

***GENTILEZA DE LOURDES***  
***CLASE Nro. 6***

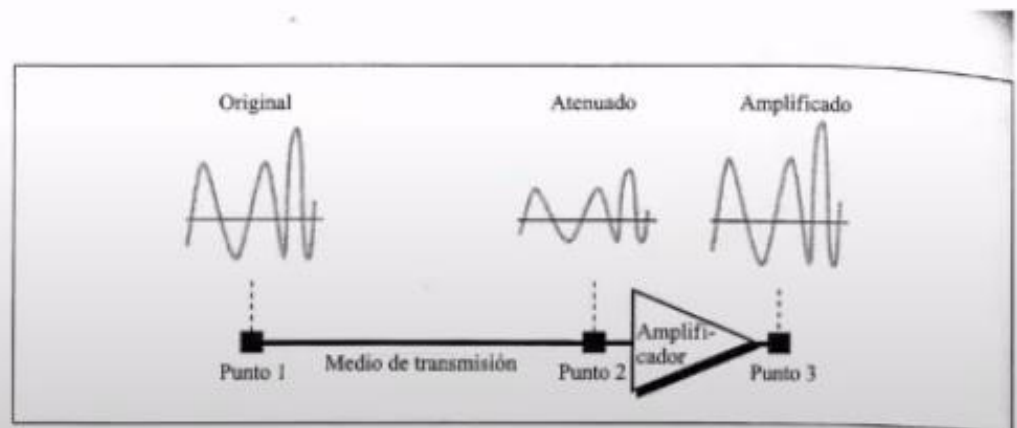
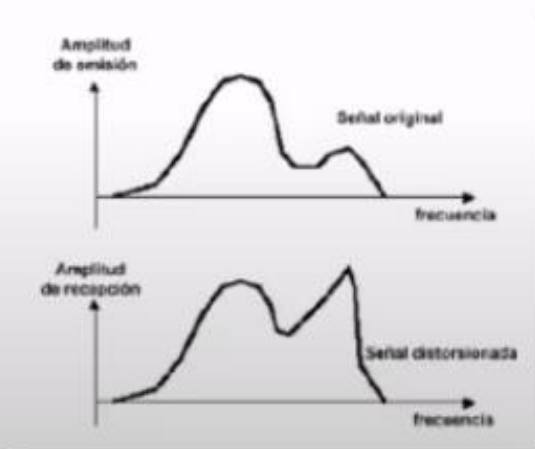
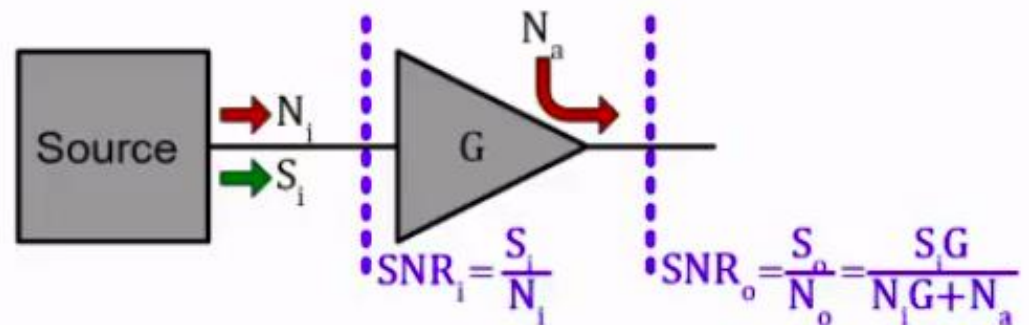
***COMUNICACIONES***

Capacidad de un canal de  
comunicaciones

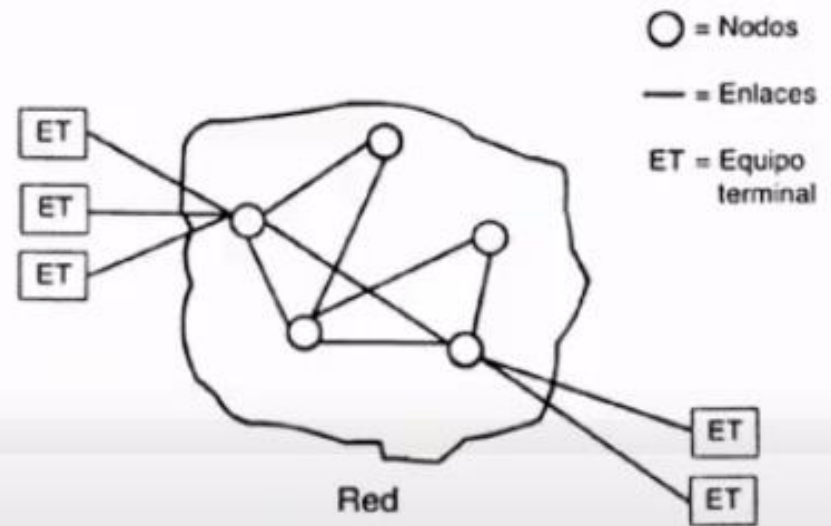
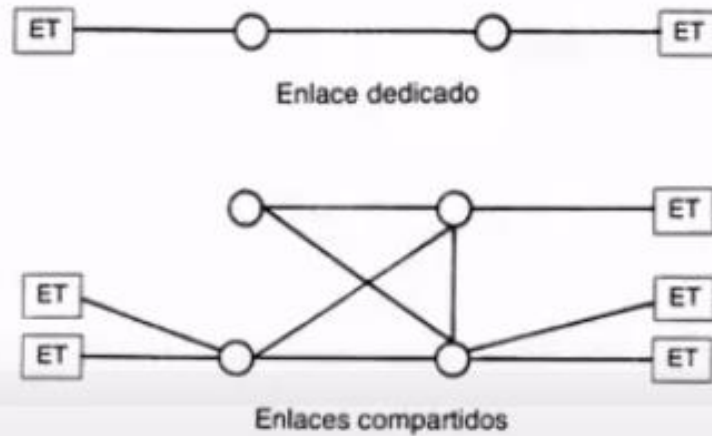
Detección y corrección de  
errores en las comunicaciones

# Canales ideales

- No tienen ruido
- No hay atenuación
- No hay distorsión



# Tipos de enlaces en una comunicacion



# Calculo de la capacidad del canal

- Primero estudiaremos la capacidad de un canal ideal(sin ruido), expresión de Nyquist. Segundo analizaremos el canal con ruido (canal real) mediante la expresión de Shannon-Hartley.

# Canal Ideal “sin Ruido”

Nyquist demostró que la velocidad máxima en un canal sin ruido esta dada por la siguiente expresión.

$$V_{t \text{ máx}} = 2\Delta f [\text{bps}]$$

donde:

$V_{t \text{ máx}}$  = Velocidad de transmisión de datos máxima con señales binarias.

$\Delta f$  = ancho de banda del canal de transmisión.

Además, si la señal es del tipo multinivel, la expresión (6.1) se transforma en:

$$V_{t \text{ máx}}^M = 2\Delta f \log_2 n = V_{t \text{ máx}} \log_2 n [\text{bps}]$$

$n$  = número de niveles de la señal.

**La unidad bps surge porque la frecuencia se mide en Hz (1 / seg) y el  $\log_2 n$  en bits**

# Ejemplo

- Se tiene un canal cuyo ancho de banda es 4.000 Hz y se transmiten dos niveles por pulso.
- $V_t \text{ max} = 2 \times 4.000 = 8.000 \text{ bps}$

Supongamos ahora que utilizamos 16 niveles de tensión en lugar de dos (Transmisión multinivel cuadribits).

- $V_t \text{ max} = 2 \times 4.000 \log_2 16 = 32.000 \text{ bps}$



# Pero los canales reales tienen ruido!!!

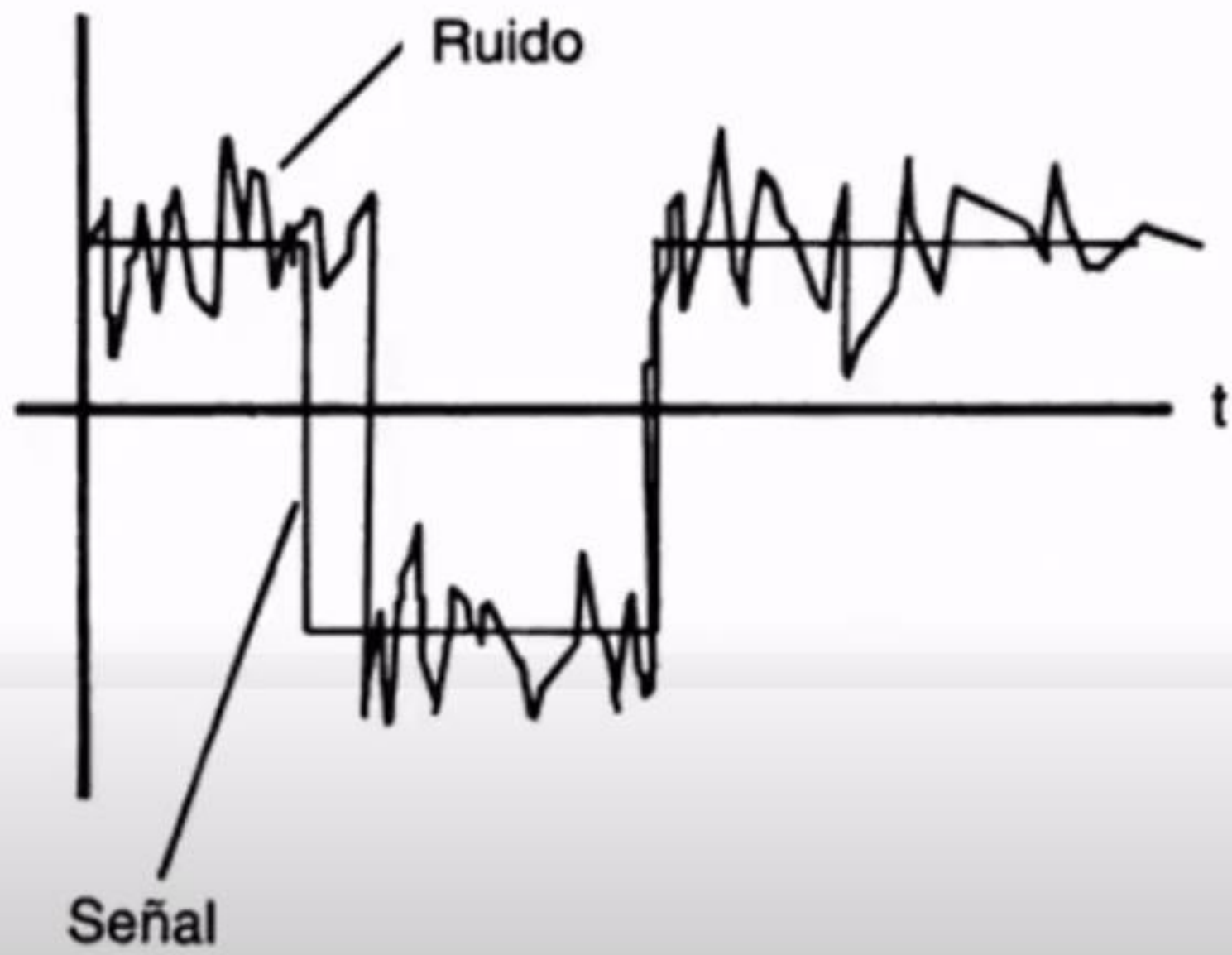
En los canales conviven el ruido con la señal útil, la intensidad de ambas se vincula en una relación que se denomina:

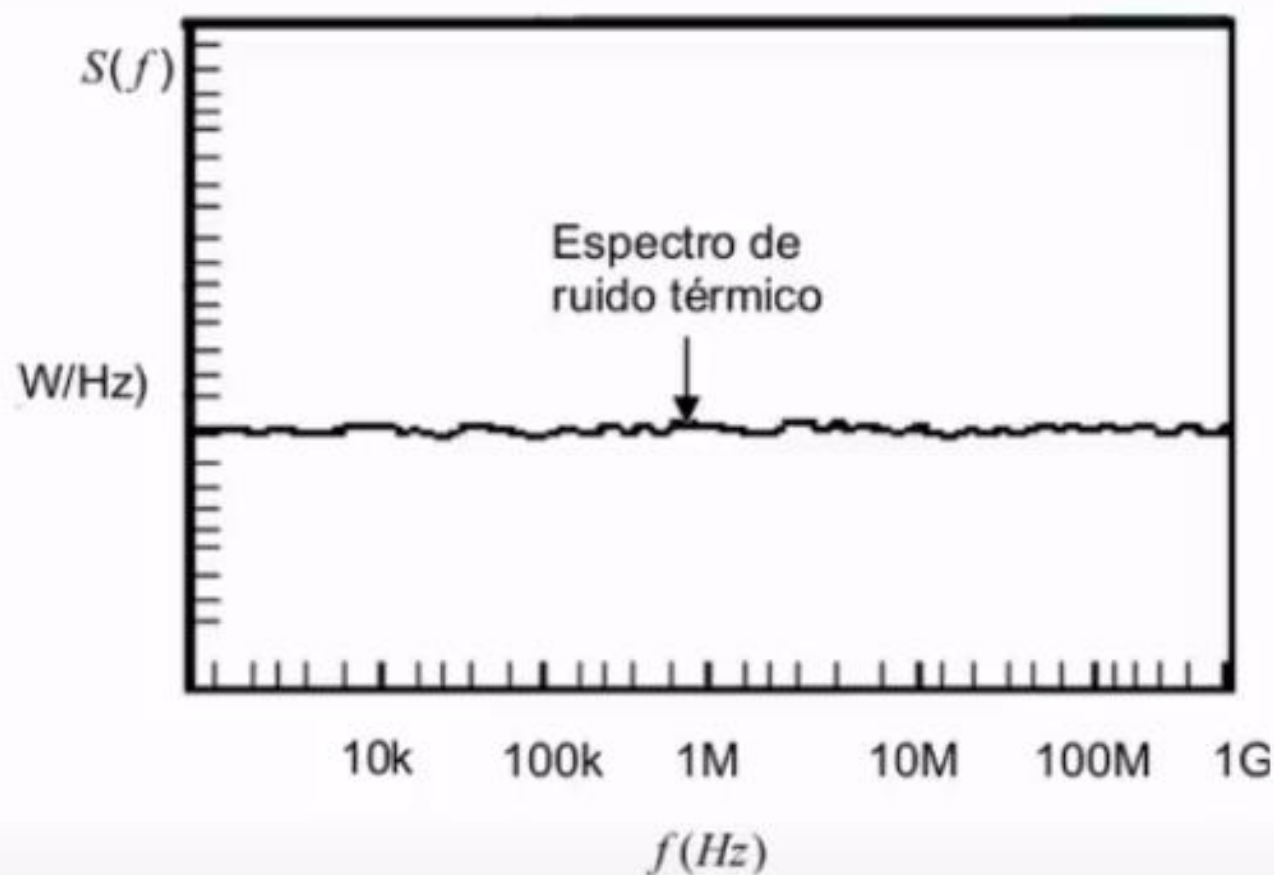
Relación : Señal / Ruido (signal to Noise)

**S/N (db)**

- El otro factor determinante en el canal es su ancho de banda:  **$\Delta F$  (Hz)**





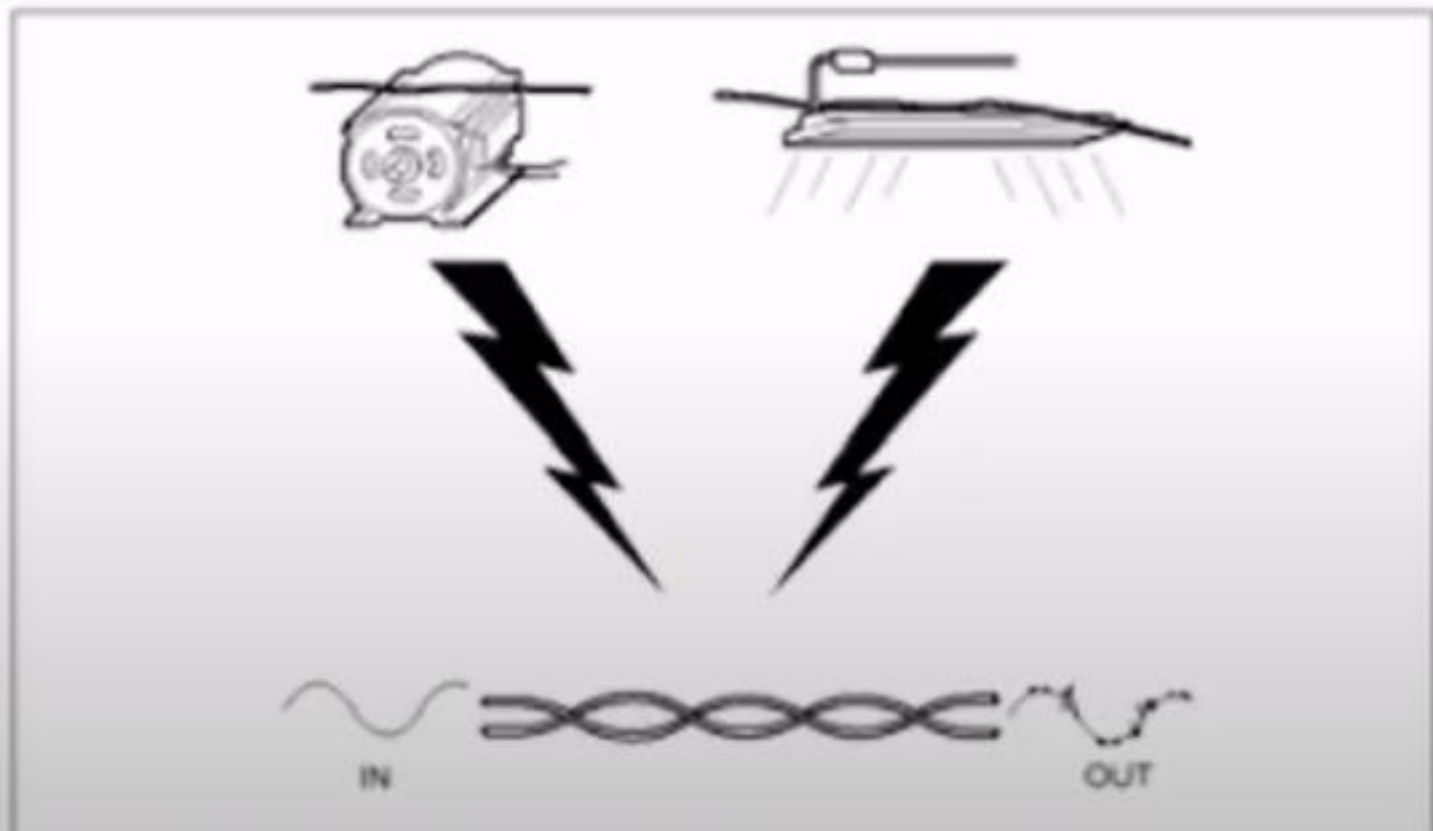
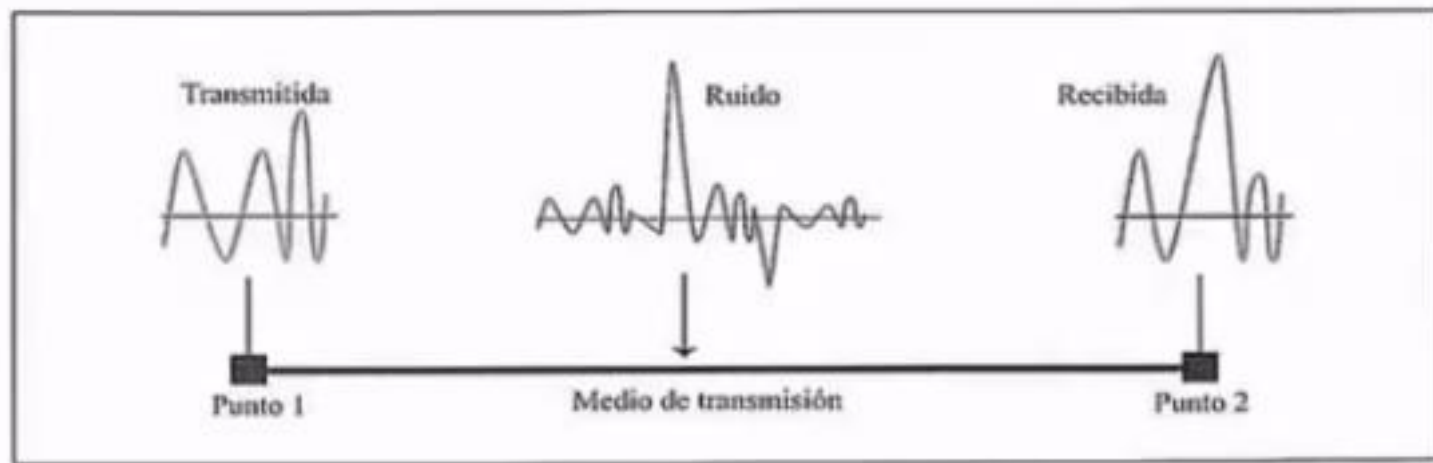


$$N_o = kT(W/Hz)$$

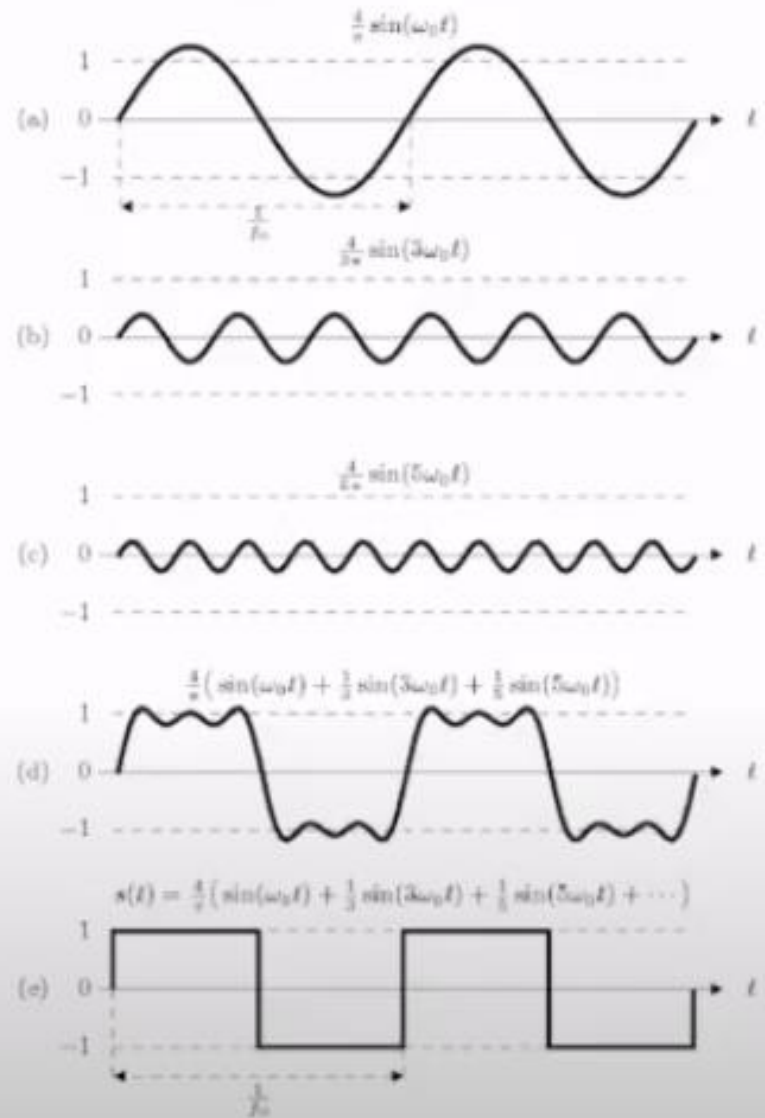
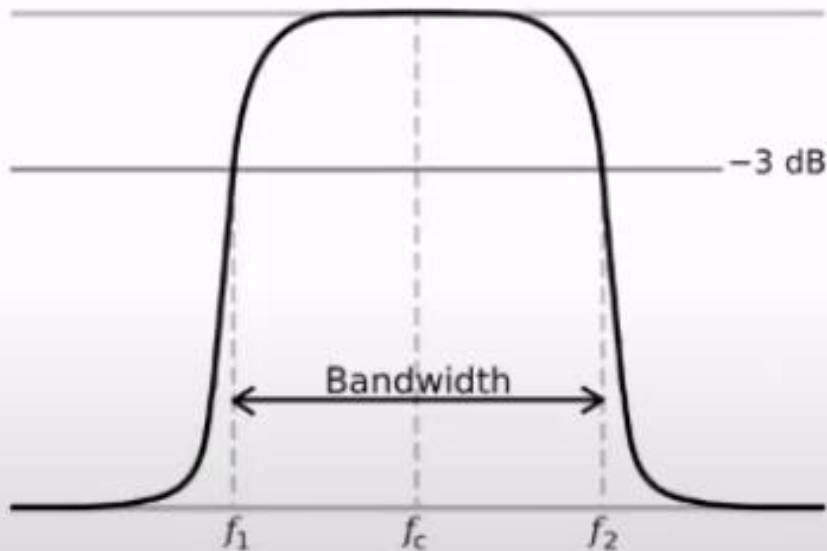
$N_o$  = densidad de potencia de ruido, en watts por 1 Hz de ancho de banda.

$k$  = constante de Boltzmann =  $1.3803 \times 10^{-23} (J/^{\circ}K)$ .

$T$  = temperatura en grados Kelvin.



# Efecto del ancho de banda del canal



# Expresión de Shannon Hartley

En la formula de Nyquist "n" es el numero de niveles máximo y no se considera que hay ruido en el canal, Shannon demostró que si hay ruido "n" debe ser reemplazado por:

$$n_{\text{máx}} = (1 + S/N)^{1/2}$$

Reemplazando en la expresión de Nyquist:

$$C = 2 \Delta f \log_2 (1 + S/N)^{1/2} \text{ [bps]}$$

Simplificando:

$$C = \Delta f \log_2 (1 + S/N) \text{ [bps]}$$

**Expresión de Shannon Hartley**

# Que nos brinda esta expresión???

***Dado un canal real con ruido y ancho de banda limitado la expresión de Shannon nos posibilita hallar el limite teórico máximo de la velocidad de transmisión sobre el canal.***

No obstante, con técnicas especiales como compresión de pulsos, códigos correctores de errores, etc se puede incrementar en la practica dicha velocidad teorica.



# Expresión de Shannon Hartley

Tener en cuenta para la expresión que:

**$\Delta F$**  Debe expresarse en **Hz**

**$S/N$**  La relación  $S/N$  debe expresarse en **valores nominales de potencia** y no en db.

$$C = \Delta f \log_2 (1 + S/N) \text{ [bps]}$$

De esta forma el resultado esta expresado en **bps**.

# Ejemplos

Se desea transmitir datos en un canal de comunicaciones con una relación señal a ruido igual a 100. Calcular, a partir del Teorema de Shannon-Hartley, la capacidad de transmisión. Para ello se tomará el ancho de banda de un canal telefónico que, como ya se dijo, es de 3000 Hz.

Si  $\Delta f = 3000$  Hz, la capacidad del canal será

$$C = \Delta f \log_2 (1 + S/N)$$

$$C = 3000 \log_2 (1 + 100)$$

$$C = 19\,975 \text{ bps}$$

**Cual será la capacidad del canal si la relación S/N mejora y pasa a 30 db?**  
señal a ruido se ha mejorado al valor de 1:1000.

En ese caso, aplicando idéntica fórmula, el valor obtenido será:

$$C = 29\,902 \text{ bps}$$

# Ejemplo

Dada una imagen de TV en blanco y negro compuesta por 300.000 elementos de imagen donde cada elemento tiene 10 niveles de brillo equiprobables y se transmiten 30 cuadros por segundo y suponiendo un canal con una S/N de 30 db, calcular el ancho de banda necesario.

# solucion

- Hallamos la cantidad de información de un cuadro:  
I cuadro =  $3 \times 10^5 \times \log_2 10 = 3 \times 10^5 \times 3,32 \text{ bits} = 9,96 \times 10^5 \text{ bits}$   
Tasa de información = I cuadro x 30 cuadros / seg = 29,9 Mbps  
Pero hacemos  $T = C$   
Donde :

$$C = \Delta f \log_2 (1 + S/N) \text{ [bps]}$$

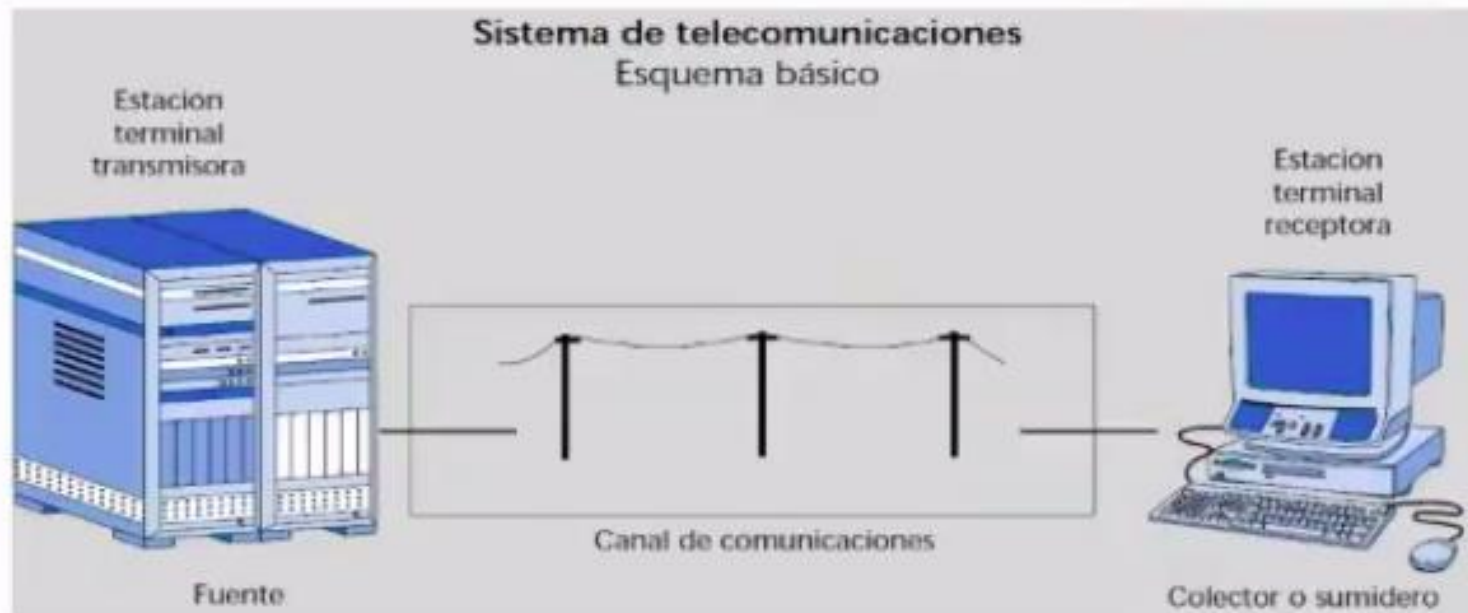
$$\Delta f = C / \log_2 (1 + S/N) = 29,9 \times 10^6 / \log_2 (1001)$$

$$\Delta f = 2,99 \text{ MHz}$$

# Relación Tasa de información y Capacidad de un canal

- Para que la información se transmita sin errores debidos a la tasa de información de la fuente debe cumplirse que:

$$\textit{Tasa de Información} \leq \textit{Capacidad del canal}$$







## Los errores de Transmisión

# Tecnología de las Comunicaciones

2020



RUBEN JORGE FUSARIO

19

|| meet.google.com está compartiendo tu pantalla.

Dejar de compartir

Ocultar



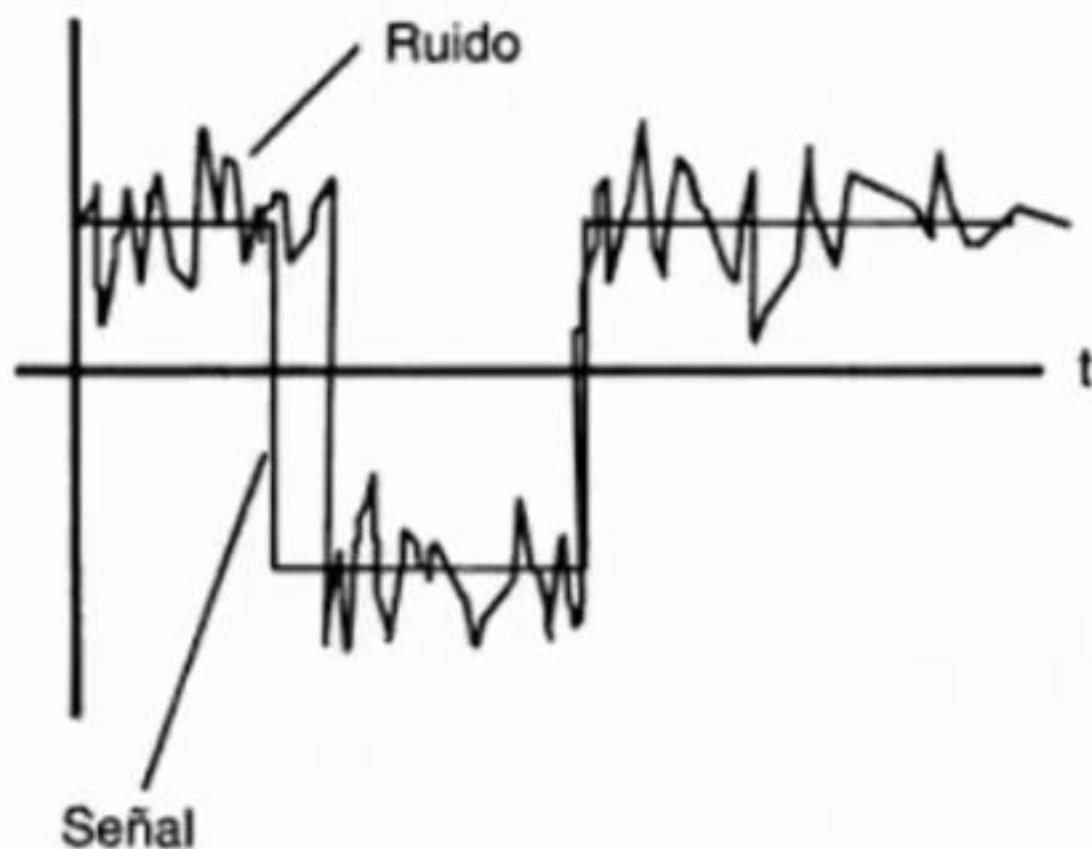
# Causas de errores en las comunicaciones

- Ruido
- Atenuación
- Distorsión
- $\Delta f$  insuficiente y en consecuencia  $T > C$

# El Ruido

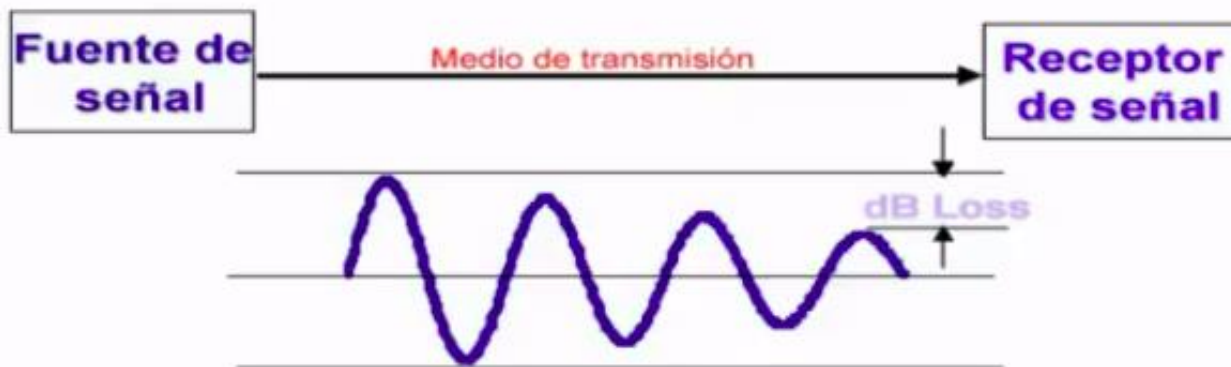
- Es una señal indeseable que se introduce en el canal de comunicaciones y en los equipos electrónicos, especialmente los receptores.
- El ruido sólo no interesa sino la relación señal a ruido (S/N), que indica cuanto supera la señal útil al ruido.
- Ejemplo: la potencia de señal es 10 mw y el ruido 0,001 mw, la relación será:  $10 / 0,001 = 10.000$  , la señal útil supera al ruido 10.000 veces, en decibel será:
- $Db = 10 \log_{10} (10 / 0,001) = 40 \text{ db}$

# Efecto del ruido en una señal digital



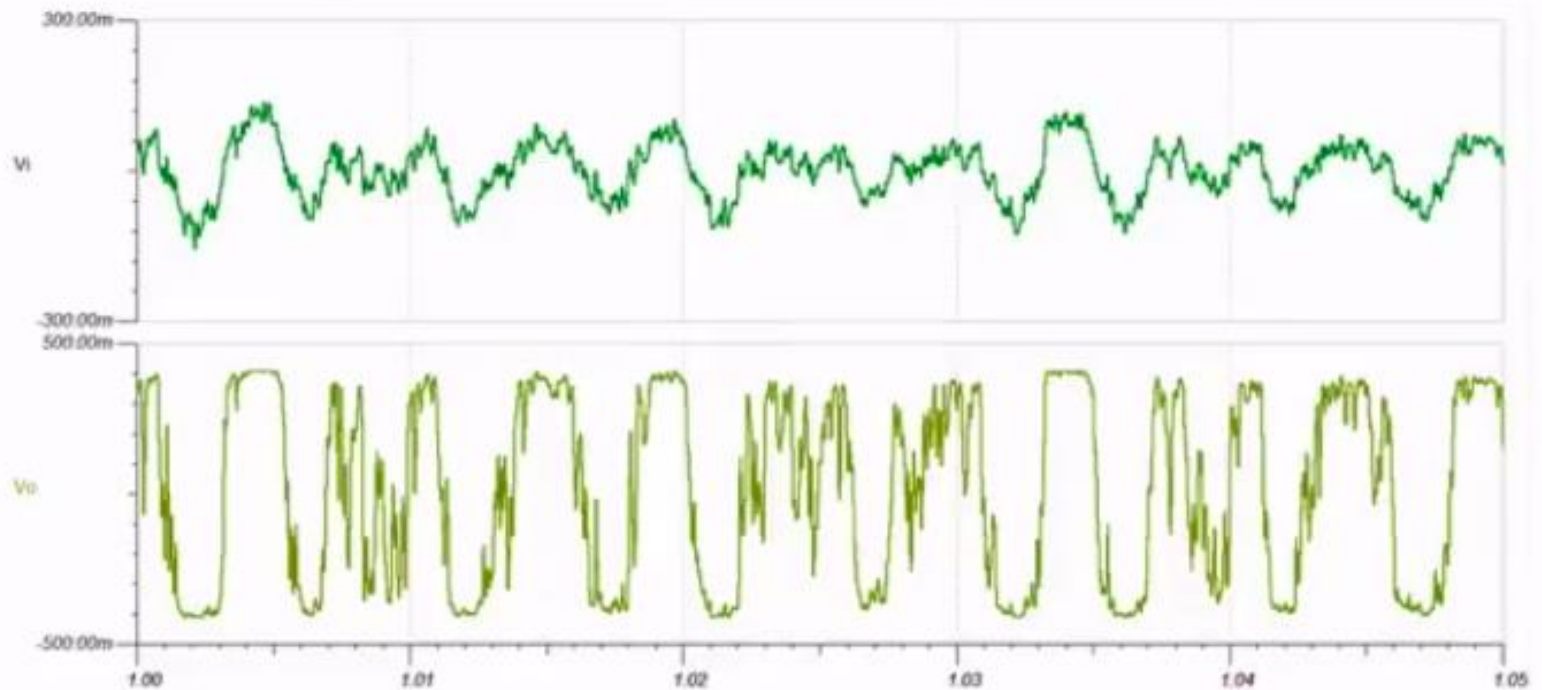
# La atenuación

- Al transmitirse la señal por un medio alámbrico o inalámbrico ésta pierde energía (potencia) por la atenuación del medio.
- La cantidad de señal perdida en el medio de transmisión (expresada en dB)



# La distorsión

Es la deformación de la señal de entrada ( $V_i$ ) debido a que la línea de transmisión se comporta de modo diferente para cada frecuencia, en función de las características capacitivas y/o inductivas de la línea. ( $V_o$ : señal de salida distorsionada)



## Ancho de banda insuficiente y en consecuencia la tasa de transmisión es mayor que la capacidad del canal.

- T. Tasa de transmisión de la fuente se mide en BPS.
- C. Capacidad del canal de transmisión también se mide en BPS.
- Para que no ocurra la deformación en el canal de la señal de entrada (suponiendo que no hubiera ruido, atenuación y distorsión (canal ideal), se debe cumplir que T sea menor o igual a la capacidad del canal.
- Pero la capacidad del canal depende, entre otros factores, del ancho de banda del canal de transmisión (ley de Shannon Hartley).
- Si se disminuye el ancho de banda, baja la capacidad del canal y se invierte la relación con la tasa de transmisión que pasa a ser mayor que la capacidad del canal.



# Medición de errores

$$\text{BER} = \frac{\text{Nro. de bits erróneos recibidos}}{\text{Cantidad total de Bits Tx}}$$

Ej: se dispone de dos enlaces E1 y E2 que tienen un Ber de:  $10^{-4}$  y  $10^{-9}$

Que enlace tiene una tasa de error menor?

E1 tiene un bit erróneo en 10.000 bits recibidos.

E2 tiene un bit erróneo en 1000.000.000 bits recibidos.

# Políticas de tratamiento de errores

Los protocolos de comunicaciones, respecto al tratamiento de los errores pueden aplicar alguna de las siguientes políticas.

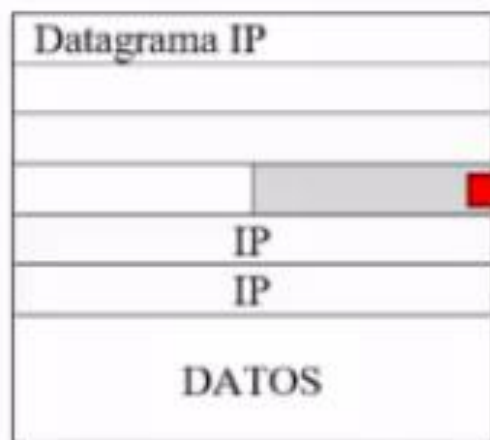
1. Detectar errores y eliminar paquete. Ej. Ethernet.
2. Detectar errores + eliminar paquete + avisar. Ej. Protocolo IP
3. Detectar errores + eliminar el paquete + pedir la retransmisión. Ej. TCP

# Detectar errores y eliminar paquete



Campo de 4 bytes que tiene un Protocolo CRC para la detección de errores en los campos de dirección, tipo y datos, no incluye los campos de sincronismo iniciales.

# Detectar errores + eliminar paquete + avisar



Control de errores para lo cabecera  
(no para datos)

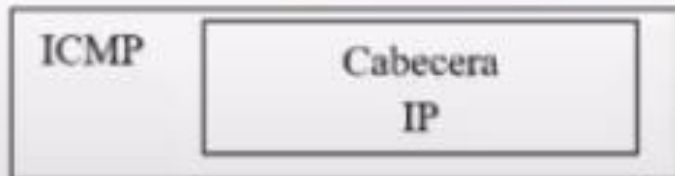
## Best Efford

No tiene calidad de servicio.

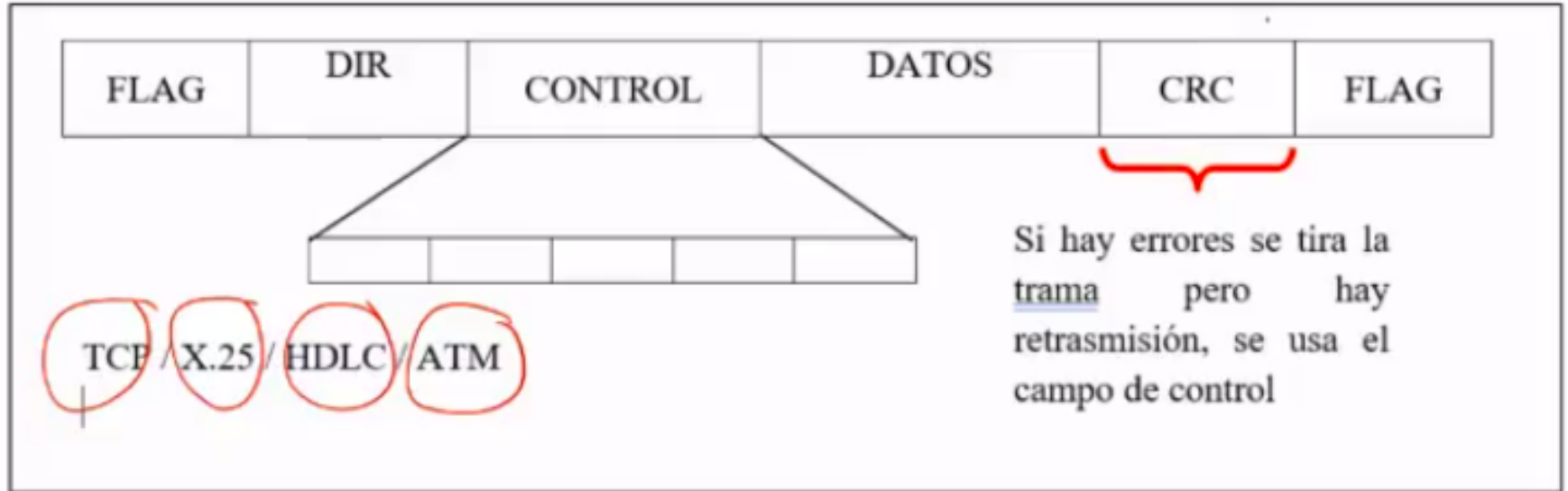
No corrige errores de usuario, ni de  
congestionamiento

Cuando se desecha en datagrama IP  
el protocolo genera un mensaje para  
avisar esto.

## Internet Control Message Protocol



# Detectar + Eliminar + Pedir retransmisión



El campo de control permite individualizar la trama y pedir la retransmisión al extremo transmisor.

# Métodos para detectar errores

## a. BCC (Block Check Character)

PAR

1	0	0	1	0
0	0	0	1	1
1	1	0	0	0
0	1	0	1	0

1° Control de Paridad

2° Control con bloque



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

Bloque de Control



# Métodos para detectar errores

## b) CRC ( Código de Redundancia Cíclica)

$Mx$ : polinomio a transmitir

$Gx$  : polinomio generador

$Rx$  : polinomio resto

$Cx$  : polinomio cociente

$$M(x) \times G(x) = Cx + Rx$$

$$Mx + Rx = Mx + Rx / Gx = Cx + 0$$

$\downarrow$   
 $Tx$

$\downarrow$   
 $Rx$

$$M(x) = 10010101$$

$$G(x) = x^3 + x^2 + 1 = 1101$$



Mx								<u>X<sup>r</sup></u>		
1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
1	1	0	1							
0	1	0	0	0						
	1	1	0	1						
	0	1	0	1	1					
		1	1	0	1					
		0	1	1	0	0				
			1	1	0	1				
			0	0	0	1	1	0	0	
						1	1	0	1	
						0	0	0	1	0

Mx								Resto		
1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1							
0	1	0	0	0						
	1	1	0	1						
	0	1	0	1	1					
		1	1	0	1					
		0	1	1	0	0				
			1	1	0	1				
			0	0	0	1	1	0	1	
						1	1	0	1	
						0	0	0	0	0

Método suma de verificación lo emplea toda la familia TCP/IP

- IP solo lo aplica a la cabecera, no a los datos.
- UDP a todo el datagrama UDP, pero no es obligatorio.
- TCP lo aplica a todo el segmento Tcp y es obligatorio.

### c. Checksum (Suma de Verificación)

A 0011

B 1000

C 0010

D 0101

A	0	0	1	1
B	1	0	0	0
	1	0	1	1
C	0	0	1	0
	1	1	0	1
D	0	1	0	1
	0	0	1	0
				1
	0	0	1	1
	1	1	0	0
	1	1	1	1

Solo se transmite  
el complemento  $a_1$

Suma

Checksum

# Métodos para corregir errores de transmisión

- ***Códigos auto correctores*** como los códigos de Hamming, Hagelbarger, etc. No se utilizan en aplicaciones comerciales sino para casos especiales, su dificultad radica en requerir alta redundancia y en consecuencia baja la eficiencia de la transmisión.
- ***Técnicas especiales de retransmisión*** como FEC y ARQ, tampoco se emplean en aplicaciones comerciales.
- ***Técnica de retransmisión de los paquetes***. Esta es la técnica que se utiliza en los protocolos de comunicaciones comerciales. Por ejemplo: TCP, ATM, X.25, HDLC, etc

# Ejemplo del sistema FEC

- El Sistema de Corrección de Errores hacia Adelante, también conocido como Forward Error Correction (FEC), se emplea en los casos en que *hay más de una estación receptora y no se necesitan de réplicas por parte de estas últimas. Observar que la transmisión puede ser simplex.*
- Funciona en el modo denominado diversidad de tiempo, permitiendo que cada mensaje se envíe dos veces, intercalando los caracteres en diferentes instantes.
- Consecuentemente, la estación receptora tiene dos oportunidades de recibir correctamente cada carácter.



# Ejemplo del sistema FEC

