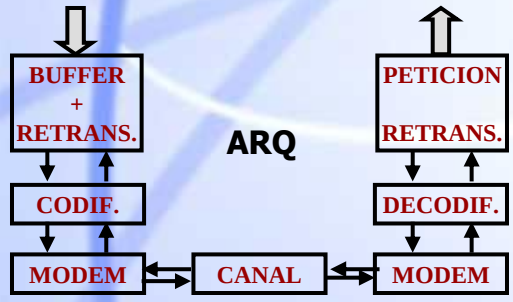
Arquitectura de Redes de Acceso y Medio Compartido

Grado en Ingeniería de Sistemas de Comunicaciones

Universidad Carlos III de Madrid

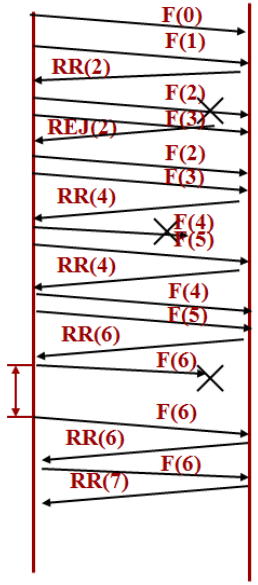
Departamento de INGENIERIA TELEMATICA
www.it.uc3m.es

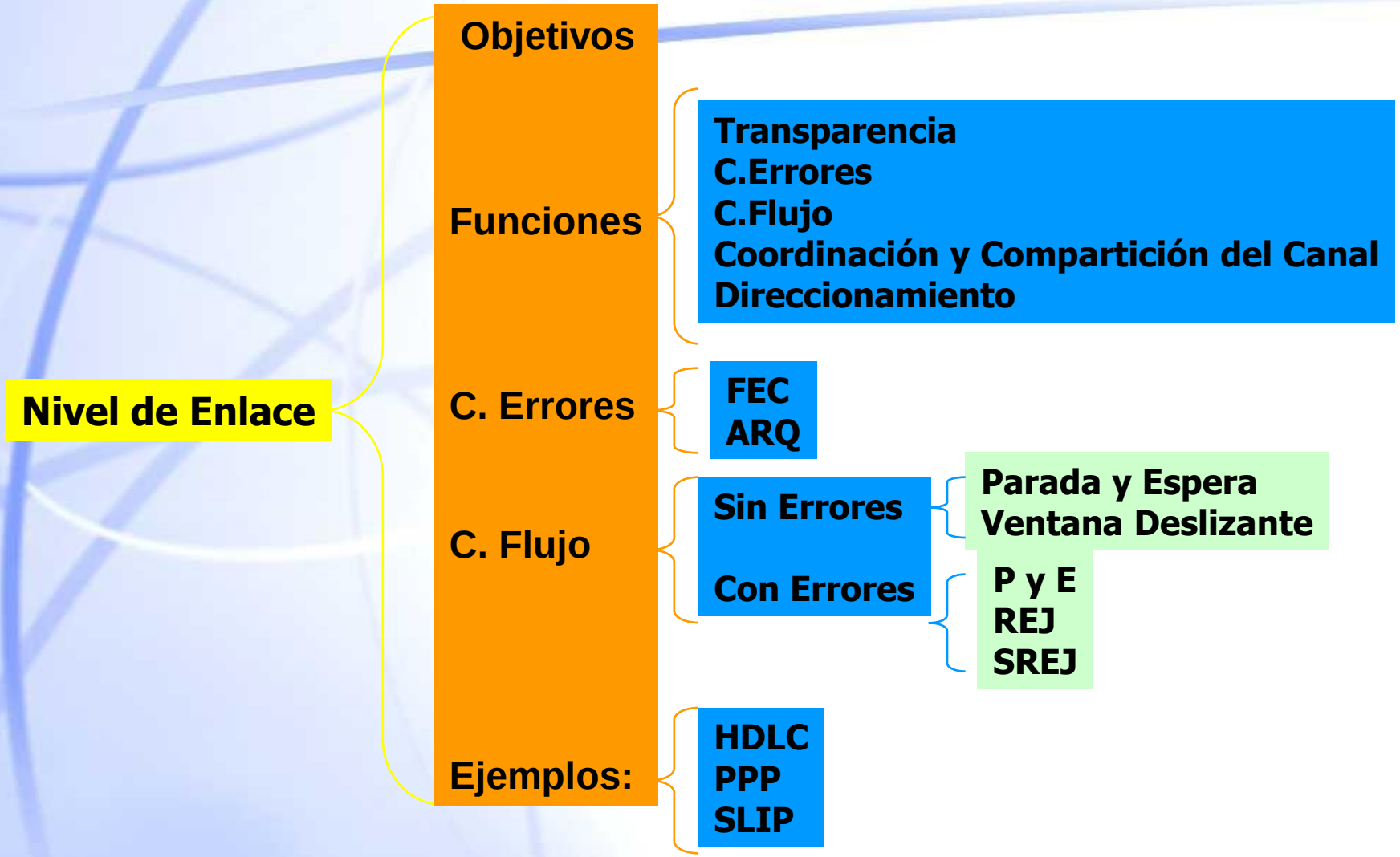
Tema 3: Nivel de Enlace



Dr. Jose Ignacio Moreno Novella

<joseignacio.moreno@uc3m.es>




Nivel de Enlace
Objetivos
Funciones
Transparencia
C.Errores
C.Flujo
Coordinación y Compartición del Canal
Direccionamiento
C. Errores
FEC
ARQ
C. Flujo
Sin Errores
Parada y Espera
Ventana Deslizante
Con Errores
P y E
REJ
SREJ
Ejemplos:
HDLC
PPP
SLIP

Funciones del Nivel de Enlace

- Objetivo: **Resolver los problemas derivados de la falta de fiabilidad de los circuitos físicos.**

  Transferencia fiable de bloques de información (tramas) entre equipos directamente conectados.

- Funciones Principales:

  Delimitación de trama

  Transparencia

  Coordinación y Compartición del canal

  Control de flujo

  Control de errores

  Direccionamiento: LAN

Definiciones

- **Mensaje: Secuencia de caracteres o bits que representa la información a enviar de un origen a un destino.**
- **Bloque: conjunto de caracteres o bits que se agrupan por razones técnicas para ser transmitidos como una unidad.**
- **Trama: estructura de datos que maneja el protocolo de nivel de enlace para enviar un bloque.**

Delimitación de Trama

- **Nivel Físico: Delimitación (sincronismo) de bit y de carácter (a veces)**
- **Delimitación de trama:**

  ¿Donde empieza/acaba una secuencia de datos?
- Soluciones:
  - **Utilización de tramas de tamaño fijo**
  - **Delimitación por carácter de longitud**
  - **Delimitación por carácter de principio y fin**
  - **Delimitación por guiones**

Delimitación de tramas

- **Tramas de tamaño fijo**
  - **Intrínsecamente transparente**
  - **Poco flexible. Rellenar tramas cortas (desperdicio del canal)**
- **Delimitación por longitud**
  - **Intrínsecamente transparente**

    Datos a enviar abcde

    Trama: 5abcde

    ¿Qué pasa si se produce un error en la información de longitud? Se pierde el sincronismo de todas las tramas hasta que se recupere ese error

Delimitación de tramas

- **Delimitación por carácter de principio y fin**

  Problemas de transparencia

  Carácter de principio/fin: $

  Datos a enviar: abcdefghijk

  Trama: $abcdefghijk$

  Datos a enviar: abc$efg

  Trama: abcefg**... ?????=> ver luego**

- **Delimitación con guiones en protocolos orientados a bit (HDLC)**

01111110 11010111011010011101O 01111110

Transparencia

Se dice que un protocolo es transparente si es capaz de enviar cualquier dato.

- **Delimitación por carácter de principio y fin**
  - Los caracteres de control van precedidos por carácter especial (de escape)
  - El carácter de escape se duplica cuando aparece en los datos.
    - ✓ Carácter de ppio./fin: $
    - ✓ Carácter de escape: %
    - ✓ Datos a enviar ab%deg
    - ✓ Trama: %$ab%%$de$g%$
    - ✓ U otra forma: trama $ab%%%$d%%e%g
  - **Eficiencia caso peor 50%.**

Transparencia

- **Delimitación con guiones en protocolos orientados a bit.**
  - Se inserta un 0 por cada cinco 1 consecutivos en el campo de datos, independientemente del símbolo siguiente

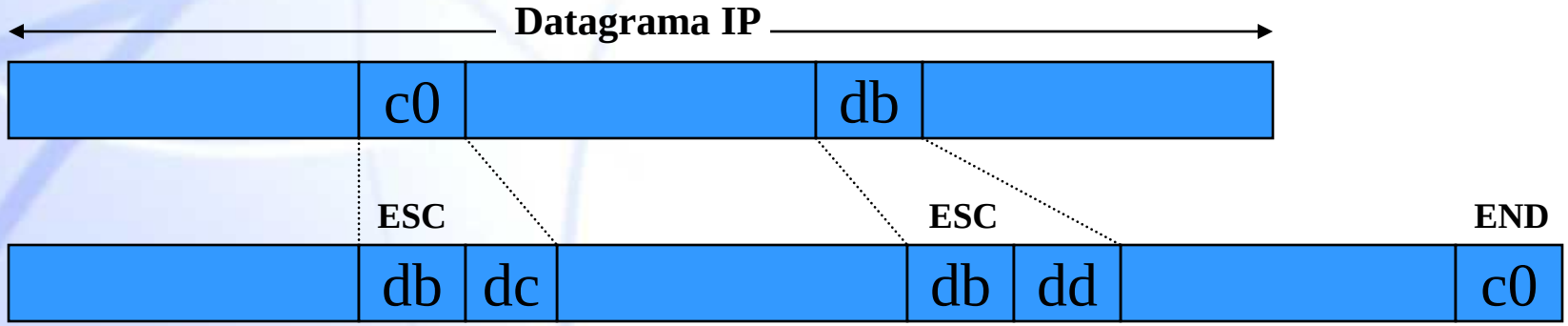
  Datos a enviar: 0011111110011110

  Trama: **01111110**0011111**0**1100111110**0**01111110

  - En recepción se elimina siempre el 0 que sigue a cinco 1
  - Eficiencia en el caso peor: 5/6.

Ejemplo Serial Link IP Protocol: SLIP

- Definido para encapsular Datagramas IP sobre líneas serie (RFC1055).
- Muy difundido.
- Envía datagrama IP byte a byte añadiendo una marca de fin de Datagrama (0xc0).



- Usado principalmente para accesos a ISP

Universidad
Carlos III de Madrid

Protocolos de Control de Errores: Técnicas FEC y ARQ

Dr. Jose Ignacio Moreno Novella
<joseignacio.moreno@uc3m.es>

Control de Errores

- Conjunto de Técnicas que permiten resolver los problemas introducidos por los canales ruidosos con probabilidades de error inaceptables para las aplicaciones finales
- Fases

  1.- Detección de errores

  Información redundante en cada trama

  2.- Recuperación

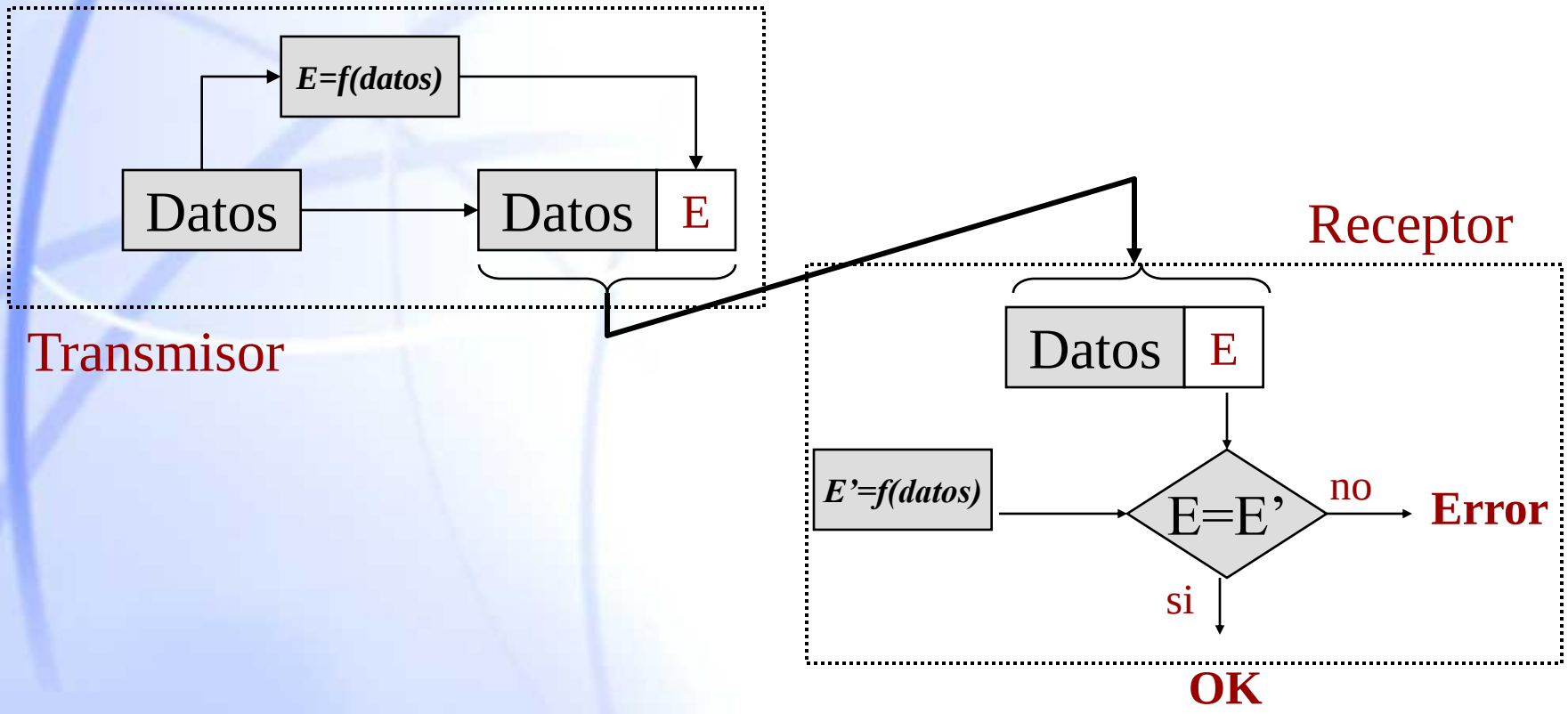
  - Corrección de errores en el destino (FEC) Información redundante en cada trama
  - Petición de retransmisión (ARQ)

Detección/Corrección de Errores

- Método: añadir información redundante a los datos para detectar y, tal vez, corregir errores
- Se coge un bloque de k bits de datos.
- Ese bloque se pasa por un codificador y sale un bloque de n bits con n>k
- =>Códigos de bloque
- Si la salida del codificador contiene la entrada =>Códigos lineales
- Veremos sólo códigos de bloque lineales

Códigos sistemáticos

Si el código de bloque lineal tiene todos los bits del mensaje al principio y los bits de redundancia todos al final es un código de bloque lineal y sistemático



Ejemplo de códigos de detección

- **Paridad:**

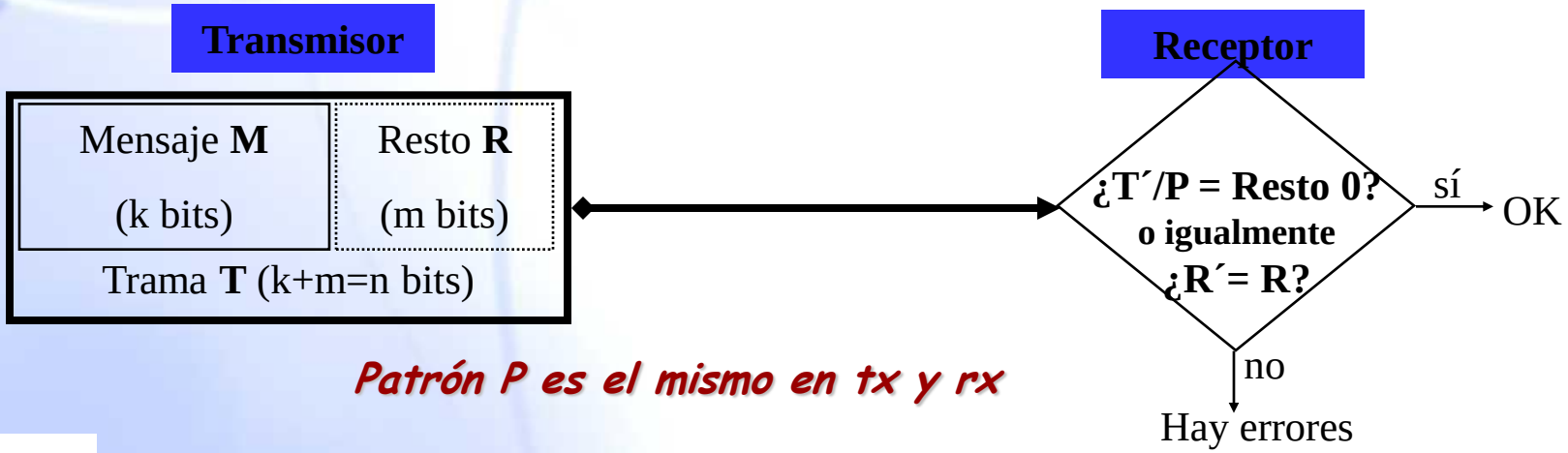
  Añadir un bit a una secuencia de datos indicando si el número de "0s" o "1s" es par o no

  - **Dos tipos:**
    - ✓ **Impar:** **1: numero par de "1s"**
      0: numero impar de "1s"
      ¡¡Ojo viola la regla de la suma, no es lineal!!
    - ✓ **Par:** **1: numero impar de "1s"**
      0: numero par de "1s"

  Sólo detecta errores impares

Ejemplos de códigos de detección: CRC

- CRC *Cyclic Redundancy Check*
  - **El transmisor, dado un mensaje** M **(de k bits), genera un código** R **(o frame check sequence** FCS, **de m bits) con un algoritmo que usa un patrón o divisor** P **(de m+1 bits) y transmite la trama** T **(de k+m=n bits, concatenando M y R)**
  - **El receptor, con los k primeros bits (**M´**) de los recibidos (**T´**), genera** R´ **(m bits) utilizando el mismo algoritmo y patrón** P **: si R´=R ó, equivalentemente, R{T/P}=0: no hay errores (o no se pueden detectar)**



Patrón P es el mismo en tx y rx

CRC

- **3 formas de verlo**
  - **Aritmética módulo 2**
    (XOR: a⊕a=0, a⊕b=1 // 2^m = desplazar a la izqda y rellenar con 0s)

    En txt: R = Resto (2^m*(M=u) / P) ; T=v= 2^m*M ⊕ R

    En rx sin error: T´/P=T/P= (2^m*M ⊕ R)/P = Q⊕(R/P)⊕(R/P) = Q =>resto=0

    En rx con error: T´/P= (T ⊕ *Error*) / P = Q ⊕ *Error*/P.

    =>resto=R(*Error*/P) Si *Error* múltiplo de P, no se detecta

    (Significado de *Error:* 1 en el bit erróneo, 0 en el OK)

    Evidentemente Error es desconocido
  - **División de Polinomios**

    Misma idea, usando polinomios de grado m-1. x variable muda

    "m" bits 110101 = $1*X^5 + 1*X^4 + 0*X^3 + 1*X^2 + 1*X^1 + 1$
  - **Lógica digital**
    Este algoritmo debe ejecutarse de una forma rápida para todos los mensajes que se intercambien, preferentemente implementada en hardware ... Relacionado con V=u*G

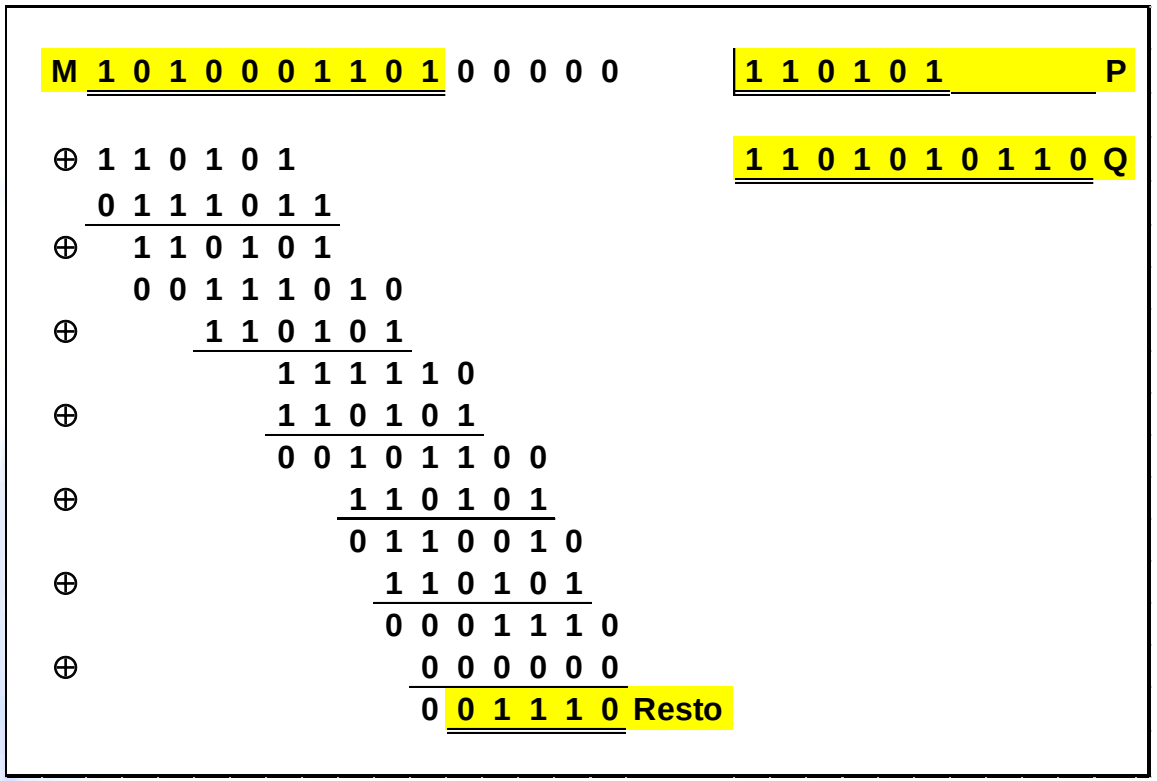
CRC

- **Ejemplo**

  M = 10 10 00 11 01

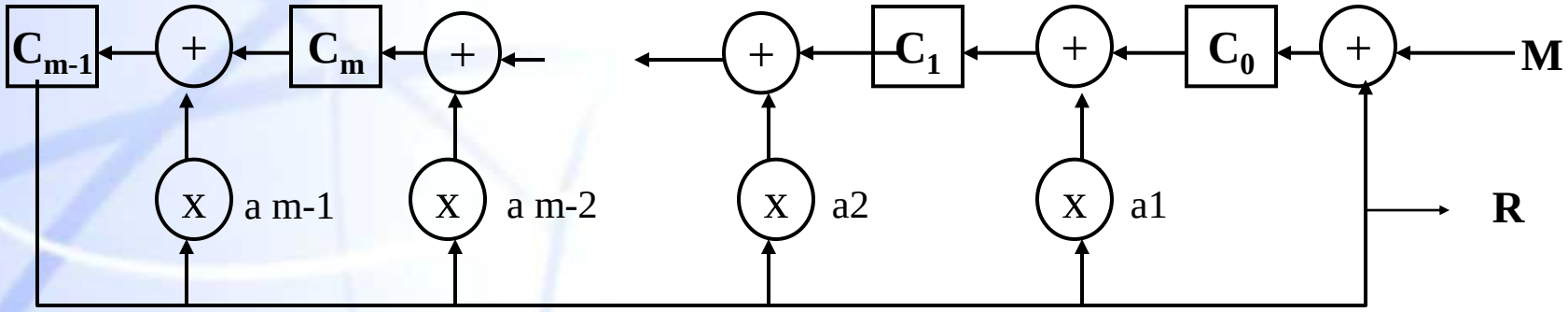
  P = 11 01 01

  P=x^5+x^4+x^2+1



CRC con lógica digital

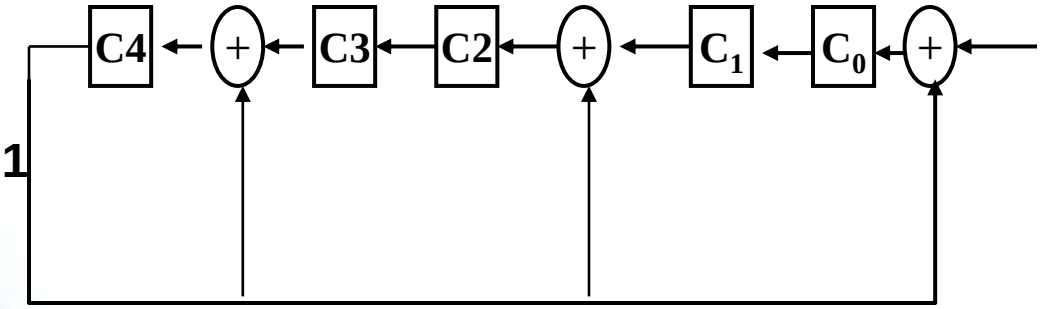
- **Algoritmo implementable mediante lógica digital**
  - **1.- Registros de desplazamiento para "m" bits, inicializados a "0"** Ci
  - **2.- "m" puertas "or-exclusiva" XOR** +
  - **3.- Presencia o ausencia de puerta dependiendo de la presencia o ausencia del término en polinomio divisor P**



- **Ejemplo:**

  Polinomio $P=X^5 + X^4 + X^2 + 1$

  Mensaje 1010001101



CRC

- **Polinomios de patrón P habituales:**
  - **CRC-16** $x^{16}+x^{15}+x^2+1$ **(P de 17 bits, R de 16 bits)**
  - **CRC-CCITT** $x^{16}+x^{12}+x^5+1$ **(P de 17 bits, R de 16 bits)**
  - **CRC-32** $x^{32}+x^{26}+x^{23}+ x^{22}+x^{16}+x^{12}+ x^{11}+ x^{10}+x^8+x^7+ +x^5+x^4+x^2+x^1+1$ **(P de 33 bits, R de 32 bits)**
  - **CRC-12** $x^{12}+x^{11}+x^3+ x^2+x+1$ **(P de 13 bits, R de 12 bits)**

- **¿Qué tipos de error se detectarán?**
  - **Todos los errores de un único bit**
  - **Todos los errores dobles, si P tiene al menos tres 1**
  - **Cualquier número impar de errores, siempre que P(X) contenga el factor (X+1)**
  - **Cualquier ráfaga de errores cuya longitud sea *menor* que la longitud de P, i.e. menor o igual que la longitud de FCS**
  - **La mayoría de las ráfagas de mayor longitud**

Corrección de Errores

- **Objetivo:**

  Recuperación frente a errores detectados

- **Dos Enfoques**

  - **Técnicas FEC**

    Perror=P(no corregir o corregir mal)

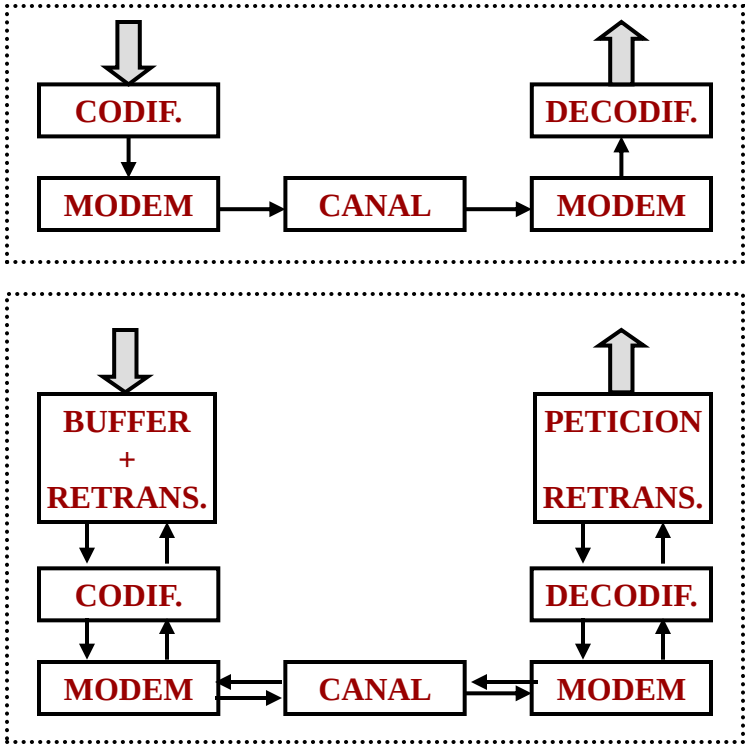
    Se corrige aprovechando la redundancia

  - **Técnicas ARQ**

    Perror=P(no detectar)

    Sólo se detectan los errores y se pide retransmisión.

    Se estudiará luego



Universidad
Carlos III de Madrid

Técnicas de Control de Flujo

Dr. Jose Ignacio Moreno Novella
<joseignacio.moreno@uc3m.es>

Control de Flujo

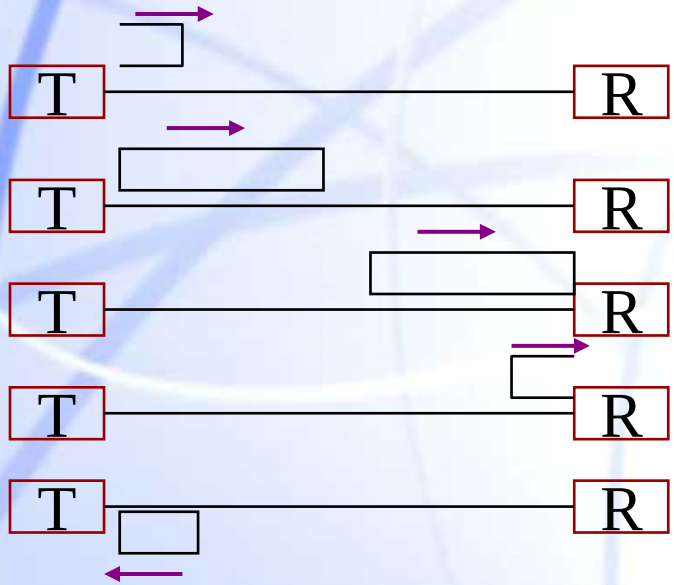
- **Objetivo:**

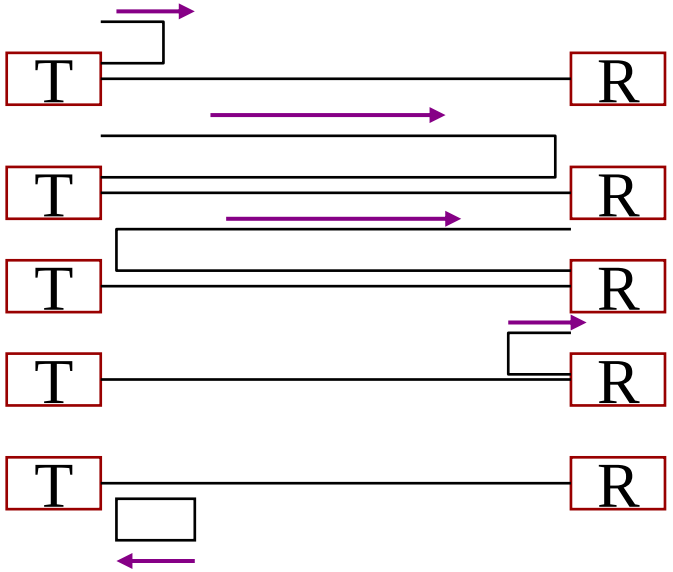
  limitar la cantidad de información que el transmisor puede enviar al receptor, al objeto de no saturar los recursos (memoria,..) disponibles.

- **Suposiciones**
  - Ausencia de errores
  - Recepción ordenada
- **Técnicas de Control**
  - Parada y espera
  - Ventana Deslizante

Parada y Espera

- Fuente envía una trama y espera confirmación.
- Receptor envía confirmación.



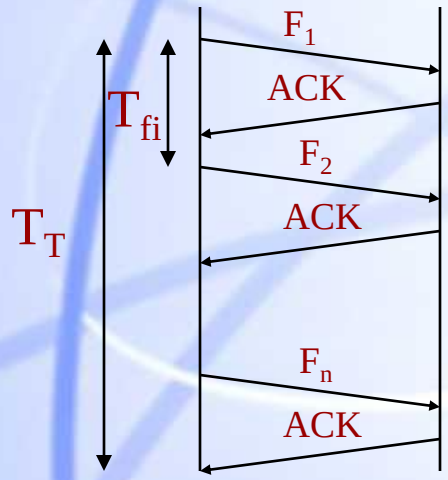


- PROBLEMA: Sólo una trama en tránsito
- Eficiencia= f(tamaño trama)

$$\begin{cases} t_{tx} > t_{pro} & \text{Ineficiente} \\ t_{tx} < t_{pro} & \textbf{Muy Ineficiente} \end{cases}$$

Análisis de Prestaciones

- **Suponemos: línea semiduplex sin errores. Tramas igual tamaño**



$$T_{Fi}=T_{prop}+T_{tx}+T_{proc}+T_{prop}+T_{ack}+T_{proc}$$

Suponemos: T_{ack} y T_{proc} despreciables

$$T_{Fi}=T_{tx}+2T_{prop} \qquad T_T=n\,[T_{tx}+2T_{prop}]$$

$$U=\frac{n*T_{tx}}{T_T}=\frac{T_{tx}}{T_{tx}+2T_{prop}}=\frac{1}{1+2a};\qquad a=\frac{T_{prop}}{T_{tx}}$$

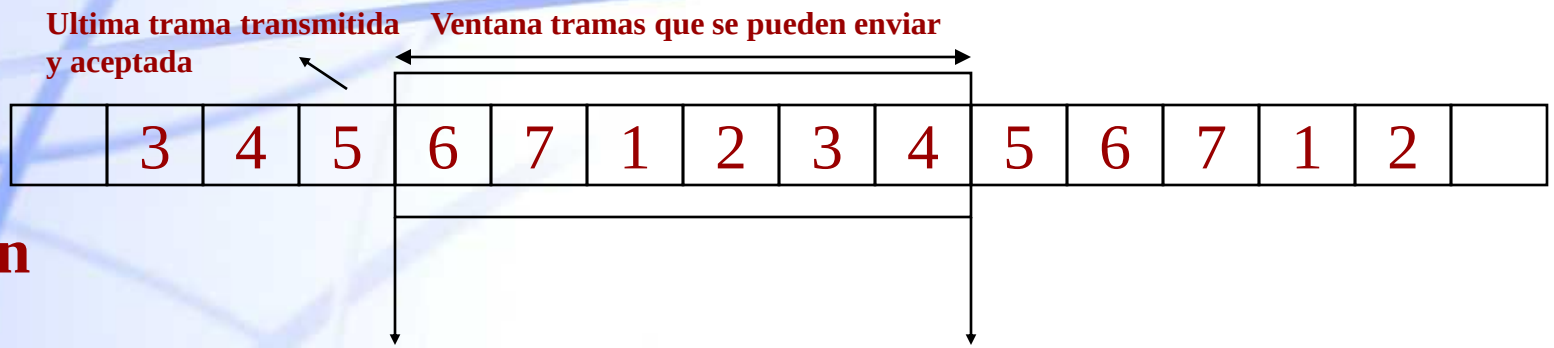
$$T_{prop}=\frac{Distancia\quad Enlace}{Velocidad\quad Medio}$$

$$T_{tx}=\frac{Longitud(bits)\quad Trama}{Velocidad\quad Enlace}$$

Ventana Deslizante

- Permite el envío simultáneo de varias tramas en tránsito.
- El destino reserva n buffers para recepción de tramas.
- El origen puede enviar n tramas sin esperar confirmación.
- Las tramas deben numerarse mediante el uso de un campo de longitud finita (n) en la información de control.
- El tamaño máximo de la ventana es 2^n-1

Ventana Deslizante

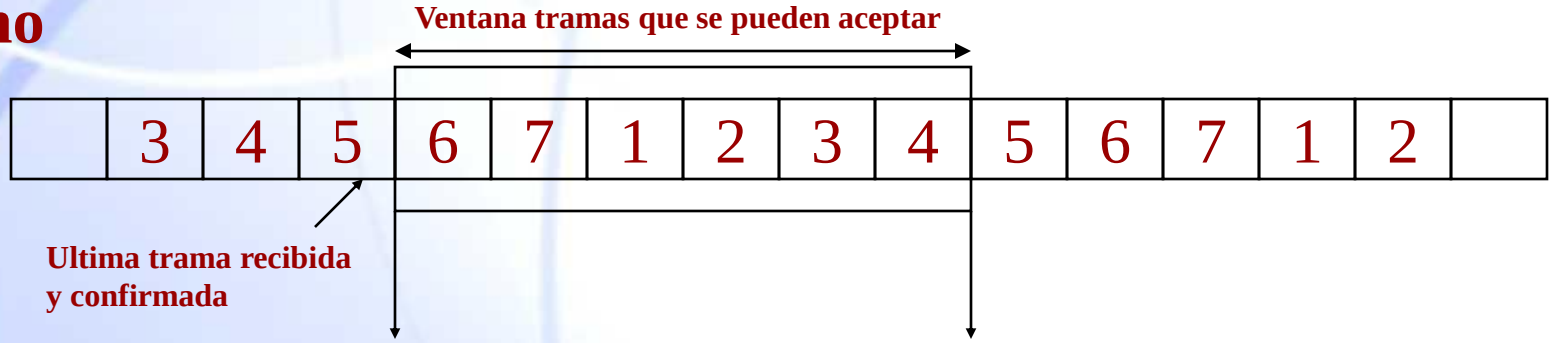


Origen

La ventana se cierra por el límite inferior cuando se envían tramas

La ventana se abre por el limite superior cuando se van recibiendo las confirmaciones

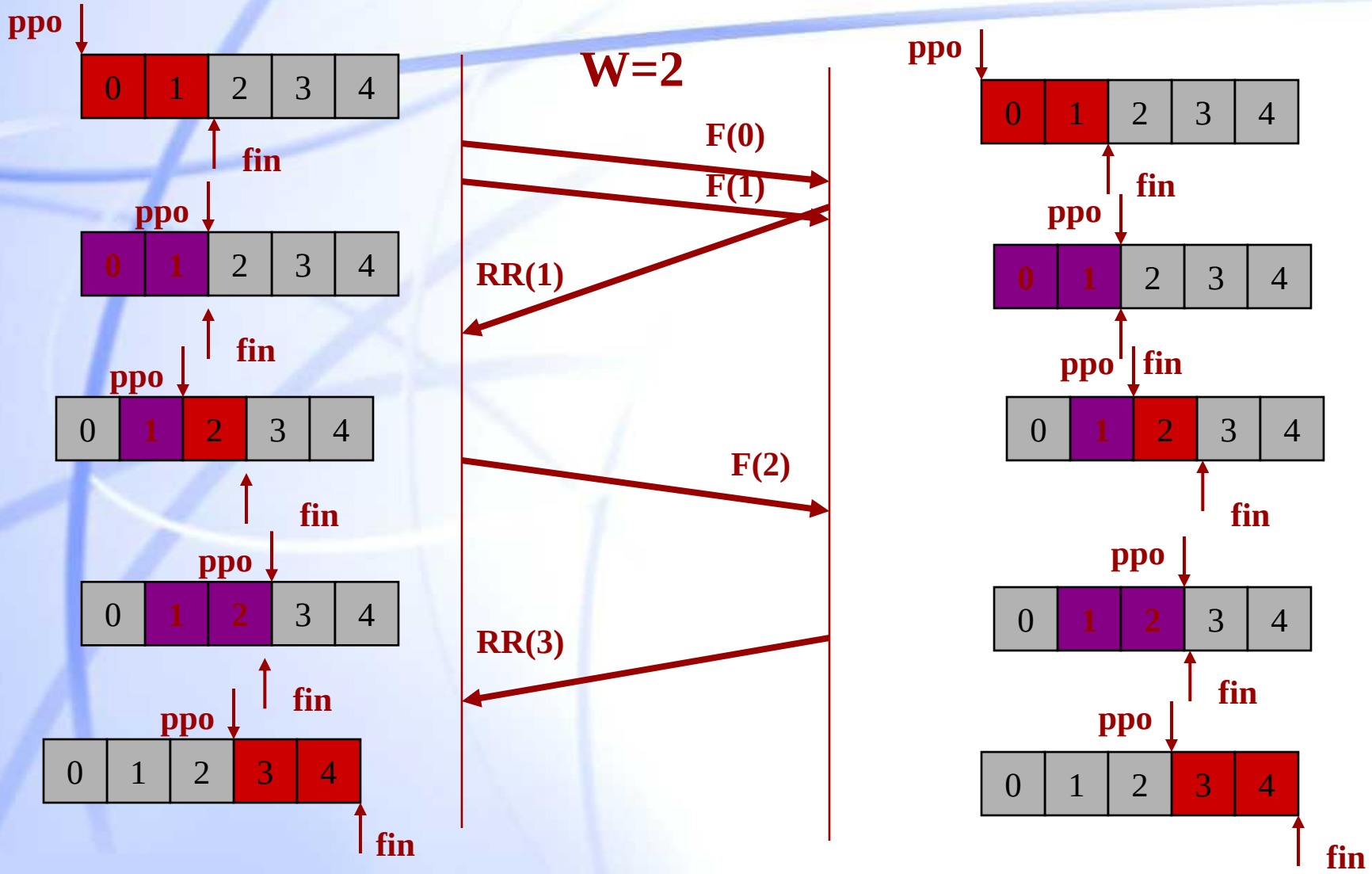
Destino



La ventana se cierra por el límite inferior cuando se reciben tramas

La ventana se abre por el limite superior al enviar confirmaciones

Ejemplo de Ventana Deslizante

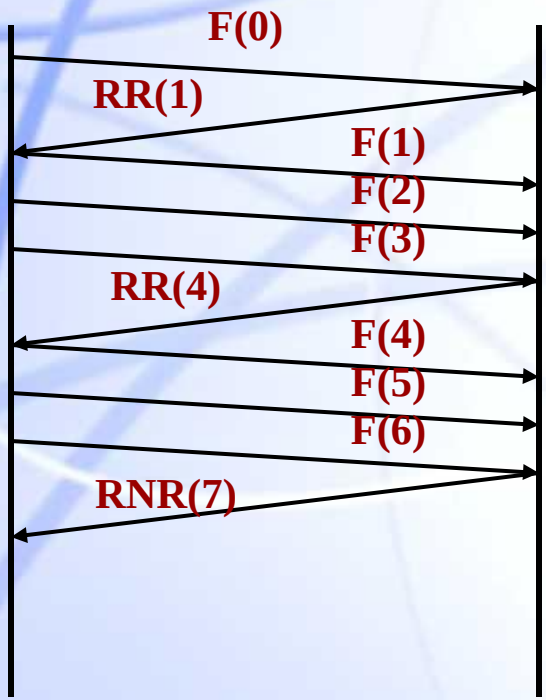


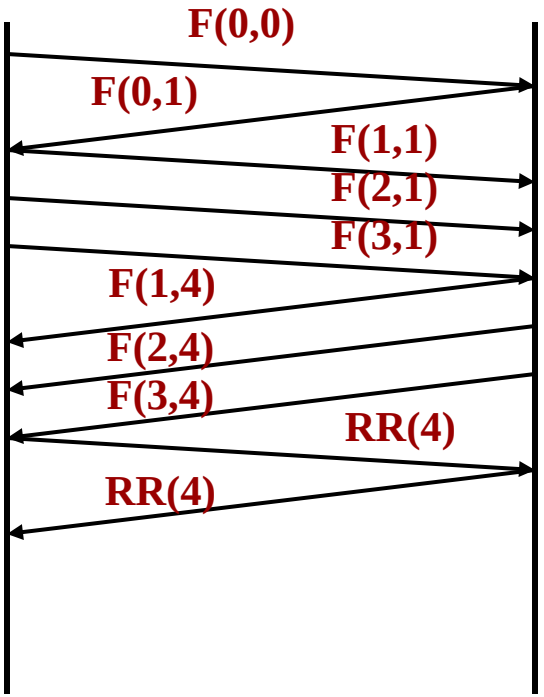
Ventana Deslizante

- **Tipos de Tramas (Notación)**
  - **Datos:** F_1, ...F_n
  - **ACK:** RR(n) **(He recibido hasta la trama n-1 espero recibir la n)**
  - **RNR** (n) **(Recibido correctamente hasta n-1 no soy capaz de recibir más temporalmente)**
- **Si enlace duplex, tramas de datos incorporan campos de asentimiento**
  - **Datos:** F(m,n) **(Envío trama m, asiento n-1).**

Ventana Deslizante

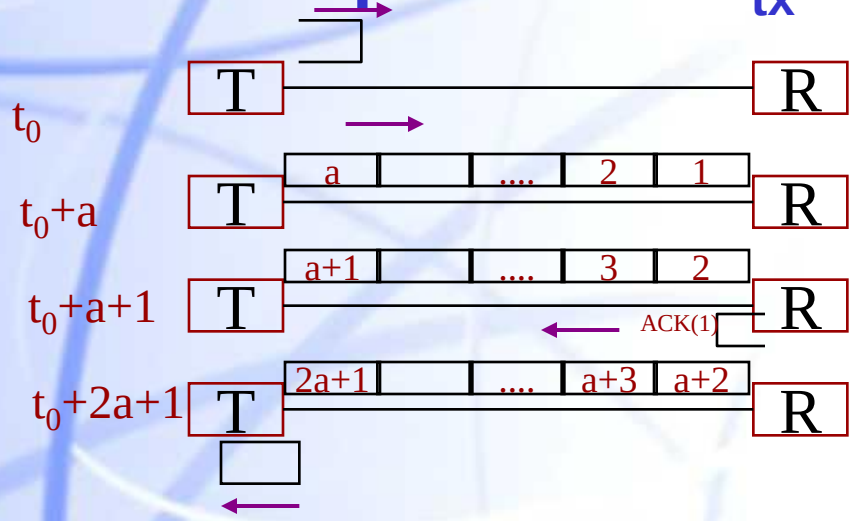
N=3 W=3

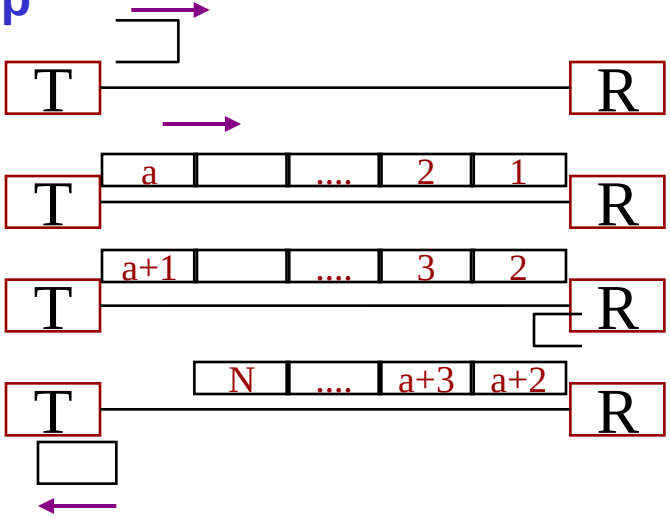




Análisis de Prestaciones

- Suponemos T_{tx}= 1 T_{prop}=a





$N > 2a + 1$

$N < 2a + 1$

$$U \begin{cases} 1 & si \quad N > 2a+1 \\ \dfrac{N}{2a+1} & si \quad N < 2a+1 \end{cases}$$

Universidad
Carlos III de Madrid

ARQ

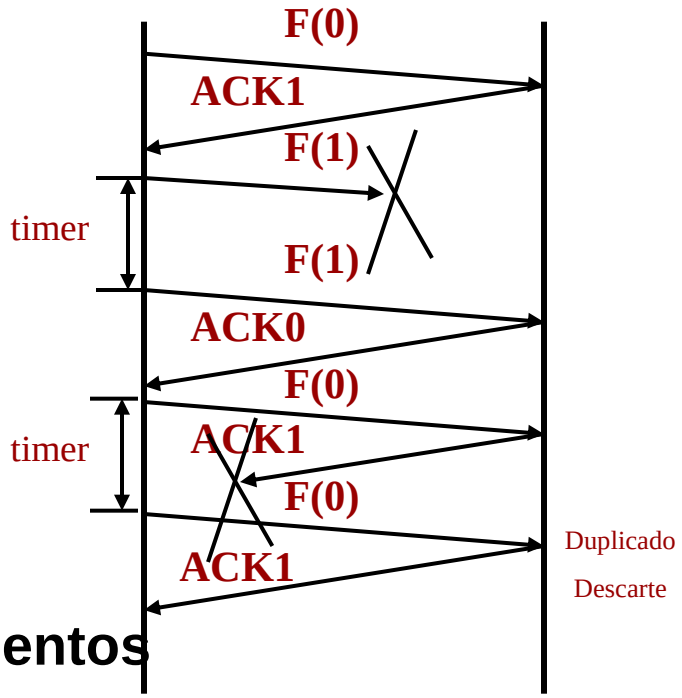
Dr. Jose Ignacio Moreno Novella
<joseignacio.moreno@uc3m.es>

ARQ

- Petición de retransmisión en caso de errores. Sirve también para hacer control de flujo.
- Parada y Espera
- Ventana Deslizante con rechazo simple
- Ventana Deslizante con rechazo selectivo

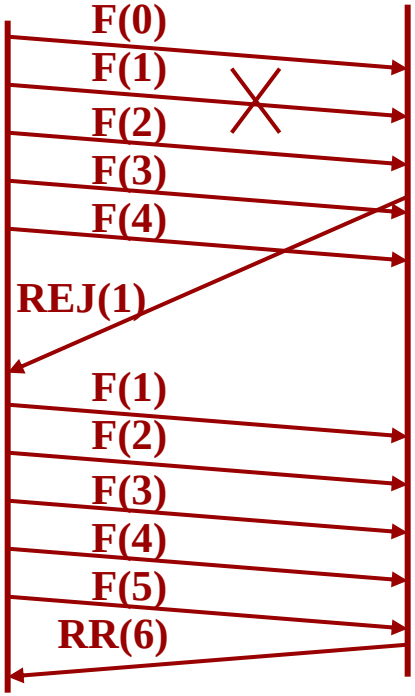
ARQ: Parada y Espera

- **Dos tipos de error:**
  - **Trama dañada o perdida**
    - ✓ **Detección y descarte de trama**
    - ✓ **Temporizador en fuente para retransmisión**
  - **ACK dañado o perdida**
    - ✓ **Numeración de tramas y asentimientos (0,1), para evitar duplicados en el receptor.**



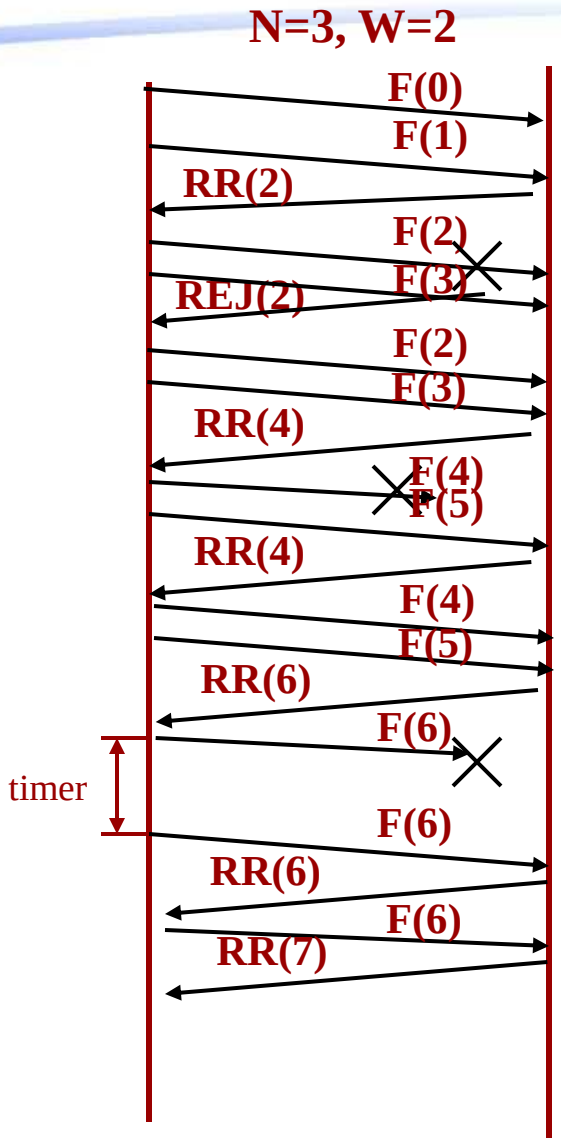
ARQ: Rechazo Simple

- Si el destino detecta error envía trama REJ(n). La estación destino descartará esa trama y las siguientes hasta recibir de nuevo la trama correctamente.
- El origen al recibir el REJ(n) retransmite la trama y las posteriores.

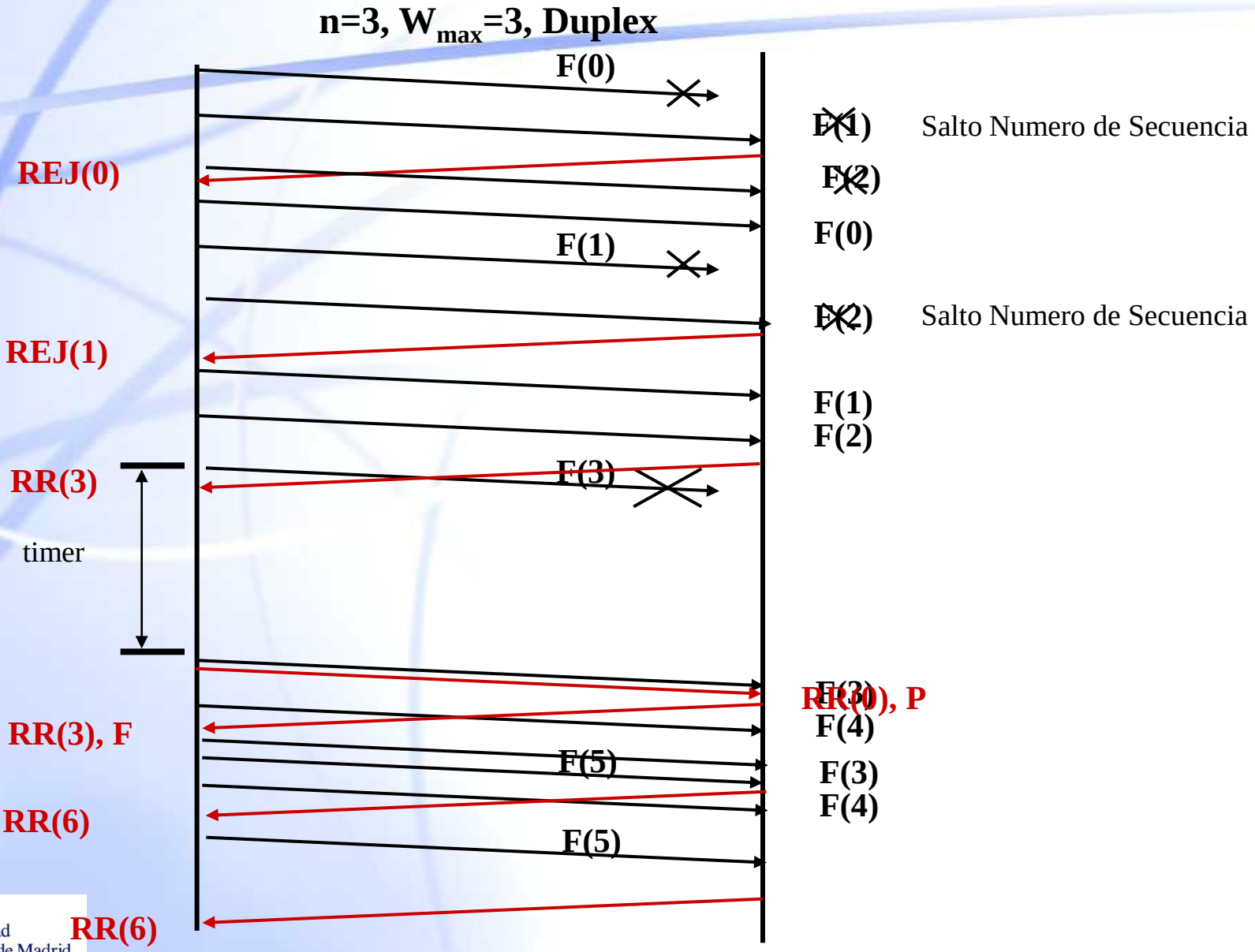


ARQ: Rechazo simple

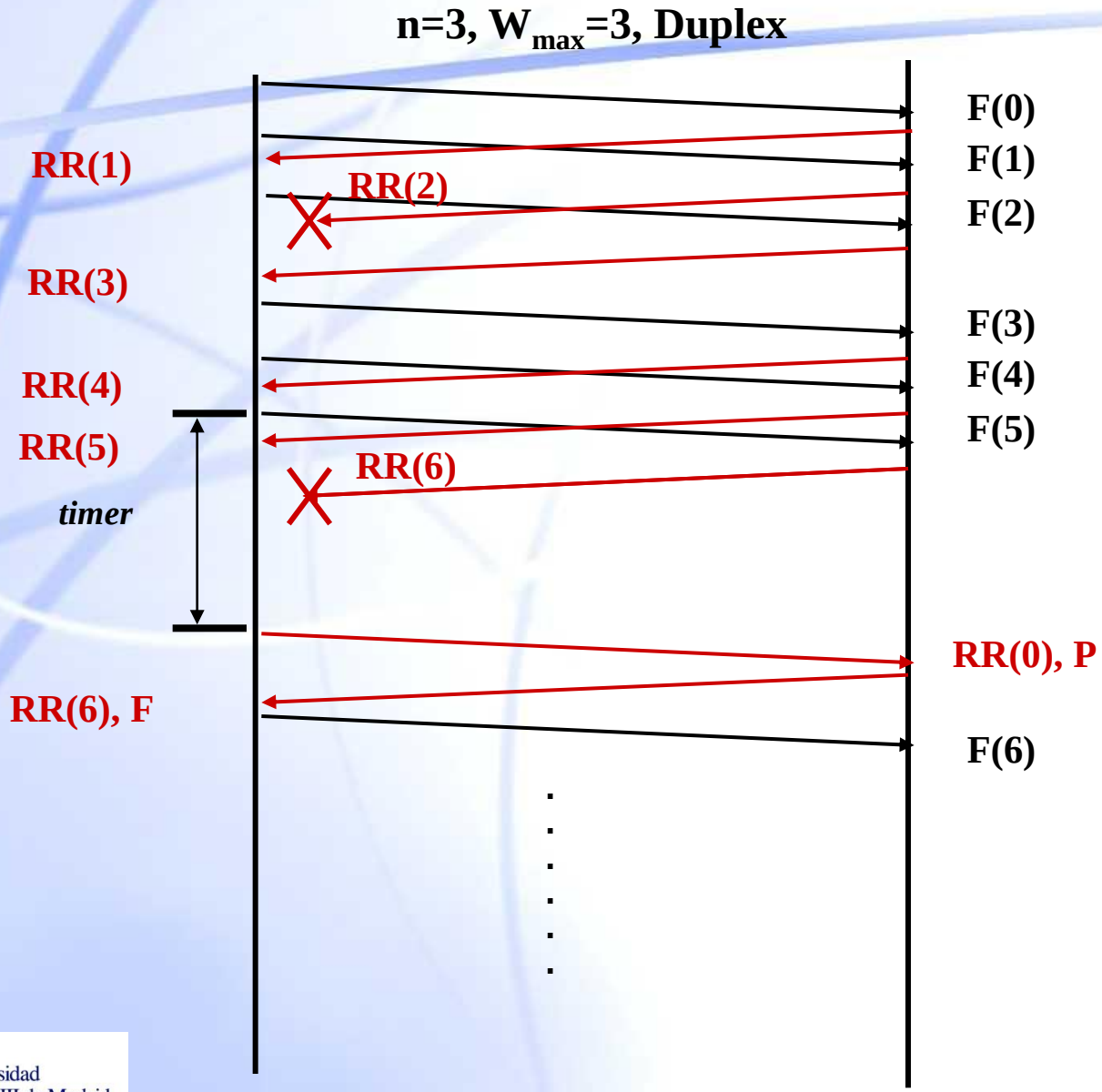
- **Tipos de errores:**
  - **Trama dañada o perdida.**
    - ✓ **Si es detectada por receptor REJ**
    - ✓ **Si se pierde, alteración número de secuencia, REJ**
    - ✓ **Si se pierde y es la última, temporizador e interrogación de estado.**
  - **RR dañado o perdido**
    - ✓ **Si se recibe RR posterior no hay problema**
    - ✓ **Si no, tx solicita estado (RR).**
  - **REJ dañado o perdido**
    - ✓ **Interrogación de estado.**



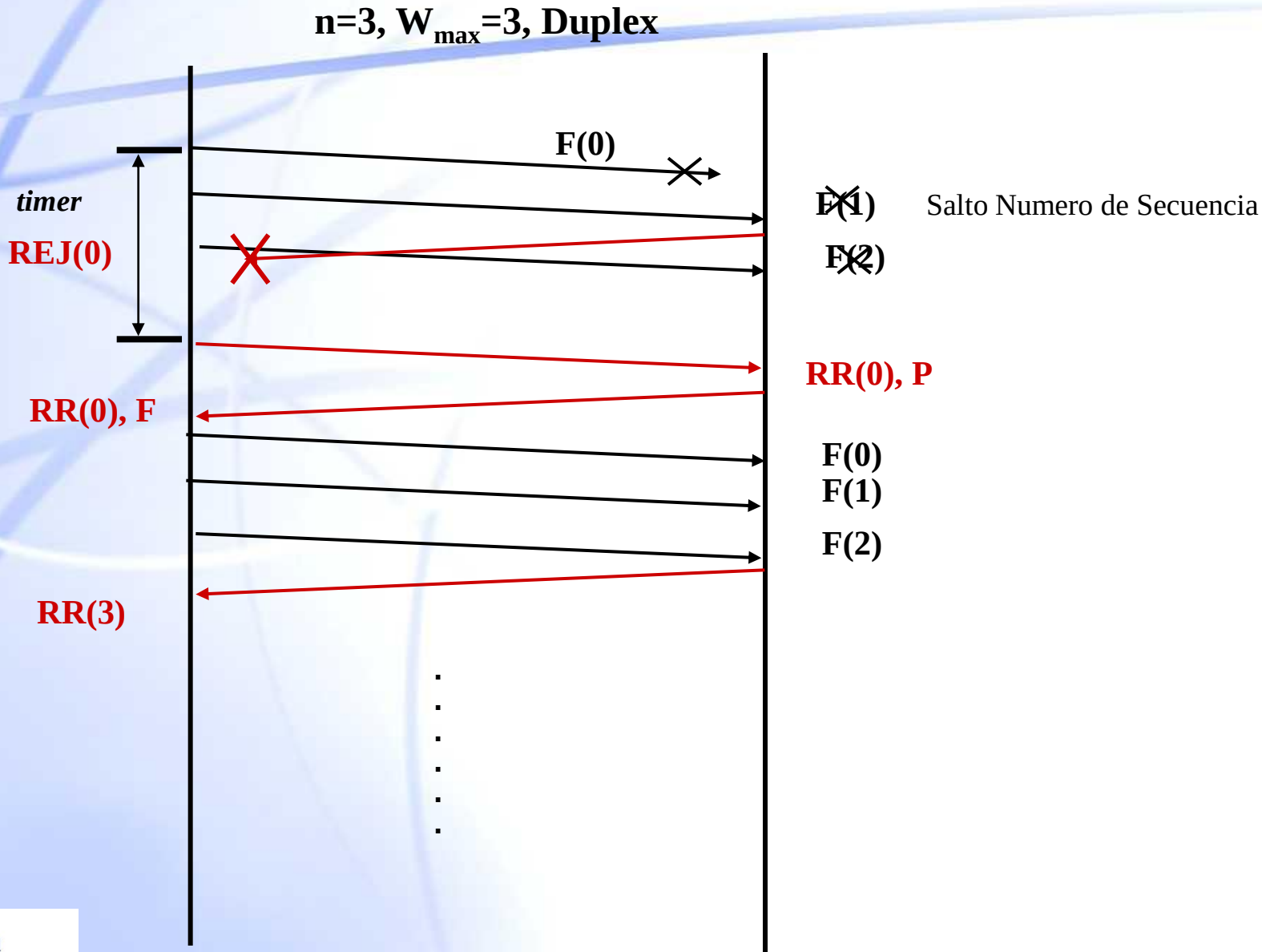
REJ: Detección de Errores (I)



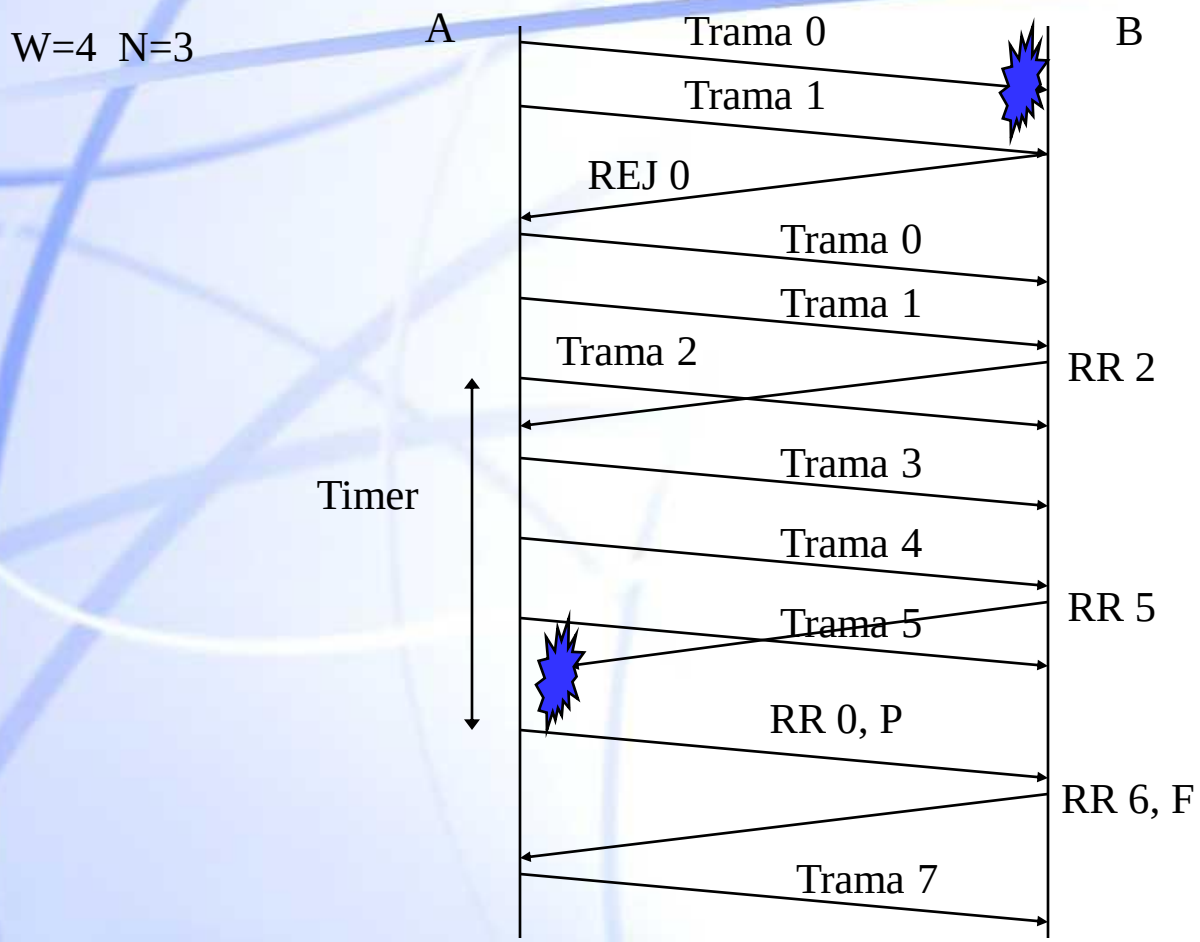
REJ: Detección de Errores (II)



REJ: Detección de Errores (III)

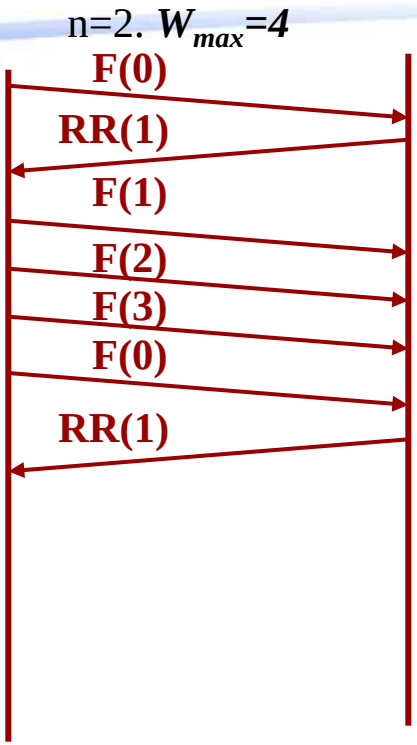


ARQ: rechazo simple



REJ: Tamaño Máximo de Ventana

- $W_{max}=2^n-1$
- Supogamos $W_{max}=2^n$



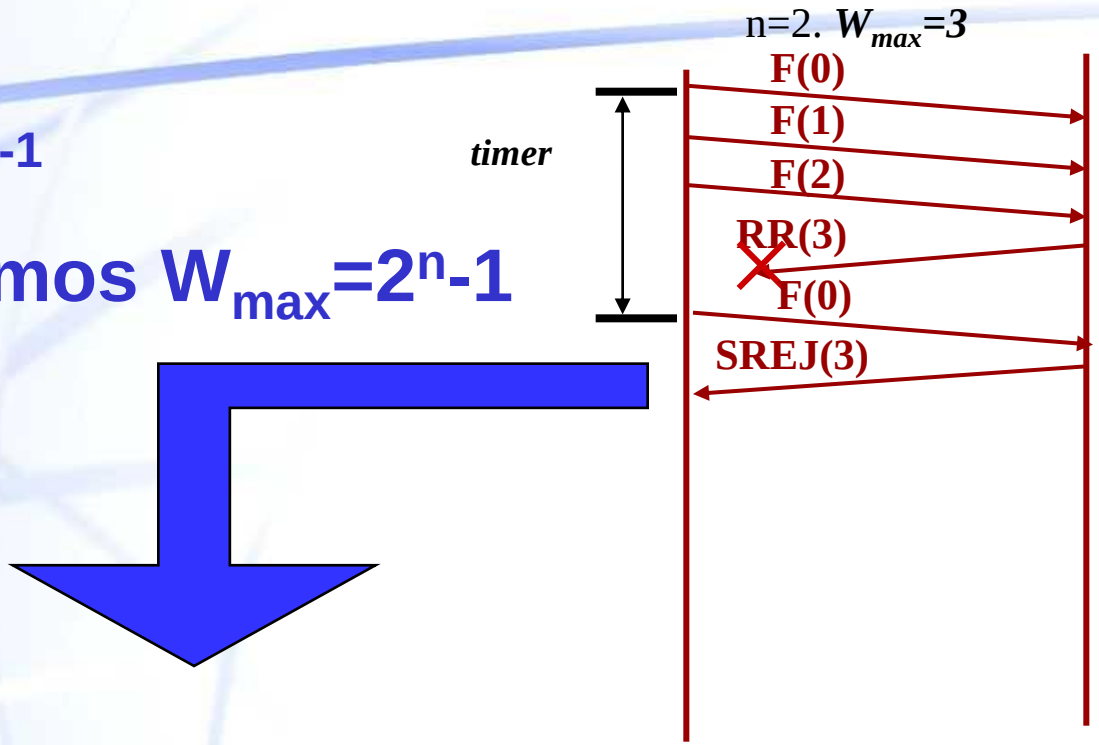
- ¿¿ Qué ha pasado ??
  - Se ha recibido todo bien ??
  - Se ha recibido todo (4 últimas tramas) mal ??
  - Ambiguo → Solución $W_{max}=2^n-1$

ARQ: Rechazo selectivo

- Rechazo selectivo de tramas dañadas. SREJ(n). Igual que REJ pero solo se retransmiten tramas dañadas.
- Mas memoria que rechazo simple.
- Lógica de reinserción y envío selectivo.
- Tamaño máximo de ventana 2^{n-1}

SREJ: Tamaño Máximo de Ventana

- $W_{max}=2^{n-1}$
- Supogamos $W_{max}=2^{n}-1$



- Receptor supone F(3) perdida, acepta F(0), envía SREJ(3)
- Transmisor supone que se perdieron todas las tramas
  - Ambiguo → Solución $W_{max}=2^{n-1}$

Probabilidad de error de bloque

- **Probabilidad de error de bloque**

$P_{eb} = 1 - (1-p)^n$ con p=prob. error de bit

n=nº de bit/bloque

ARQ: Análisis de Prestaciones

- **Parada y Espera**
  - **Los errores provocan retransmisiones**

$$U = \frac{T_{tx}}{T_{total}} = \frac{T_{tx}}{N_t * (T_{tx} + 2T_{prop})} = \frac{1}{N_t(1+2a)}$$

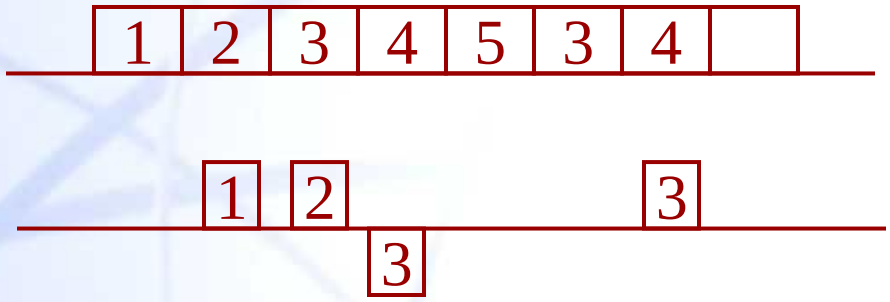
N_t	Prob
1	$1-P_{err}$
2	$P_{err}(1-P_{err})$
.....	.....
n	$P_{err}^{n-1}(1-P_{err})$

$$N_t = \sum_{i=1}^{\infty} i(1-P_{err})P_{err}^{i-1} = \frac{1}{1-P_{err}}$$

$$\boxed{U = \frac{1-P_{err}}{1+2a}}$$

ARQ: Análisis de Prestaciones

- **Rechazo simple con envío continuo *N* > *2a+1***



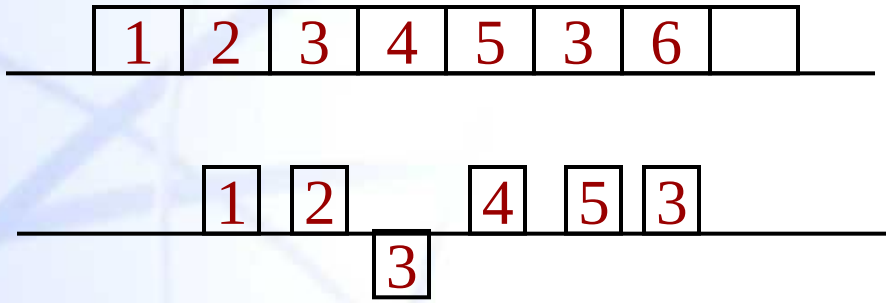
$$U = \frac{T_{tx}}{T_{total}} = \frac{T_{tx}}{N_r * (T_{tx} + 2T_{prop}) + T_{tx}} = \frac{1}{N_r(1+2a)+1}$$

$$N_r = N_t - 1 = \frac{P_{err}}{1-P_{err}}$$

$$\boxed{U = \frac{1-P_{err}}{1+2aP_{err}}}$$

ARQ: Análisis de Prestaciones

- **Rechazo selectivo con envío continuo *N* > *2a+1***



$$U = \frac{T_{tx}}{T_{total}} = \frac{T_{tx}}{N_t * T_{tx}} = 1 - P_{err}$$

Universidad
Carlos III de Madrid

Ejemplos: Protocolo HDLC

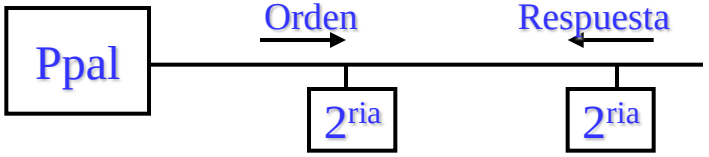
Dr. Jose Ignacio Moreno Novella
<joseignacio.moreno@uc3m.es>

Protocolos Orientados a Bit

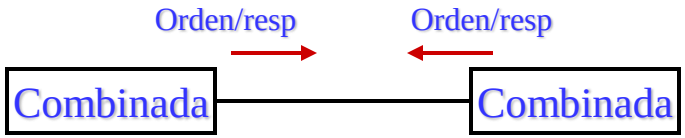
- Operación independiente del código. No hay códigos de control.
- Adaptabilidad a varias configuraciones
  - 2,4 hilos,
  - punto a punto, multipunto
- Alto rendimiento (Datos/control)
- Alta seguridad. Tramas protegidas con mecanismos de control de errores.

HDLC: High Level Data Link Control

- **Características Básicas**
  - Protocolo de nivel de enlace orientado a bit
  - Define tres tipos de estaciones
    - ✓ primaria
    - ✓ secundaria
    - ✓ combinada
  - Dos configuraciones de enlace
    - ✓ no balanceada (primaria +nsecundarias)
    - ✓ balanceada (2 combinadas)
  - tres modos de operación
    - ✓ Respuesta normal (NRM)
    - ✓ Balanceado asíncrono (ABM)
    - ✓ respuesta asíncrono (ARM)



No Balanceada



Balanceada

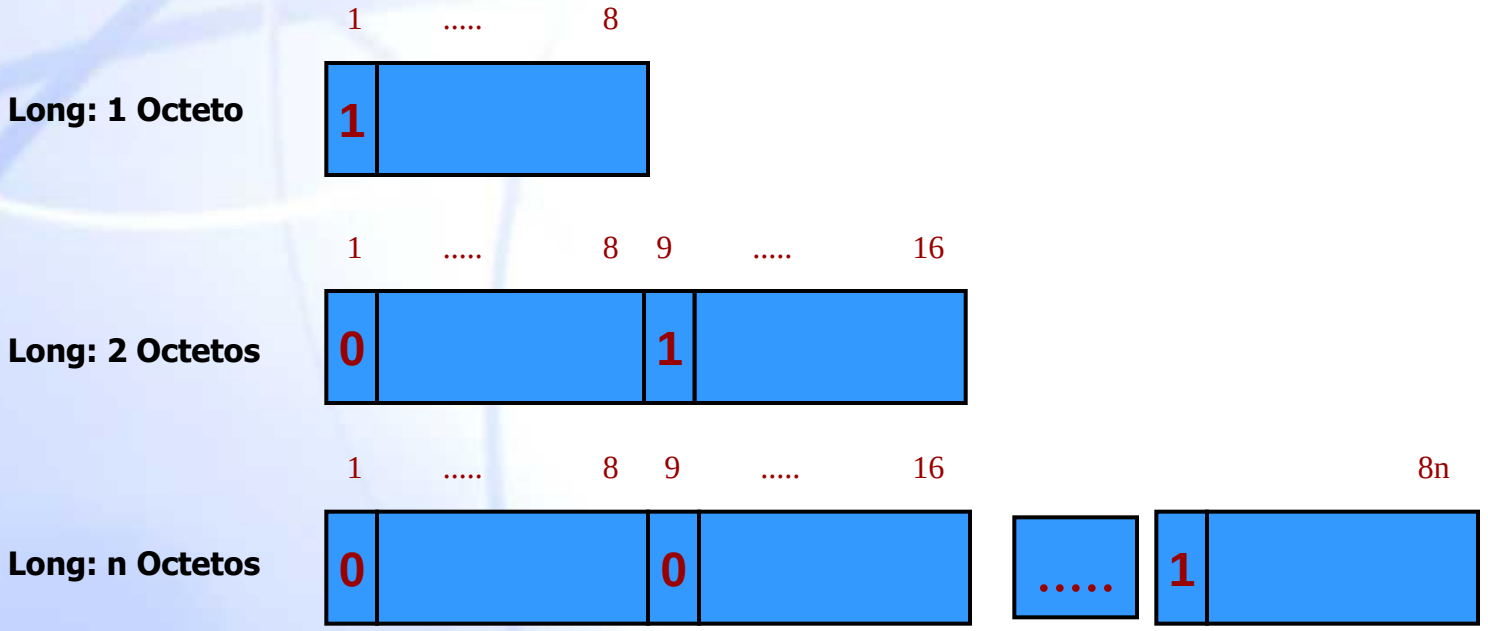
HDLC: Formato de Trama

- **Tramas con formato único**
- **Flag (1 octeto): `01111110`**

  transparencia mediante bit-stuffing
- **Dirección variable origen o destino**
- **Control:Determina el tipo de trama**
- **CRC (2 o 4 octetos), utilizando CRC-CCITT o CRC-32**

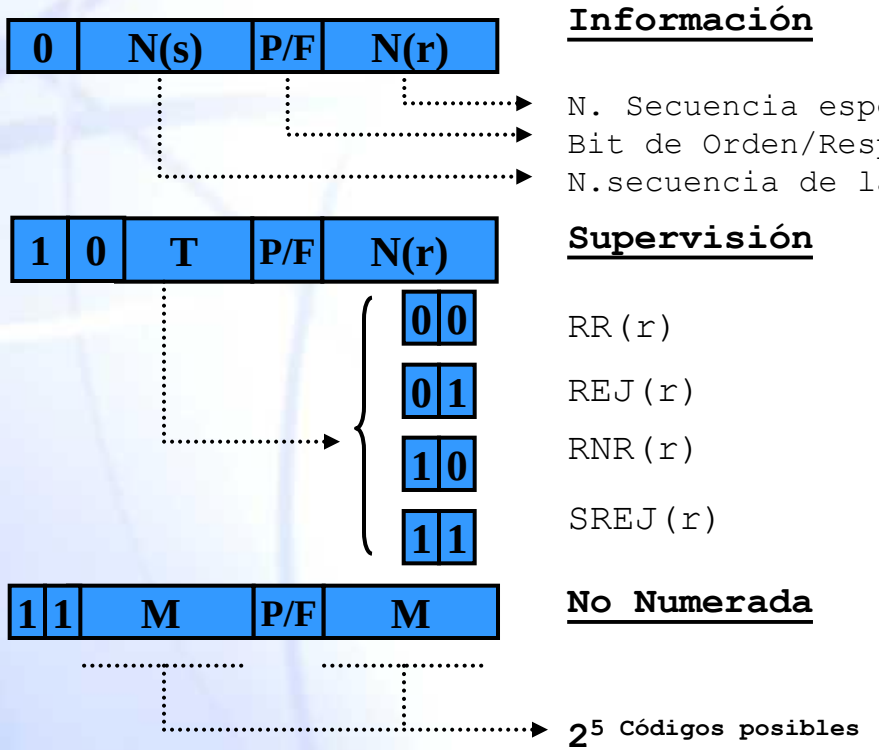
Campo Dirección

- Identifica a la estación secundaria que ha transmitido o que va a recibir la información.
- No necesario en enlaces punto a punto.
- Formato normal (8 bits) o ampliado (variable).



Campo de Control

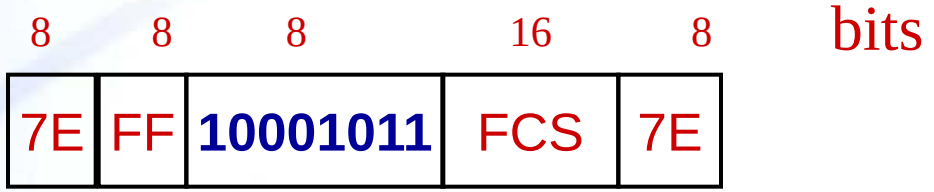
- **Longitud de 8 bits salvo negociación de numeración extendido.**
- **Tres tipos de tramas**



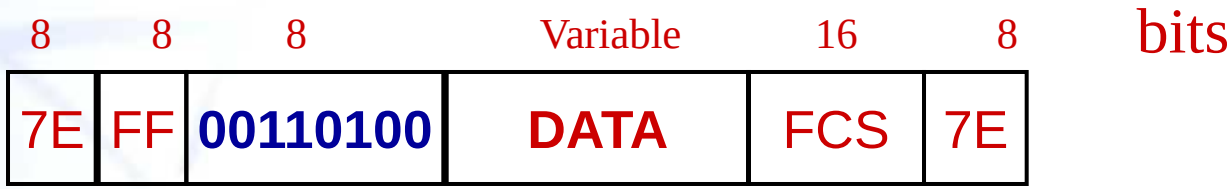
Ejemplos

- **RR(2)**

- **RR(2), P**

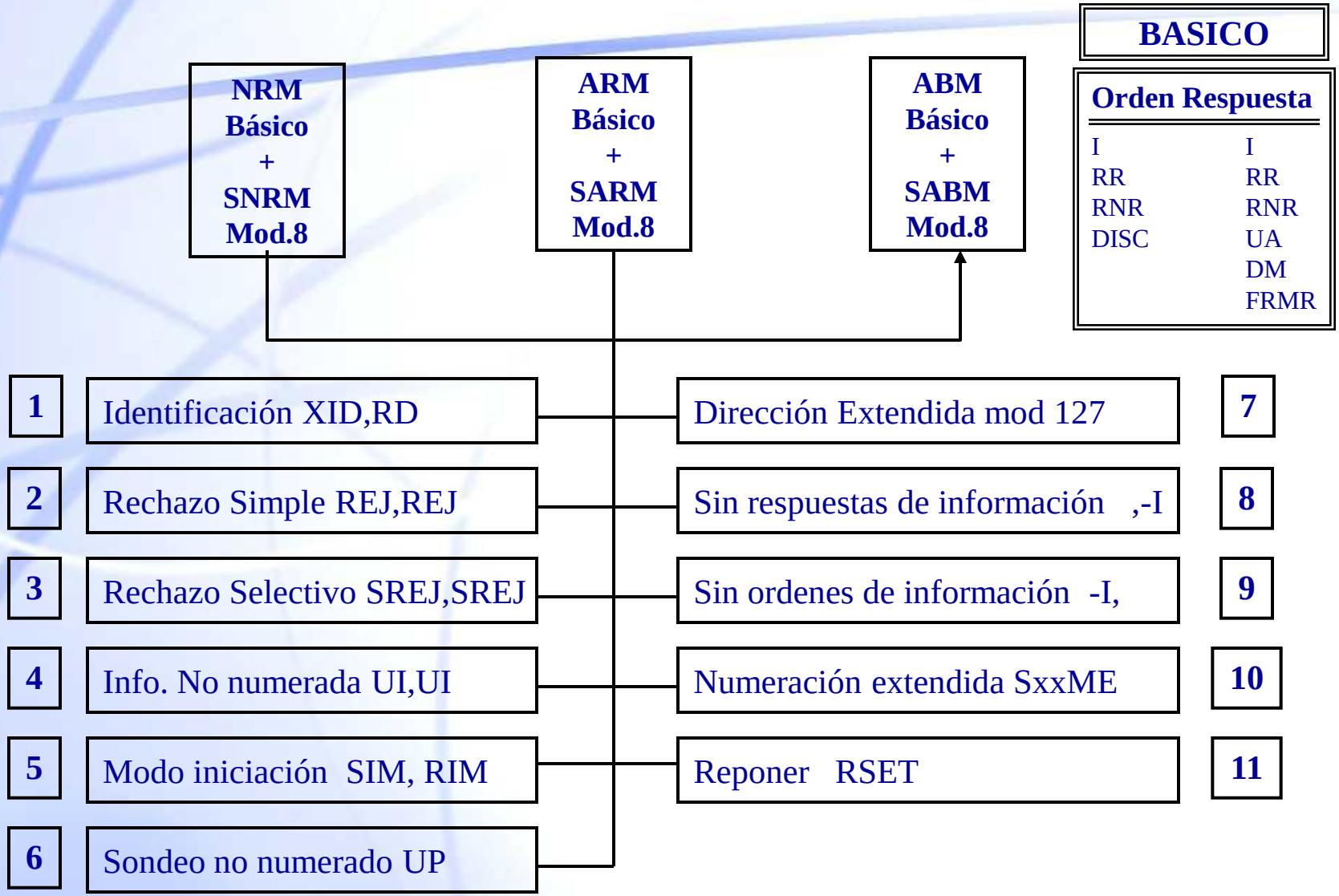


- **F(3,4)**



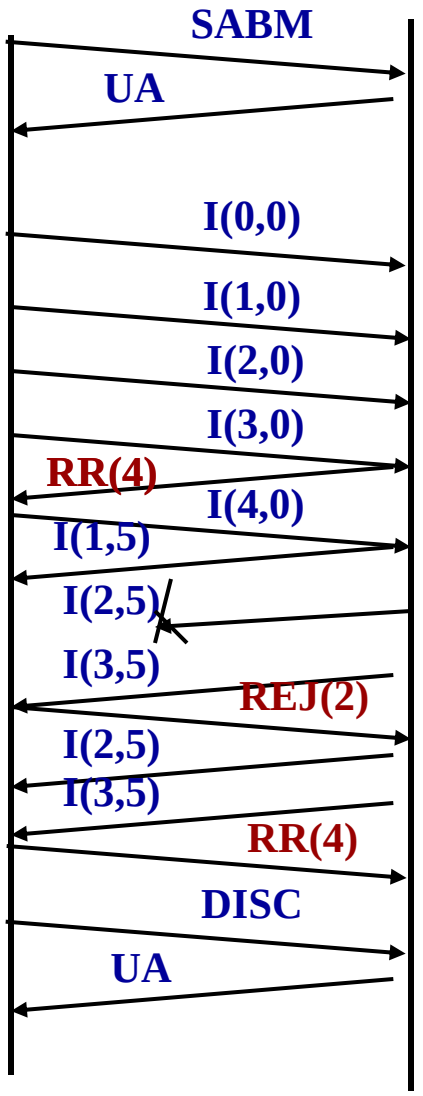
- **. . . . . .**

Procedimientos HDLC



Funcionamiento

- Establecimiento del enlace
- Transferencia de datos
- Desconexión



Ejemplos

- Protocolo de nivel de enlace en redes X.25 LAPB = HDLC BA 2, 8
- Utilizado en redes IP sobre enlaces punto a punto. HDLC BA 5. Utilizan tramas de información no numerada.

Limitaciones

- Orientado a entornos centralizados
- Múltiples versiones del protocolo
- Sin soporte multiprotocolo

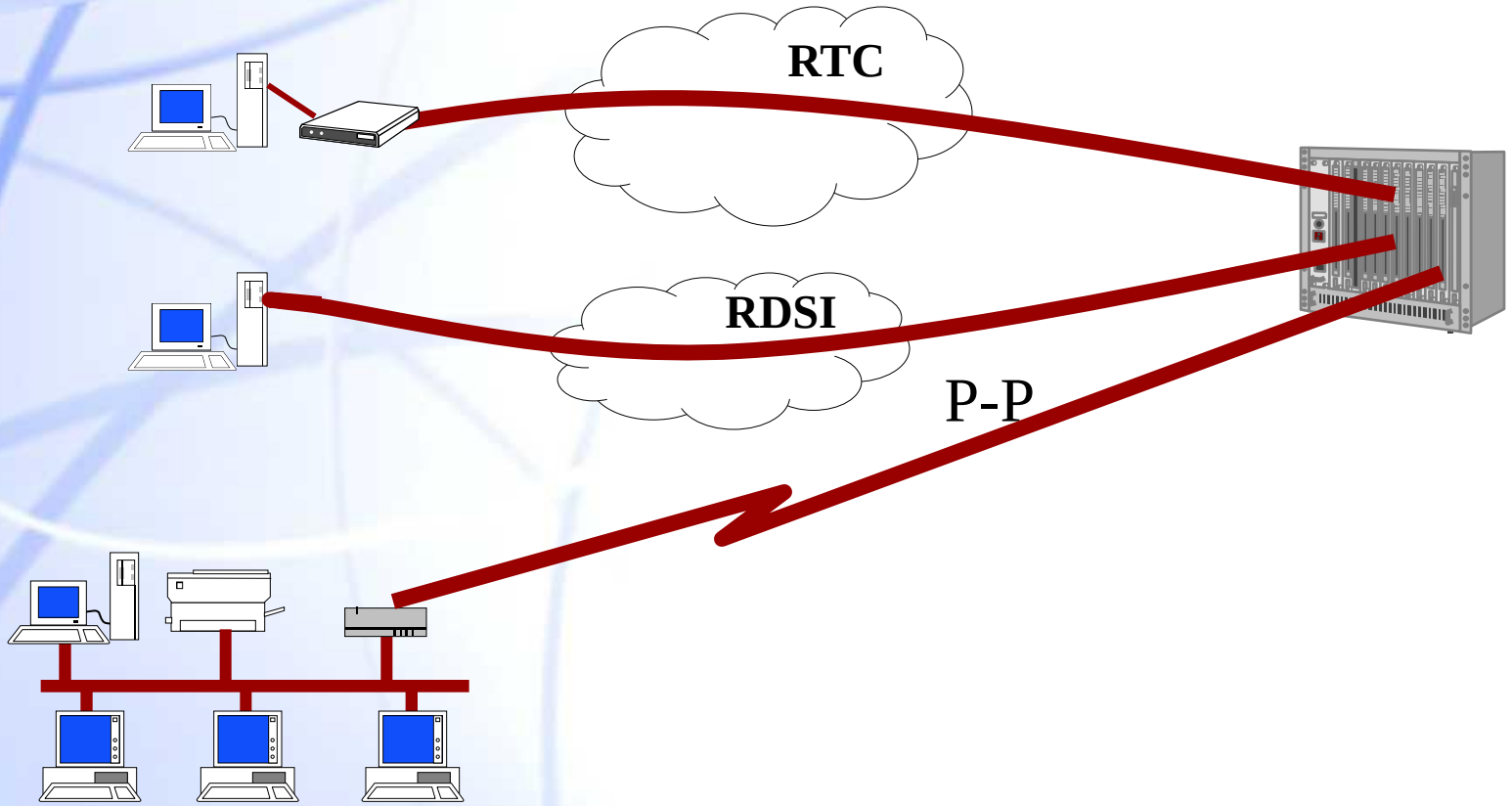
Ejemplos

- LAPD desarrollado por la UIT-T como parte de las recomendaciones para RDSI
- Proporciona el procedimiento para el control del enlace de datos sobre el canal D
- Se restringe solo a modo ABM
- El campo de dirección es de 16 bits

Ejemplos

- LLC es parte de la familia de estándares IEEE 802 para LAN
- La diferencia entre LLC y HDLC es el formato de trama
- En LLC las funciones para controlar el enlace se dividen en dos capas: MAC y LLC
- La capa MAC incluye dirección origen y destino
- La capa LLC contiene los puntos de acceso al servicio del origen y destino

Escenario



Point-to-Point Protocol: PPP

- **Consiste en tres componentes:**
  - **Mecanismo de encapsulación (RFC 1548) sobre líneas síncronas y asíncronas (HDLC).**
  - **Protocolo de control de enlace (LCP): establecimiento, configuración (negociación de opciones) mantenimiento y "liberación" del enlace. (RFC 1548)**
  - **Opcionalmente protocolos de autenticación (PAP o CHAP)**
  - **Una familia de protocolos de control de red (NCP) para protocolos específicos. Existen normas para IP (RFC1332), OSI, DECNet y AppleTalk.**

Escenario via RTC/RDSI

- Conexión al ISP través de la red (modem)
- Negociación del enlace (LCP)
- Autenticación (opcional)
- Negociación parámetros de Red (NCP). Ej: dirección IP.
- Transferencia de Datos con detección de errores y, opcionalmente, mecanismos de retransmisión (ARQ)
- Liberación de la conexión del nivel de red (NCP).
- Cierre ordenado del enlace (LCP).
- Desconexión del circuito (Módem)

PPP: Formato de trama

- Análogo a HDLC pero orientado a byte/carácter (envío múltiplos de 8 bits (1byte))

Bytes	1	1	1	1 o 2	variable	2 o 4	1
	Flag 7E	Address FF	Control 03	Protocol	Information	CRC	Flag 7E

- IP

Protocol 0021	Datagram IP

- LCP

Protocol C021	Link Control Data

- NCP

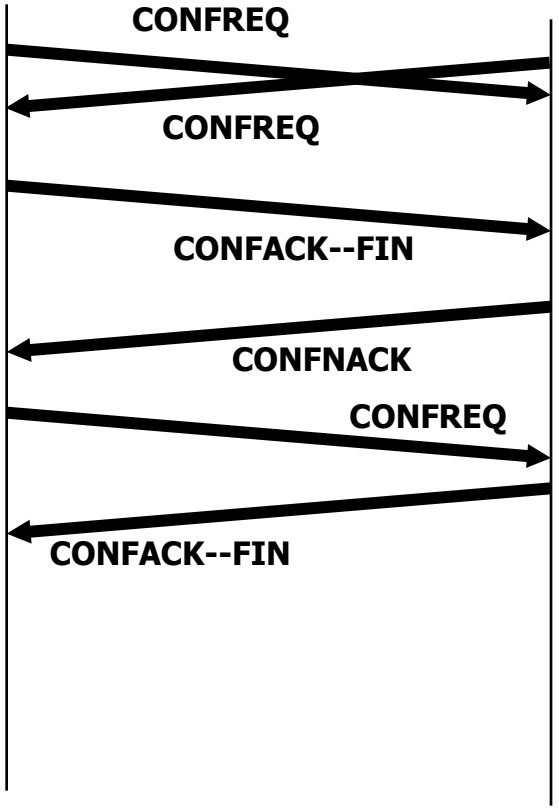
Protocol 8021	Network Control Data

- Flag=HDLC
- Address Broadcast (es punto a punto, solo dos estaciones, así no negocio direcciones nivel enlace)
- Mediante LCP se puede reducir el numero de bytes/trama: omisión de los campos de flag, dirección, reducción del tamaño del campo protocolo de 2 a 1 byte.

LCP

- Mensajes para negociación
- CONFREQ (lista de parametros propuestos)
- CONFREJ (no entiendo)
- CONFNACK (no soporto eso parámetros)
- CONFACK (ok)
- …

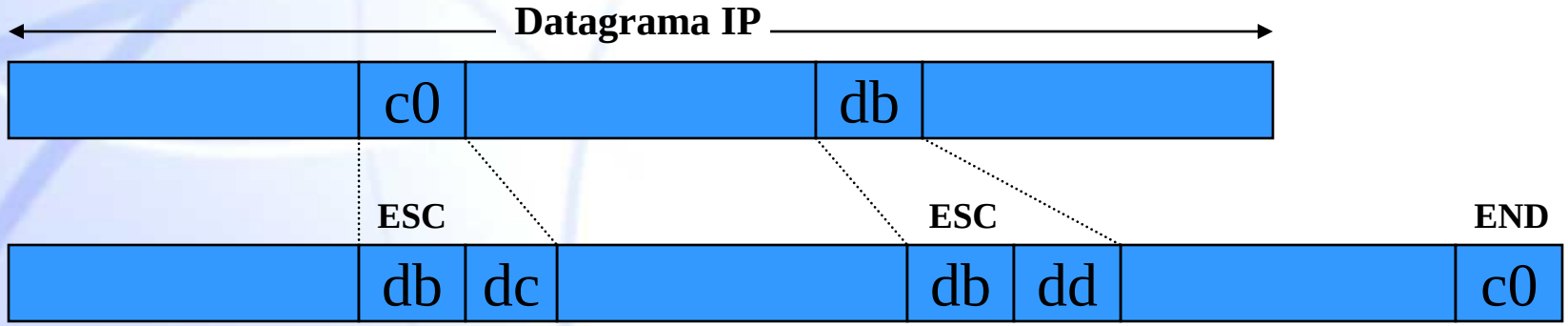
Ejemplo



Para NCP es igual

Ejemplo Serial Link IP Protocol: SLIP

- Definido para encapsular Datagramas IP sobre líneas serie (RFC1055).
- Muy difundido.
- Envía datagrama IP byte a byte añadiendo una marca de fin de Datagrama (0xc0).



- Usado principalmente para accesos a ISP

Ventajas frente a SLIP

- Soporta transferencias multiprotocolo.
- Soporta detección de errores (CRC)
- Soporta identificación de sistemas conectados mediante el uso del protocolo de control de red (NCP).
- Soporte de mecanismos de compresión
- Soporte de negociación de parámetros de enlace (LCP).
  - Autenticación (PAP, CHAP)
  - MultiLink PPP.
- Utilizado sobre RDSI, RTC y líneas P-P.