

## Boletín de problemas. Tema 5

### Transmisión digital en banda base

#### Problema 5.1

Un ordenador genera palabras binarias de 16 bits a la velocidad de 20000 palabras por segundo.

- Calcule el ancho de banda necesario para transmitir la salida como una señal PAM binaria.
- Calcule  $M$  para que la salida se pueda transmitir como señal  $M$ -aria en un canal de  $B = 60kHz$ .

RESULTADO:

- $B_T \geq 160kHz$
- $M = 8$

#### Problema 5.2

Considere una secuencia binaria  $b_n$  a partir de la cual formamos los símbolos  $a_n = b_n + b_{n-1}$ . Los  $b_n$  son variables aleatorias binarias incorreladas, que toman los valores  $+1$  y  $-1$  y tienen media cero y varianza unidad. Calcule la densidad espectral de potencia de la señal transmitida.

RESULTADO:

- $S_x(\omega) = \frac{4}{T} |H(\omega)|^2 \cos^2\left(\omega \frac{T}{2}\right)$

#### Problema 5.3

Calcule la  $\left(\frac{S}{N}\right)_R$  para que un sistema binario unipolar con ruido blanco gaussiano aditivo tenga  $P_e = 0.001$ . ¿Cuál será la probabilidad de error de un sistema polar con la misma  $\left(\frac{S}{N}\right)_R$ .

RESULTADO:

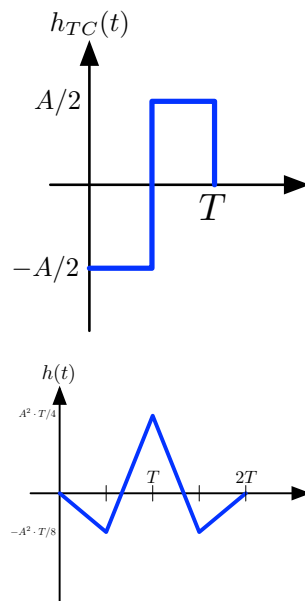
- $\rho = \frac{E_s}{N_0/2} = 19.22$   
 $P_e = Q(4, 38) < 8.54 \cdot 10^{-6}$

#### Problema 5.4

Considere la señal  $h_{TC}(t)$  de la figura:

- Determine la respuesta al impulso del filtro adaptado a esta señal y represéntela en función del tiempo.
- Dibuje la forma de onda de la respuesta al impulso global  $h(t)$ .

RESULTADO:



1.  $h_R(t) = h_{TC}(T - t)$
- 2.

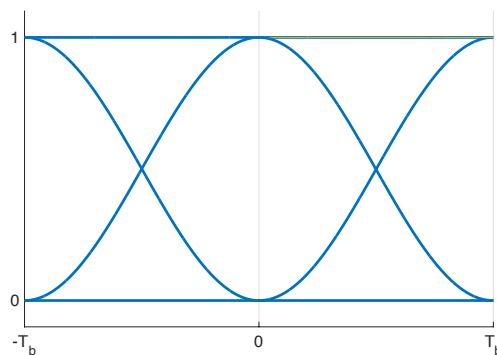
### Problema 5.5

Se recibe una señal PAM  $r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n h(t - nT)$ .

Dibuje dicha señal  $r(t)$  y construya su diagrama de ojos, sin distorsión, para la siguiente secuencia de datos en formato unipolar: 1011100010.

$$h(t) = \cos^2\left(\frac{2\pi}{4T_b}t\right) \Pi\left(\frac{t}{2T_b}\right)$$

RESULTADO:



### Problema 5.6

Un ordenador genera impulsos con una tasa de  $R_b = 1Mbps$ , para su transmisión por un canal ruidoso con densidad espectral de potencia  $N_0/2 = 2 \cdot 10^{-20} W/Hz$ . Se especifica que la tasa de error no debe superar el valor de 1 bit por hora. Se pide:

- Determinar la potencia de ruido del canal y la probabilidad de error de bit en el sistema.
- Supóngase que en el transmisor se incluye ahora una característica de transferencia con espectro en coseno alzado, con un exceso de ancho de banda del 75%, y que el sistema sea PAM NRZ cuaternario. Calcular el nuevo ancho de banda necesario para la transmisión.

RESULTADO:

- $P_N = 2 \cdot 10^{-14} W$ ,  $P_b = 2.7 \cdot 10^{-10}$
- $B = 437.5 kHz$

### Problema 5.7

Un sistema de transmisión en banda base recibe la siguiente señal:

$$r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \cdot h(t - nT)$$

donde  $T$  es el intervalo de símbolo,  $a_n$  es una secuencia polar equiprobable incorrelada que puede tomar valores  $-A$  o  $+A$ , y  $h(t)$  corresponde a una forma de impulso en coseno alzado con roll-off factor -exceso de ancho de banda-  $\alpha$ .

Se pide:

- Calcular la densidad espectral de potencia de la señal recibida.
- Dar el ancho de banda de la misma.

RESULTADO:

- $S_r(\omega) = \frac{1}{T} \cdot |H(\omega)|^2 \cdot A^2$  con  $H(\omega)$  la respuesta en frecuencia del filtro en coseno alzado.
- $B = \pi \frac{1+\alpha}{T}$

### Problema 5.8

Considere una secuencia binaria  $b_n$  a partir de la cual formamos los símbolos  $a_n = b_n - b_{n-1}$ , los  $b_n$  son variables aleatorias binarias equiprobables e incorreladas, que toman los valores 1 y 0.

Calcule la densidad espectral de potencia de la señal transmitida para el caso en que el filtro transmisor tenga una respuesta al impulso:

$$h_T(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T}} & 0 \leq t < T \\ 0 & c.c. \end{cases}$$

RESULTADO:

$$S_x(\omega) = \frac{4}{T^2\omega^2} \text{sen}^4\left(\frac{\omega T}{2}\right)$$

## Problema 5.9

Un sistema de comunicación digital transmite la señal:

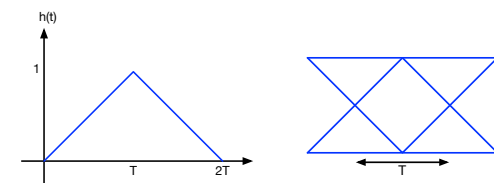
$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \cdot h_T(t - nT)$$

donde  $b_n$  representa una secuencia de variables aleatorias discretas, independientes e idénticamente distribuidas (iid) que toman valores  $\pm 1$  con la misma probabilidad. La forma de onda del impulso transmitido es  $h(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \cdot \Pi\left(\frac{t-T/2}{T}\right)$ , la respuesta al impulso del canal es  $h_c(t) = \delta(t)$  y el filtro receptor  $h_R(t)$  está adaptado a  $h_T(t)$ . Se pide:

- Determinar la forma de onda de la respuesta al impulso global  $h(t)$ .
- Dibujar el diagrama de ojos de la señal de salida del filtro receptor antes de ser muestreada.
- Repetir el apartado a) para un canal con respuesta al impulso  $h_c(t) = \delta(t) - 0.5 \cdot \delta(t - T)$ .
- Calcular los valores de las muestras de la señal tomadas a la salida del filtro receptor, así como el valor de la interferencia entre símbolos (ISI) en cada una de ellas suponiendo que se ha transmitido la secuencia 1101.

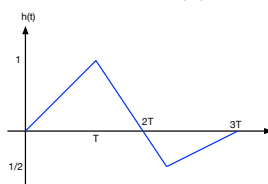
NOTA:  $\Pi(t) = \begin{cases} 1 & -0.5 \leq t < 0.5 \\ 0 & \text{c.c.} \end{cases}$

RESULTADO:



Apartado (a)

Apartado (b)



Apartado (c)