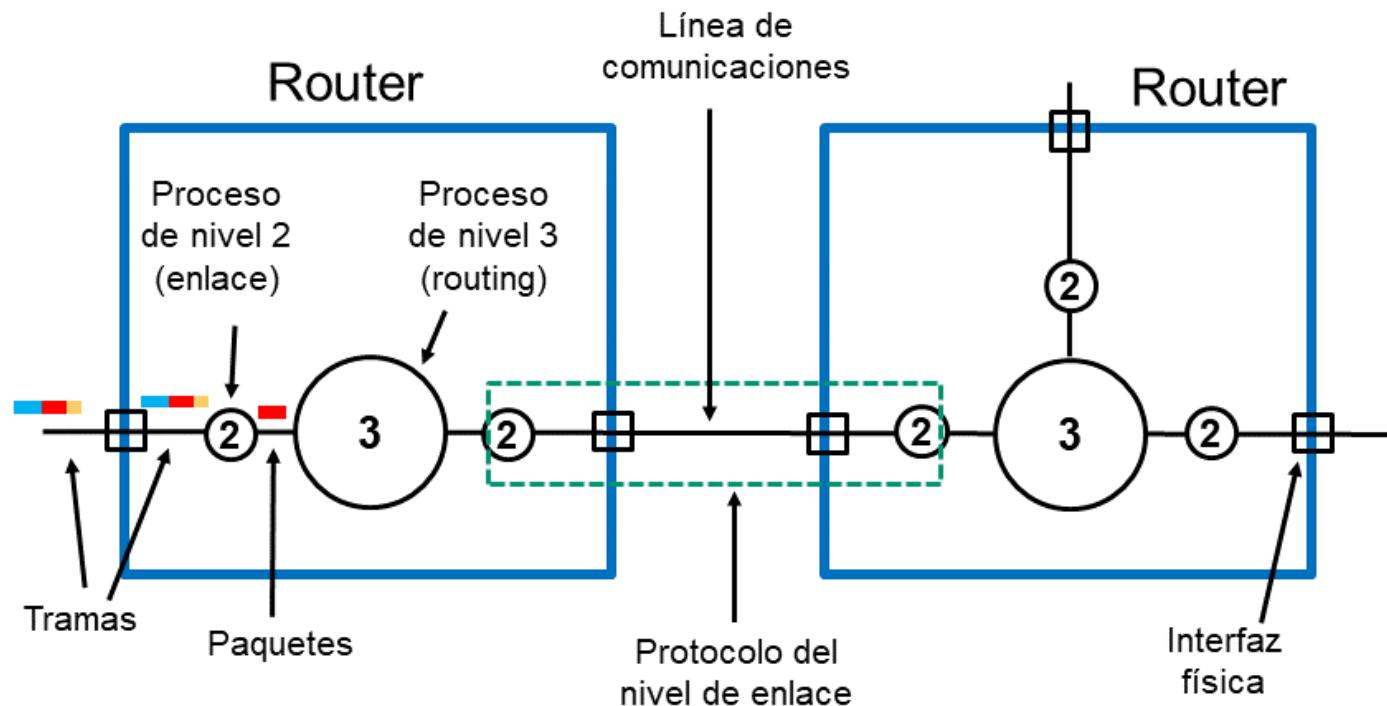


Figura 3-1. Relación entre paquetes y tramas.

La capa de enlace en un router



Cada interfaz física ejecuta una instancia independiente del nivel 2
El equipo solo ejecuta una instancia en el nivel 3

La capa de enlace en el contexto del modelo de capas

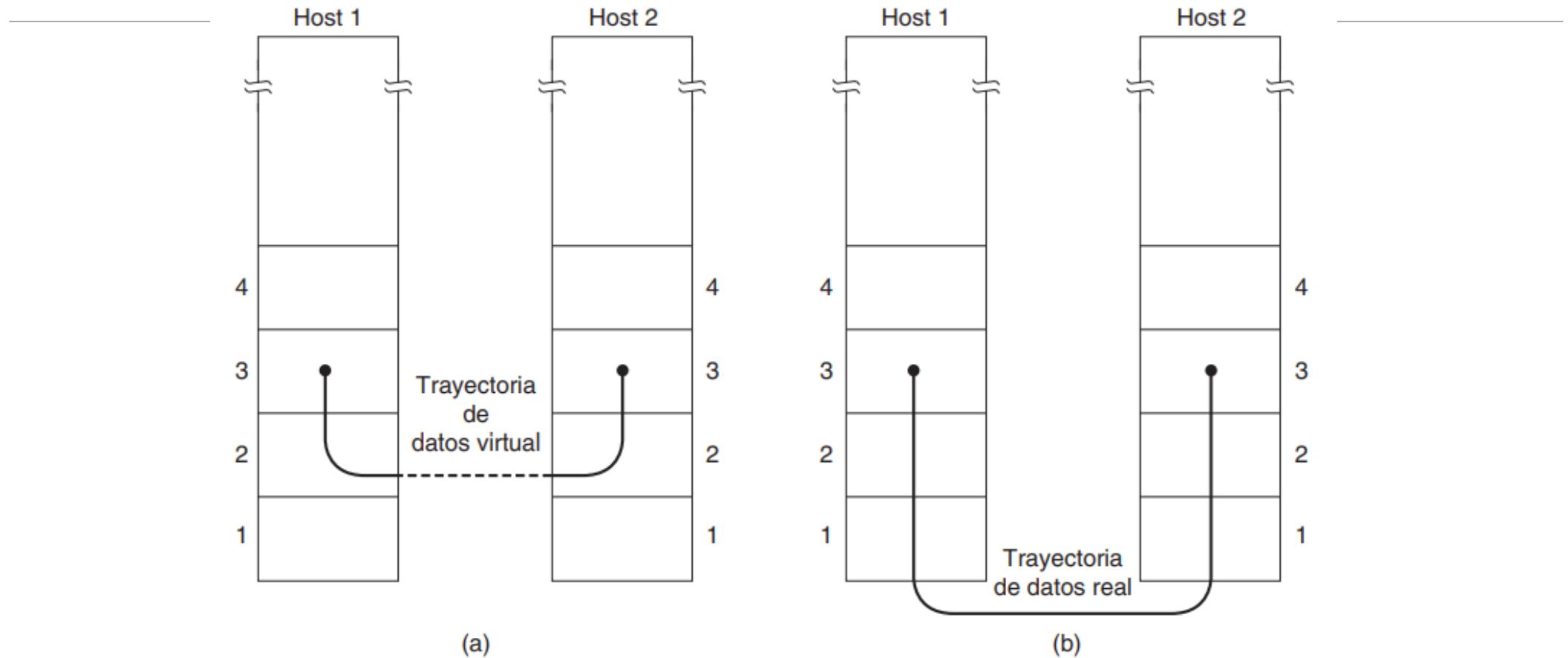


Figura 3-2. (a) Comunicación virtual. (b) Comunicación real.

Servicios de la capa de enlace

- Servicios no orientado a la conexión sin confirmación de recepción
Origen envía tramas sin que el destino confirme recepción.
- Servicio no orientado a la conexión con confirmación de recepción
Se confirma la recepción de cada trama
- Servicio orientado a la conexión con confirmación de recepción.
Se establece la conexión antes de transmitir datos y se confirma la recepción.

Funciones de capa de enlace

- Obligatorias:
 - Identificar tramas (agrupación de bits que se intercambia a nivel de enlace)
 - Detección de errores
- Opcionales:
 - Control de flujo
 - Corrección de errores

Tipo de transmisión

- Síncrona: la trama se envía sin separación entre los bytes. Cuando no hay nada que enviar el emisor envía una secuencia determinada de forma ininterrumpida para asegurar que no se pierde el sincronismo.
- Asíncrona: cada byte se envía de forma independiente. Cuando no hay datos que enviar la línea está en silencio.

Delimitación de tramas

- La capa de enlace siempre agrupa los datos en entidades denominadas tramas.
- Es necesario generar las tramas para poder realizar el control de errores (detección y/o corrección)
- Problema que se plantea es cómo determinamos la frontera de una trama con la siguiente.

Técnicas de identificación de tramas

Contador de caracteres: primer campo que indique cuál es la longitud total de la trama.

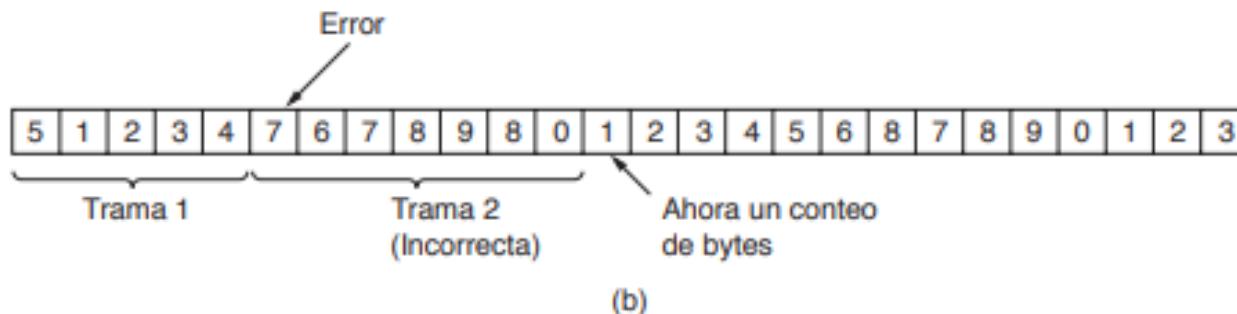
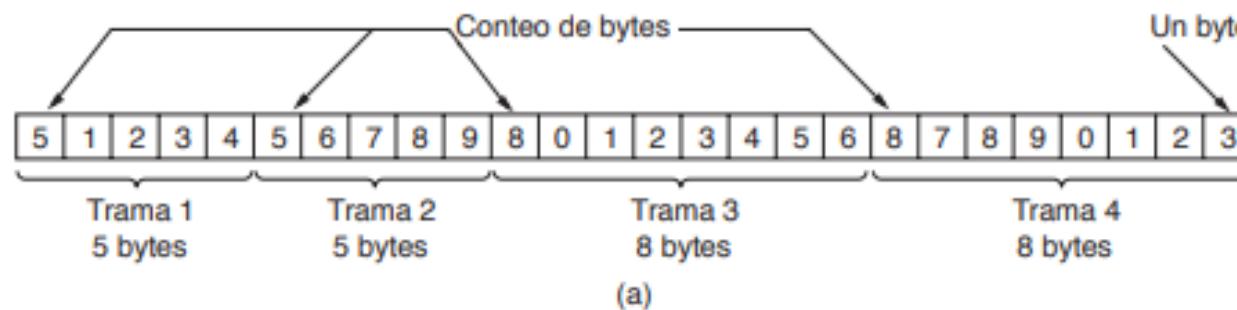


Figura 3-3. Un flujo de bytes. (a) Sin errores. (b) Con un error.

Técnicas de identificación de tramas

Secuencia de bits indicadora de inicio y final (HDLC)

Utiliza bits de relleno: normalmente 01111110; si en los datos aparecen cinco bits seguidos a 1 se intercala automáticamente un 0

01111110	Cabecera	Carga útil	Cola (CRC)	01111110
----------	----------	------------	------------	----------

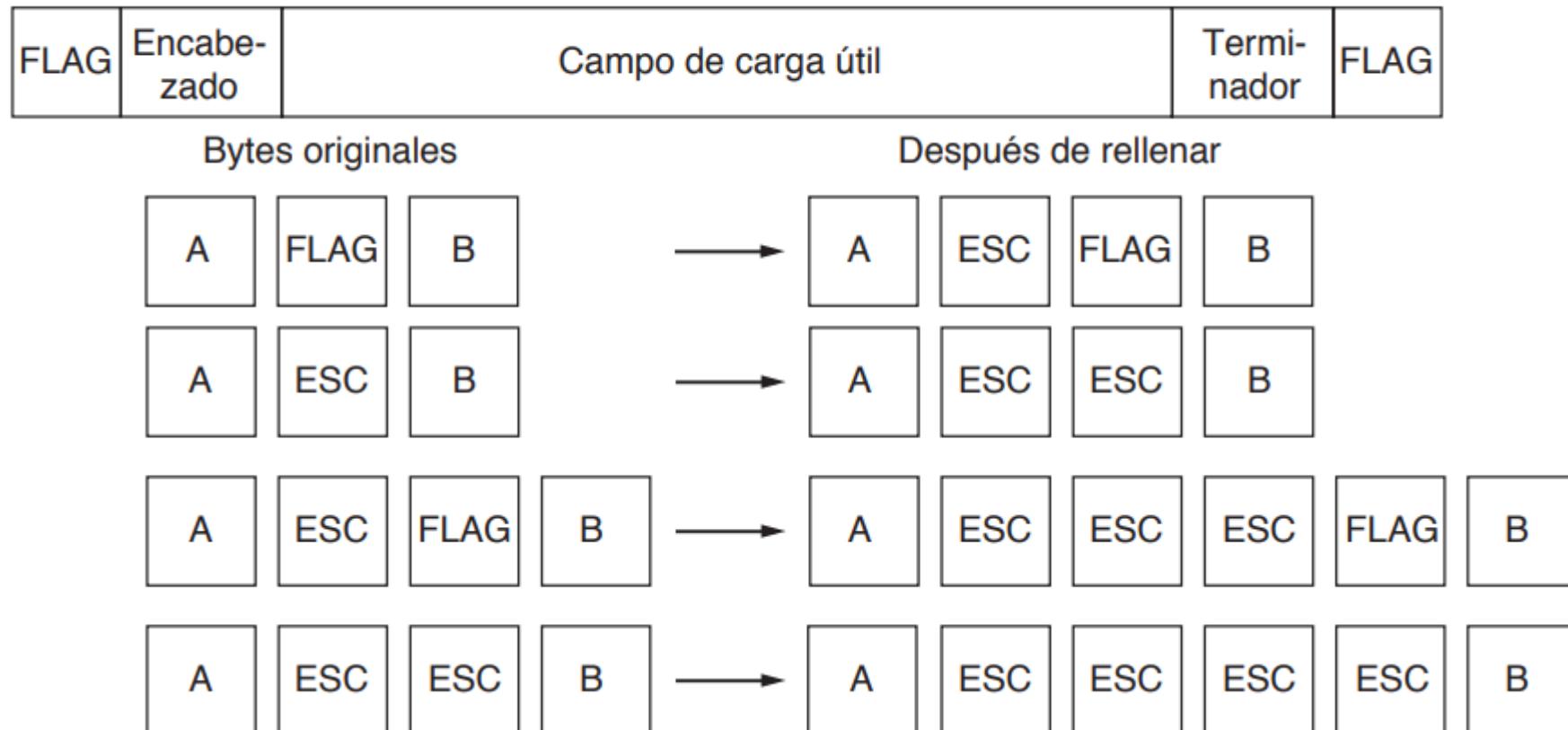
(a) 011011111111111111110010

(b) 0110111110111110111111010010
 ↑
 ↑
 ↑
 Bits de relleno

(c) 011011111111111111110010

Técnicas de identificación de tramas

Caracteres de inicio y final con caracteres de relleno



Técnicas de identificación de tramas

Violaciones de código de la capa física

- Utilizar un atajo desde la capa física.
- Codificación de bits como señales incluye a menudo redundancia para ayudar al receptor.
- Esta redundancia significa que algunas señales no ocurrirán en los datos regulares. Por ejemplo, en el código de línea 4B/5B se asignan 4 bits de datos a 5 bits de señal para asegurar suficientes transiciones de bits.
- Podemos usar algunas señales reservadas para indicar el inicio y el fin de las tramas.

Control del flujo

- Necesario para no 'agobiar' al receptor.
- Se realiza normalmente a nivel de transporte, también a veces a nivel de enlace.
- Utiliza mecanismos de retroalimentación (el receptor advierte al emisor). Por tanto:
 - Requiere un canal semi-duplex o full-duplex
 - No se utiliza en emisiones multicast/broadcast
- Suele ir unido a la corrección de errores
- No debe limitar la eficiencia del canal.

Tasa de errores (BER)

- La tasa de errores de un medio de transmisión se mide por la BER (Bit Error Rate) que se define como:

$$\text{BER} = \text{bits erróneos} / \text{bits transmitidos}$$

- Un BER de 10^{-6} significa que hay un bit erróneo por cada millón de bits transmitidos

Medio físico	BER típico
Fibras ópticas	$< 10^{-12}$
LANs de cobre, Radioenlaces fijos (microondas)	$< 10^{-8}$
Enlaces telefónicos, satélite, ADSL, CATV	$< 10^{-5}$
GSM	$> 10^{-5}$

Control de errores

- Los códigos pueden ser:
 - Detectores de errores: p. ej. Bit de paridad, Checksum, CRC (Cyclic Redundancy Check)
 - Correctores de errores: p. ej. Hamming, RS (Reed-Solomon). Un RS con 10% de overhead puede mejorar el BER en 10-4 (p. ej. de 10-5 a 10-9)
- Los códigos detectores tienen menos overhead, pues necesitan incorporar menos redundancia.

Control de errores

Bit de paridad

P _R	B ₆	B ₅	B ₄	B ₃	B ₂	B ₁	B ₀
0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1

Diagrama que muestra la estructura de un paquete de datos con control de errores. El cuadro de arriba es una tabla binaria de 8 filas y 8 columnas. La fila 1 (etiquetada como STX) tiene todos los bits en 0 excepto el bit de paridad en B₁. Las filas 2 a 6 (etiquetadas como Contenido de la trama) contienen datos binarios de 7 bits cada uno. La fila 7 (etiquetada como ETX) tiene todos los bits en 0 excepto el bit de paridad en B₁.

Sumario

- Funciones de la capa de enlace
- **Protocolos de parada/espera**
- Protocolos con ventana deslizante
- Protocolos de nivel de enlace: HDLC, PPP

Protocolo de parada y espera

Supuestos:

- Canal libre de errores
- Tramas siempre llegan a destino

Evitar que el emisor sature a receptor

Solución?

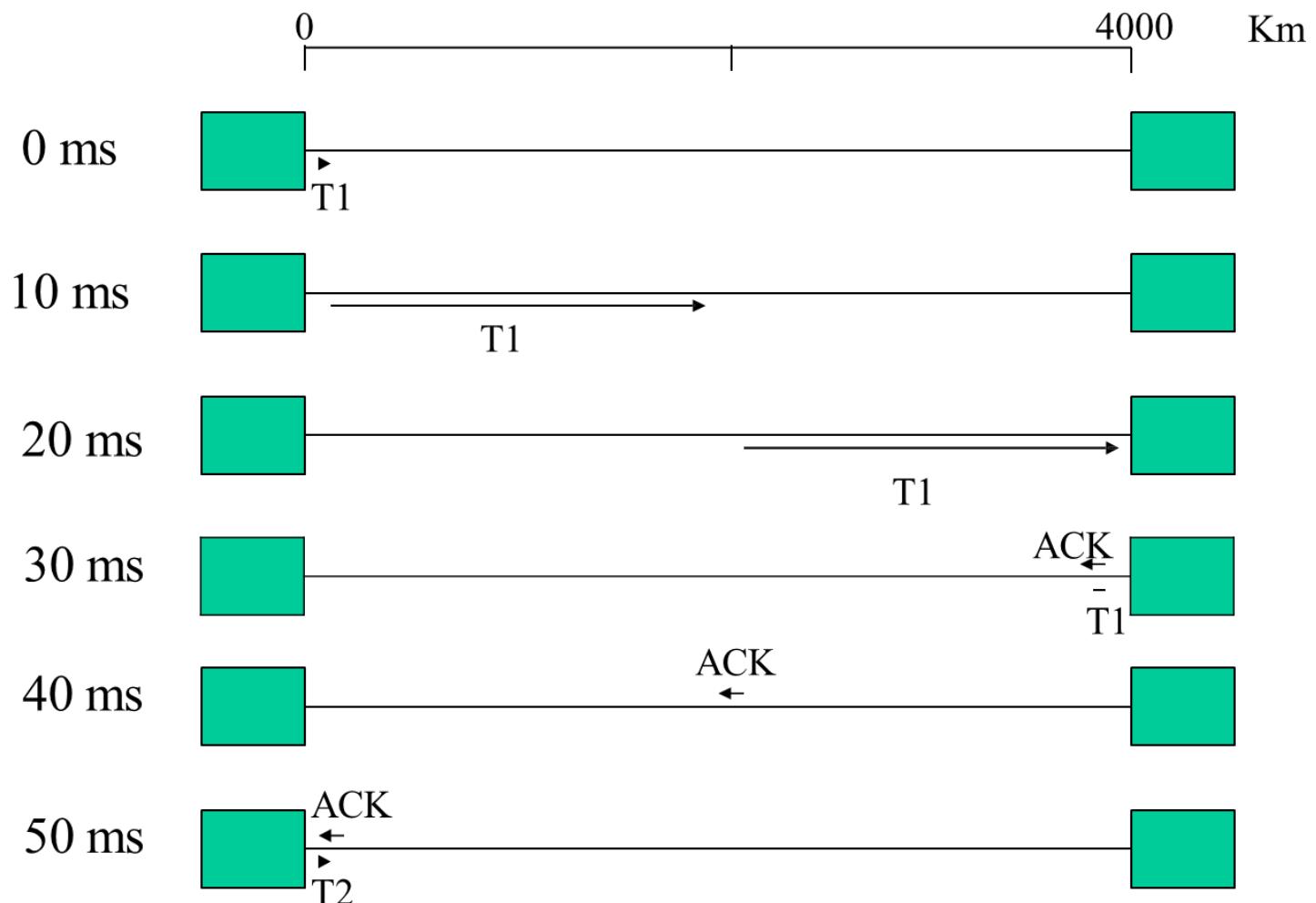
Proporcionar retroalimentación al emisor

- ACK
- Receptor envía al receptor una pequeña trama que autoriza al emisor a enviar la próxima trama

Protocolo de parada y espera

- 0 ms: A empieza el envío de trama T1
- 10 ms: A termina envío de T1 y espera
- 20 ms: B empieza recepción de T1
- 30 ms: B termina recepción de T1; envía ACK de T1
- 50 ms: A recibe ACK de T1; empieza envío de T2

Línea punto a punto de A a B de 64 Kb/s de 4000 Km de longitud, tramas de 640 bits:



Protocolo parada y espera para un canal con ruido

- Situación normal: canal de comunicaciones que comete errores
- Tramas pueden llegar dañadas o perderse por completo
- Variación del protocolo anterior: agregar temporizador
 - Emisor envía la trama
 - Receptor envía una trama de confirmación si los datos llegan correctamente
 - Si el temporizador expira, emisor envía trama nuevamente
- Problema: Qué pasa si se pierde el ACK?
 - Implementamos números de secuencia

Sumario

- Funciones de la capa de enlace
- Protocolos de parada/espera
- **Protocolos con ventana deslizante**
- Protocolos de nivel de enlace: HDLC, PPP

Protocolo de ventana deslizante

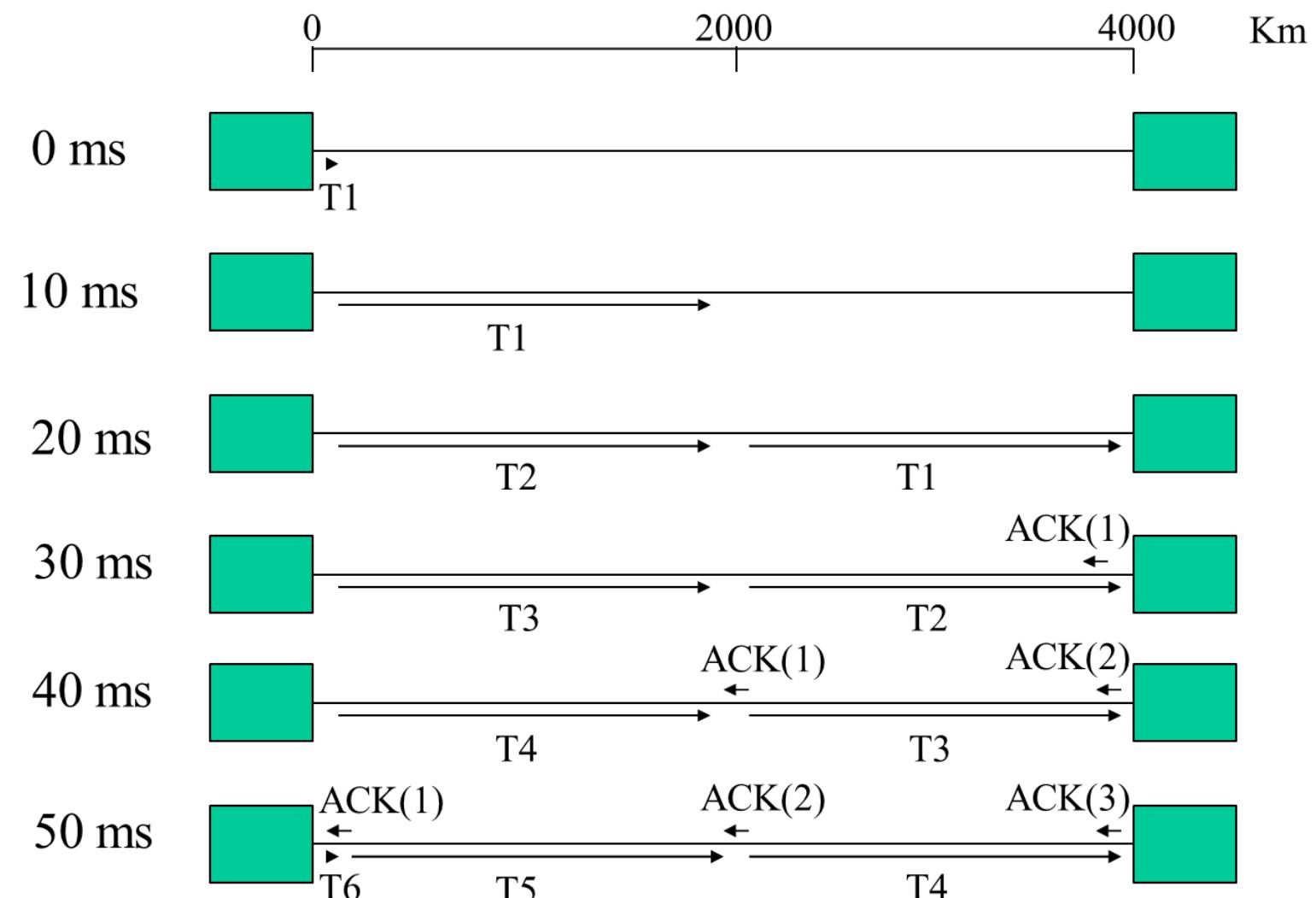
- Canal full-dúplex: utilizar el mismo enlace en ambas direcciones
- El receptor envía un paquete junto con la confirmación de recepción de la trama anterior.
- Retardar temporalmente las confirmaciones de recepción para que puedan viajar en la siguiente trama
 - Mejor aprovechamiento del ancho de banda del canal
- ¿Cuánto tiempo demorar el envío?
- En cualquier instante el emisor mantiene en buffer un conjunto de Nº secuencia en la *ventana emisora*.
- Del mismo modo el receptor mantiene una *ventana receptora* de tramas que tiene permitido aceptar

Protocolo de ventana deslizante

- 0 ms: A envía T1
- 10 ms: A envía T2;
- 20 ms: A envía T3; B empieza a recibir T1
- 30 ms: A envía T4; B envía ACK(T1)
- 40 ms: A envía T5
- 50 ms: A recibe ACK(T1) y envía T6

Ventana mínima para 100% de ocupación: 5

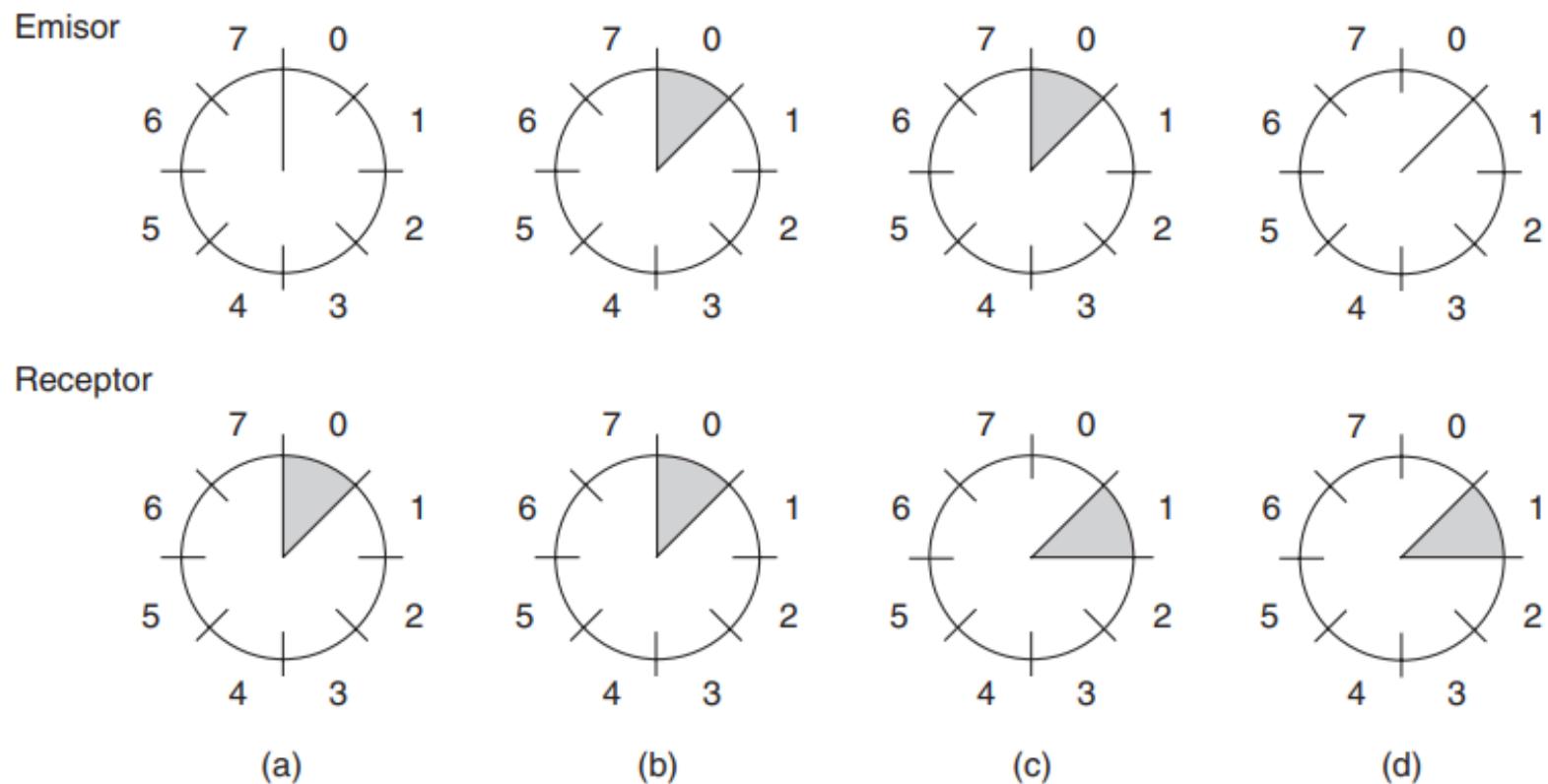
Resuelve problema de eficiencia a cambio de mayor complejidad y espacio en buffers



Tamaño de ventana

- La ventana mínima para 100% de ocupación es la que ‘llena el hilo’ de datos en ambos sentidos, mas uno:
- $W = 2\tau * v/t + 1$
 - W: tamaño de ventana
 - τ : tiempo de propagación
 - v: velocidad de la línea
 - t: tamaño de trama
 - Ej.: $\tau=20\text{ms}$, $v = 64 \text{ Kb/s}$, $t = 640 \text{ bits} \rightarrow W = 5$

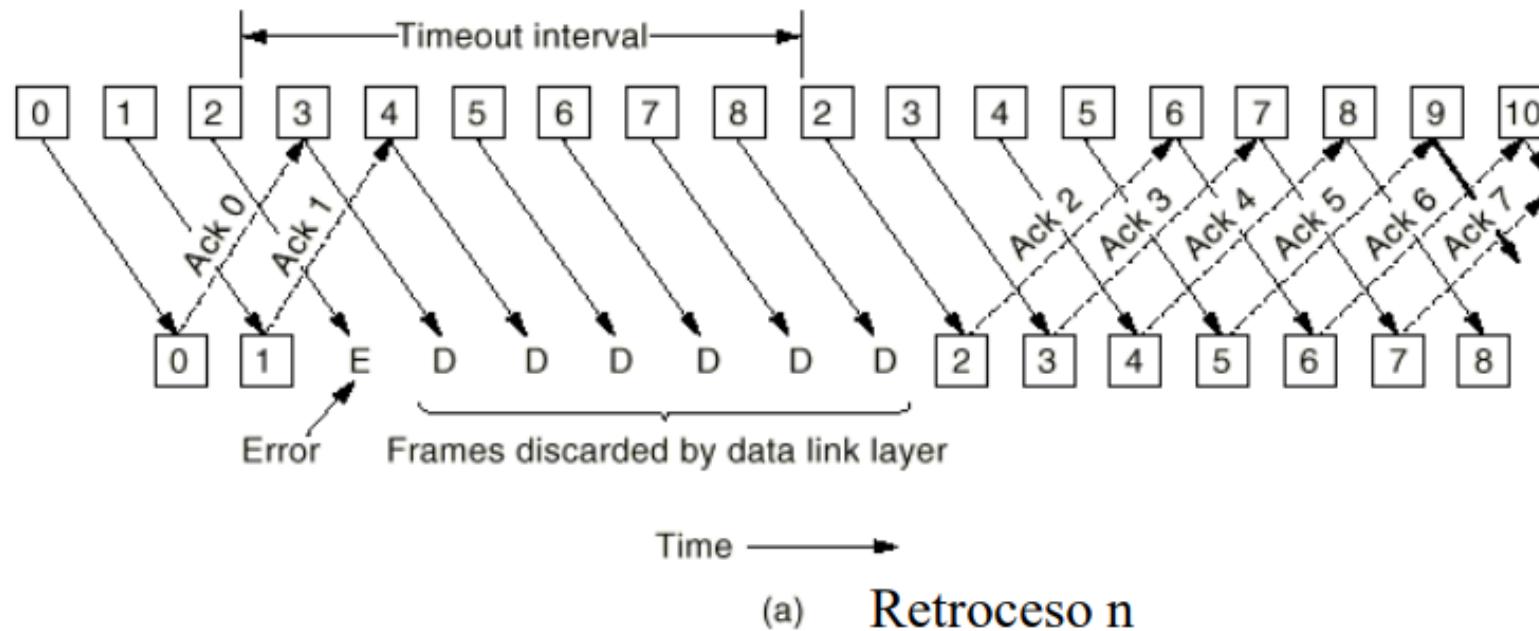
Protocolo de ventana deslizante



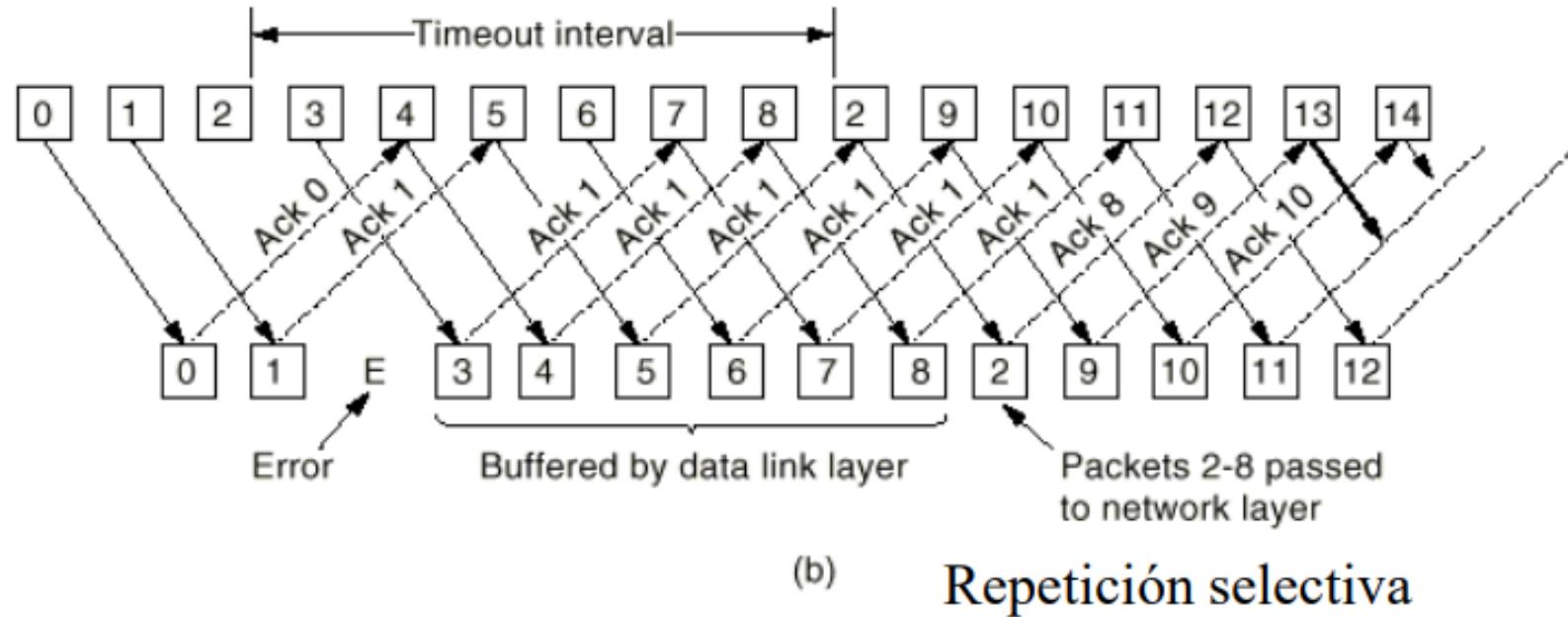
Protocolo de ventana deslizante

- El protocolo puede ser:
 - **Retroceso n:** no se acepta una trama hasta haber recibido las anteriores
 - **Repetición selectiva:** se admite cualquier trama en el rango esperado y se pide solo la que falta.
- Repetición selectiva es más complejo pero más eficiente, y requiere más espacio en buffers en el receptor.
- Tamaño de ventana
 - Retroceso n: Número de secuencia – 1
 - Repetición selectiva: Número de secuencia/2

Protocolo de ventana deslizante: Retroceso N



Protocolo de ventana deslizante: Repetición selectiva



Sumario

- Funciones de la capa de enlace
- Protocolos de parada/espera
- Protocolos con ventana deslizante
- **Protocolos de nivel de enlace: HDLC, PPP**

Familia de protocolos HDLC

(High level Data Link Control)

- HDLC es un estándar ISO. Deriva del SDLC desarrollado por IBM en 1972
- Es un protocolo de ventana deslizante muy completo
- Prácticamente todos los protocolos de enlace actuales son subsets de HDLC:
 - PPP: Internet
 - LAP-B: X.25
 - LAP-F: Frame Relay
 - LLC (IEEE 802.2): redes locales

HDLC: formato de trama

- Se utiliza relleno de bits
- El campo dirección siempre vale 11111111 (dirección broadcast) salvo en líneas multipunto.
- El campo control es el que realiza todas las tareas propias del protocolo
- El CRC es normalmente de 16 bits, pero puede ser de 32

Bits →	8	8	8	≥ 0	16 ó 32	8
	01111110 (delimit.)	Dirección	Control	Datos	CRC	01111110 (delimit.)

HDLC: tipos de tramas

- Las tramas HDLC pueden ser de tres tipos según el valor de los primeros bits del campo control:

De información	0	SEQ	P/F	NEXT
	2	2	1	3
De supervisión	1 0	ORDEN	P/F	NEXT
	2	2	1	3
No numerada	1 1	ORDEN 1/2	P/F	ORDEN 2/2
	2	2	1	3

P/F: Polling/Final (solo utilizado en líneas multipunto)

Comandos en tramas de supervisión HDLC

Orden	Comando	Significado
00	RECEIVE READY	ACK cuando no hay tráfico de vuelta para piggybacking
10	RECEIVE NOT READY	Recepción correcta pero pide suspender transmisión (control de flujo)
01	REJECT	Acuse de recibo negativo (NAK). Pide reenvío cuando se usa retroceso n
11	SELECTIVE REJECT	Petición de reenvío cuando se usa retransmisión selectiva

Elaboración de tramas HDLC

En el emisor:

1. Concatenar campos dirección, control y datos
2. Calcular el CRC de la cadena resultante
3. Realizar el relleno de bits poniendo un bit a cero siempre que en la cadena a enviar aparezcan cinco unos seguidos
4. Añadir a la trama los delimitadores de inicio y final (01111110). Si se envían dos tramas seguidas el delimitador de final de una sirve como inicio de la siguiente

El receptor procede de manera inversa (4,3,2,1)

PPP - Point to Point Protocol

RFC1663

- El protocolo de enlace 'característico' de Internet es el PPP, que se utiliza en:
 - Líneas dedicadas punto a punto
 - Conexiones RTC analógicas o digitales (RDSI)
 - Conexiones de alta velocidad sobre enlaces SONET/SDH
- Puede funcionar de forma síncrona o asíncrona (puerto COM de un PC)
- Es multiprotocolo, una comunicación soporta simultáneamente varios protocolos a nivel de red.

PPP - Características

- Un método de entramado que delinea sin ambigüedades el final de una trama y el inicio de l siguiente.
- Un protocolo de control de enlace para activar líneas, probarlas, negociar opciones y desactivarlas ordenadamente cuando ya no son necesarias. Este protocolo se llama LCP
- Un mecanismo para negociar opciones de capa de red con independencia del protocolo de red usado. El método consiste en tener un NCP (Protocolo de control de Red) distinto para cada protocolo de capa de red soportado

PPP – Formato de la trama

- La trama siempre tiene un número entero de bytes
- El campo dirección no se utiliza, siempre vale 11111111
- El campo control casi siempre vale 00000011, que especifica trama no numerada (funcionamiento sin ACK).
- Generalmente en el inicio se negocia omitir los campos dirección y control (compresión de cabeceras)

Bytes →	1	1	1	1 ó 2	Variable	2 ó 4	1
Delimitad.	Dirección	Control	Protocolo	Datos	CRC	Delimitad.	
01111110	11111111	00000011				01111110	

PPP – Componentes

- LCP (Link Control Protocol): negocia parámetros del nivel de enlace en el inicio de la conexión, Ej.:
 - Supresión de campos dirección y control
 - Uso de protocolos fiables (con ACK)
- NCP (Network Control Protocol): negocia parámetros del nivel de red:
 - Protocolos soportados (IP, IPX, OSI, CLNP, XNS)
 - Asignación dinámica de dirección IP.
- CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol): realiza tarea de autenticación de usuario.