

# Capa de Enlace de Datos

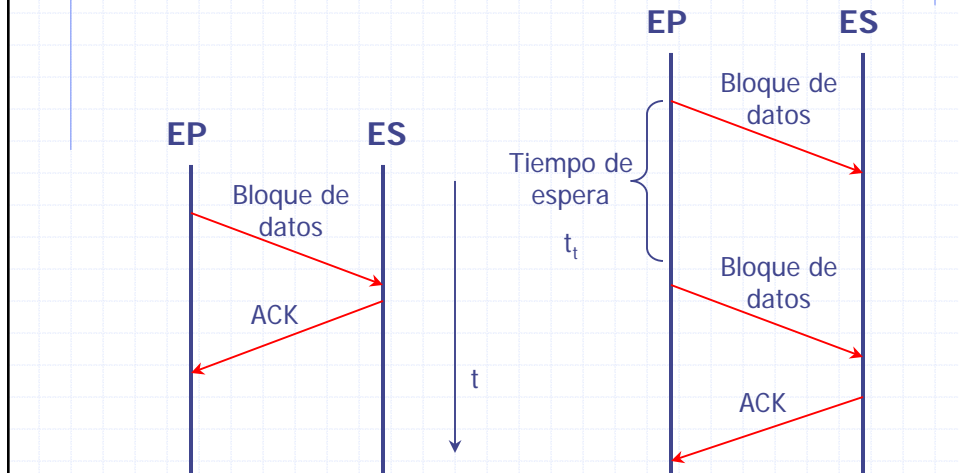
Ing. Gilberto Sánchez Quintanilla

## Análisis de Prestaciones

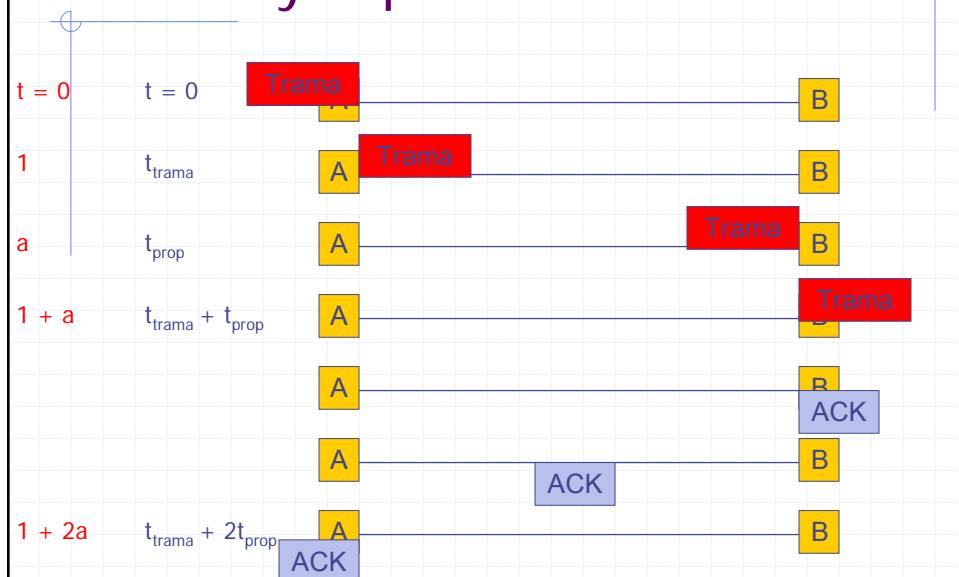
- Porcentaje de utilidad:
  - ♦ Es la eficiencia máxima potencial en el medio de transmisión.
- Existen los siguientes esquemas
  - ♦ Control de flujo con parada y espera
  - ♦ Control de flujo de ventana deslizante

# Análisis de Prestaciones

## ■ Control de flujo de parada y espera



## Parada y espera



## Parada y espera

Cuando la trama esta almacenada en el buffer de la terminal A

$$t_t = 0$$

Cuando sale toda la trama de la terminal A

$$t_t = t_{trama}$$

Cuando entra el ultimo bit a la terminal B y es procesada

$$t_t = t_{trama} + t_{prop} + t_{proc}$$

Cuando B envía el ACK y llega a la terminal A y es procesada

$$t_t = t_{trama} + t_{prop} + t_{proc} + t_{ACK} + t_{prop} + t_{procACK}$$

El  $t_{proc}$ ,  $t_{ACK}$  y  $t_{procACK}$  son despreciables en términos relativos, por lo tanto:

$$t_t = t_{trama} + 2t_{prop}$$

## Parada y espera

- El porcentaje de utilidad es:

$$\%U = \frac{t_{trama}}{t_{trama} + 2t_{prop}} \times 100\%$$

dividiendo entre  $t_{trama}$

$$\%U = \frac{1}{1 + \frac{2t_{prop}}{t_{trama}}} \times 100\%$$

$$\text{donde } a = \frac{t_{prop}}{t_{trama}}$$

$$\%U = \frac{1}{1 + 2a} \times 100\%$$

donde :

$$t_{trama} = \frac{\text{tamaño}}{V_{trans}}$$

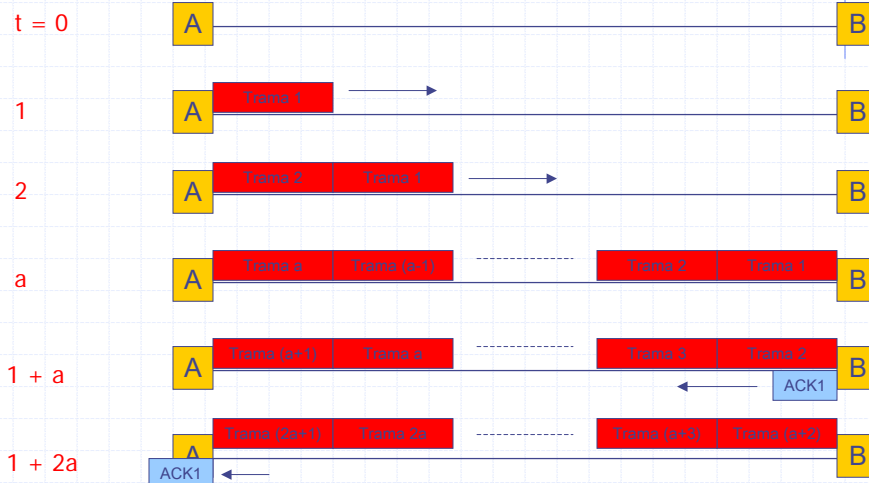
$$t_{prop} = \frac{\text{distancia}}{V_{prop}}$$

## Ventana deslizante

- La eficiencia de la línea depende de tanto el tamaño de la ventana  $W$ , como del valor de  $a$ .
- En ventana deslizante, la transmisión de las tramas es de forma consecutiva sin recibir un reconocimiento.

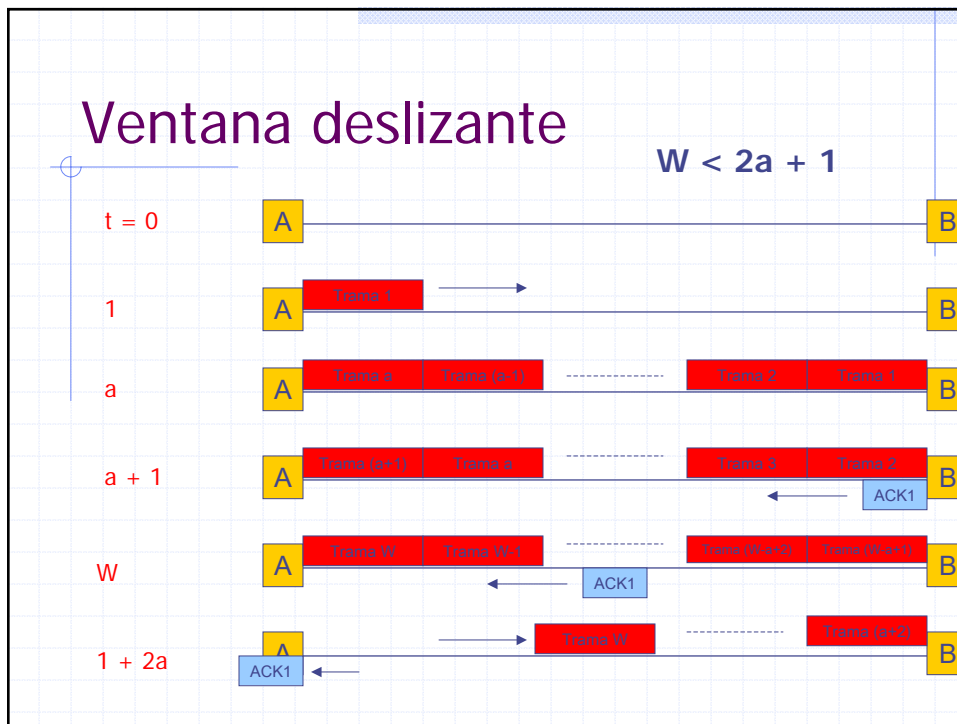
## Ventana deslizante

$$W \geq 2a + 1$$



## Ventana deslizante

$$W < 2a + 1$$



## Ventana deslizante

- ♦ Caso 1:  $W \geq 2a + 1$ . La confirmación de la trama 1 llega a A antes de que A agote su ventana. Por tanto A puede transmitir continuamente sin pausa, por lo que la utilización será 1.0.
- ♦ Caso 2:  $W < 2a + 1$ . A agota su ventana en  $t = W$  y no podrá enviar tramas adicionales hasta  $t = 2a + 1$ . Por lo tanto, la utilización de la línea es  $W$  unidades de tiempo por cada periodo de  $(2a + 1)$  unidades de tiempo.

## Ventana deslizante

- Por lo tanto se puede afirmar que:

$$\%U = \begin{cases} 100\% & W \geq 2a+1 \\ \frac{W}{2a+1} & W < 2a+1 \end{cases}$$

## Ejemplos:

### Esquema de parada y espera:

- ♦ Sea una red de área amplia (WAN), utilizando ATM con dos estaciones separadas 1000 Km.. El tamaño normalizado para la trama ATM es 424 bits y una velocidad de transmisión de 155.52 Mbps. El índice de refracción de la fibra es de 1.48.
- ♦ Sea una red de área local de 0.1 y 10 Km., con una velocidades de 10 Mbps, un tamaño de trama de 1,000 bits. La transmisión es a través de un cable de cobre.
- ♦ El anterior pero con una velocidad de 100 Mbps

## Ejemplos:

- Se puede observar que las LAN son normalmente eficientes, mientras que las WAN de alta velocidad no.
  - ♦ Considérese una transmisión de datos vía MODEM de 56 Kbps, con una distancia de 5,000 Km., y tramas de 1,000 bits. La red es una PSTN, de cable de cobre.

## Ejemplos:

- ♦ Se tiene un enlace satelital en el cual se realiza una transmisión con MODEM de 56 kbps y tramas de 1,000 bits.

### **Para ventana deslizante**

- Con números de secuencia de 3 bits
- Con números de secuencia de 7 bits

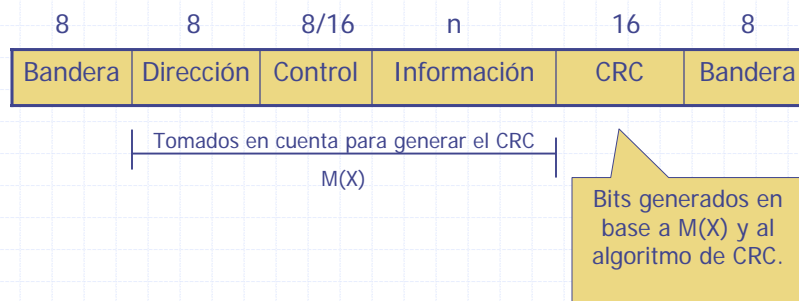
## Ejemplo:

### ■ Ventana deslizante

- ♦ Se desea tener un sistema de comunicación satelital que tenga una eficiencia (o porcentaje de utilidad) del 80%. Si se utiliza un modem de 64 kbps y se transmiten tramas de 512 bytes. ¿Cuántos bits para número de secuencia se necesitan?

## Campo CRC

- El campo CRC (Cyclic Redundancy Check) contiene una secuencia de bits generados por el mensaje  $M(X)$  a transmitir, usando el algoritmo CRC.





## Campo CRC

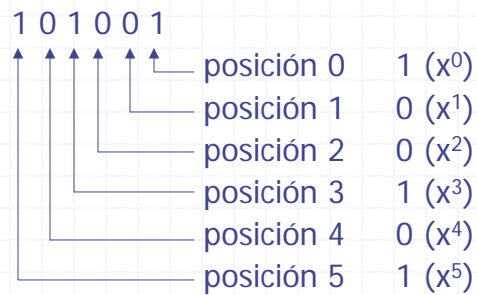
- El propósito de la inclusión del campo CRC es **permitir** al receptor **detectar errores** que pueden haber ocurrido en la transmisión del mensaje.
- Para ello el transmisor y el receptor emplean un polinomio llamado generador  $G(X)$ .

## Campo CRC

- $G(X)$ , es usado por el transmisor para generar a partir del mensaje  $M(X)$  que se va a transmitir, la secuencia de bits del campo CRC  $[R(X)]$ .
- $G(X)$ , es usado por el receptor, para dividir el mensaje que recibe (incluyendo el campo CRC) entre él:
  - ♦ Si el residuo es cero, el receptor concluye que no hay error
  - ♦ Si el residuo es diferente de cero, deduce que hubo un error en el medio de transmisión.

## Campo CRC

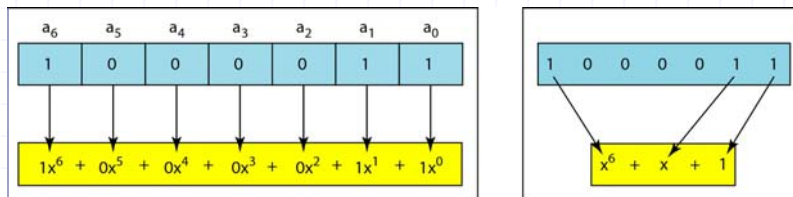
- En este algoritmo los  $k$  bits del mensaje son tratados como representación de un polinomio de  $k$  términos que van de  $x^{k-1}$  a  $x^0$  y cuyos coeficientes son binarios (1 y 0).



## Campo CRC

- Por lo que se tiene el polinomio  
 $(1)x^5 + (0)x^4 + (1)x^3 + (0)x^2 + (0)x^1 + (1)x^0$
- donde  $x^0 = 1$
- Entonces se reduce a:  
 $x^5 + x^3 + 1$

## Campo CRC



## Campo CRC

- Las operaciones que se realizan en el algoritmo CRC son de modulo 2, es decir:

- ♦  $0 + 0 = 0$
- ♦  $0 + 1 = 1$
- ♦  $1 + 0 = 1$
- ♦  $1 + 1 = 0$

## Campo CRC

- Los polinomios generadores son los siguientes:

<i>Name</i>	<i>Polynomial</i>	<i>Application</i>
CRC-8	$x^8 + x^2 + x + 1$	ATM header
CRC-10	$x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$	ATM AAL
CRC-16	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$	HDLC
CRC-32	$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$	LANs

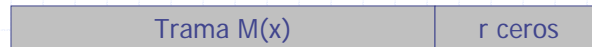
## Campo CRC

- Asumiendo lo siguiente:
  - ♦ Polinomio  $G(x)$  es de grado  $r$  ( $x^r$ , el exponente mayor de  $G(x)$  es  $r$ )
  - ♦ El mensaje a transmitir es  $M(X)$
  - ♦ Los errores producidos por el ruido del canal son  $E(X)$

## Campo CRC

### ■ En el Transmisor

1. Agregar r ceros al extremo de mas bajo orden de los bits de la trama



- ♦ Esto es equivalente a multiplicar  $M(x)$  por  $x^r$
- ♦ Ejemplo:  $M(x)=1001$  y  $G(x)=x^3+x+1$

$$M(x)x^r = x^2 + 1(x^3) = x^5 + x^3$$

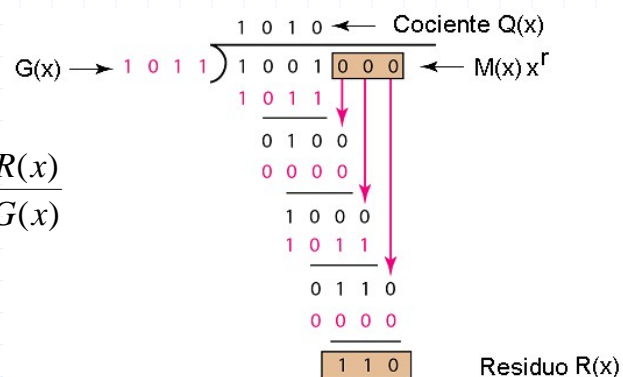
- ♦  $M(x)x^r = 1001000$

3 ceros agregados, debido a que el exponente mayor es  $x^4$

## Campo CRC

2. Divida en modulo 2,  $M(x)x^r$  entre el polinomio generador.

$$\frac{M(x)x^r}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$$



## Campo CRC

- De la división, se ocupa el residuo, el cual es sumado a  $M(x)x^r$  y esa es la trama transmitida (incluido el CRC).

$$T(x) = M(x)x^r + R(x)$$

$$\begin{array}{r} \text{Entonces de tiene: } 1001000 \\ + 110 \\ \hline 1001110 \end{array}$$

Lo que indica que  $R(x)$  se pone en los ceros insertados.

1	0	0	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---

### ■ En el receptor

- El mensaje recibido, representado por  $T(x)$ , es dividido (modulo 2) entre el polinomio generador  $G(x)$ .

$$\frac{T(x)}{G(x)} = \frac{M(x)x^r + R(x)}{G(x)} = \frac{M(x)x^r}{G(x)} + \frac{R(x)}{G(x)}$$

sabemos que

$$\frac{M(x)x^r}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$$

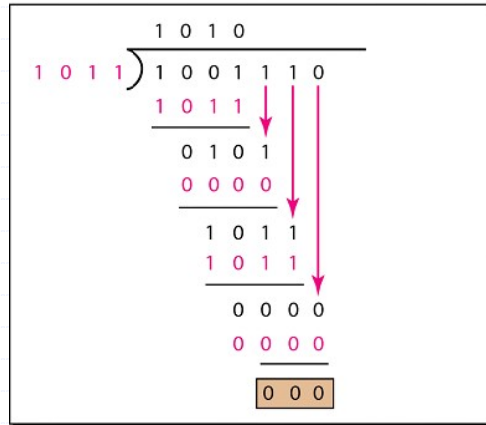
entonces

$$\frac{T(x)}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)} + \frac{R(x)}{G(x)}$$

donde

$$\frac{R(x)}{G(x)} + \frac{R(x)}{G(x)} = 0$$

- ♦ 2. Si el residuo es cero, significa que no hay error y el mensaje es procesado

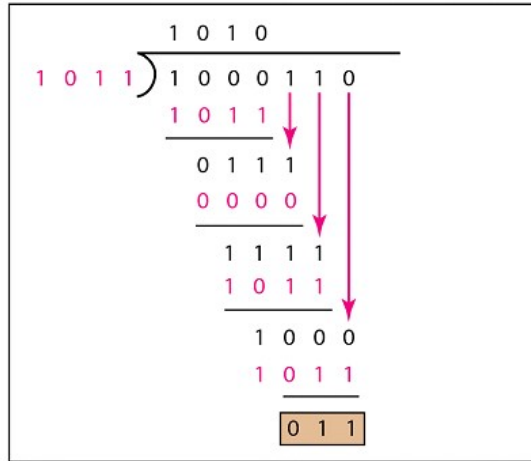


## Campo CRC

- Cuando la trama viaja a través del medio de transmisión, esta puede ser modificada por el ruido, la atenuación y por lo tanto ser distorsionada.



- ♦ Si el residuo es diferente de cero significa que existe error, y el mensaje es descartado.



## Campo CRC

- Cuando el ruido  $E(x)$  se comporta o es igual al polinomio generador  $G(x)$ , y se suma a la trama transmitida, el receptor no podrá detectar el error.

$$T(X) = 1001110 \text{ y } E(x) = G(x) = 1011$$

Sumando tenemos:

$$T(x) + E(x) = 1001110$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ 1001110 \\ \hline 1000101 \end{array}$$



## Campo CRC

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{l} G(x) \longrightarrow 1011 \end{array} \overline{) \begin{array}{l} 1000101 \\ 1011 \\ \hline 001110 \\ 1011 \\ \hline 01011 \\ 1011 \\ \hline 0000 \end{array} }
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \leftarrow Q(x) \\
 \leftarrow M(x)x^r + R(x) + E(x) \\
 \\
 \\
 \\
 \leftarrow R(x)
 \end{array}$$

- ♦ Lo que se observa, es que aunque el mensaje llega con ruido, éste no es detectado debido a que es igual que el polinomio generador.

## Campo CRC

- Problema: Encuentre  $T(x)$  si requiere enviar el mensaje 111000101010011, utilizando el polinomio es  $x^4+x+1$ .