



**Tema 4:**  
**Modulaciones Digitales en Banda Base**  
**Curso 2017 - 2018**



• **Parte 1: Formas de onda digitales banda base**

**P1.-** Obtenga la relación señal a ruido a la entrada y a la salida de un filtro paso bajo ideal de ancho de banda  $B$ , suponiendo que a la entrada tenemos una señal digital  $x(t)$  formada por pulsos de amplitud  $\pm 1$  y periodo  $T$ , afectada por ruido aditivo blanco y gaussiano de media cero y densidad espectral de potencia  $N_0/2$ , siendo  $B$ :

- a.  $2/T$
- b.  $1/T$

NOTA: Considerar que el área bajo el lóbulo principal de la función  $T \cdot \text{sinc}^2(f \cdot T)$  normalizada es aproximadamente 0.9 y si consideramos un lóbulo adicional es de 0.95.

**P2.-** Obtener la expresión de la densidad espectral de potencia (DSP) de una señal AMI-NRZ de 1 voltio de amplitud, sabiendo que la expresión general para el cálculo de la DSP de una señal digital banda base es de la forma:

$$S(f) = \frac{|H(f)|^2}{T} \left[ R_x(0) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} R_x(x) \cos(2\pi k f T_b) \right]$$

$$\text{donde } R_x = \sum_{i=1}^L x_n \cdot x_{n+k} \cdot p_i$$

$x_n$  : nivel de tensión del bit en la posición  $n$

$p_i$  : probabilidad de tener el producto  $(x_n x_{n+k})_i$

$L$  : número de posibles valores distintos del producto  $x_n x_{n+k}$

$H(f)$ : transformada de Fourier de la respuesta impulsiva del filtro conformador del pulso

Representar dicha expresión indicando la frecuencia de los nulos espectrales.

**P3.-** Un sistema de grabación digital para Compact Disk muestrea alternativamente los dos canales de un sistema estéreo tomando 44000 muestras/segundo de cada canal. El CD utiliza palabras código PCM de 16 bits.

Si se recupera la información digitalizada en el CD y se requiere transmitir por una fibra óptica, calcular el ancho de banda que se requiere en los siguientes casos:

- a. Código de línea NRZ.
- b. Código de línea Manchester.

**P4.-** Suponga que se dispone de un canal de ancho de banda de 7200 Hz. Compare la tasa binaria que se puede alcanzar utilizando los siguientes esquemas de codificación de línea:

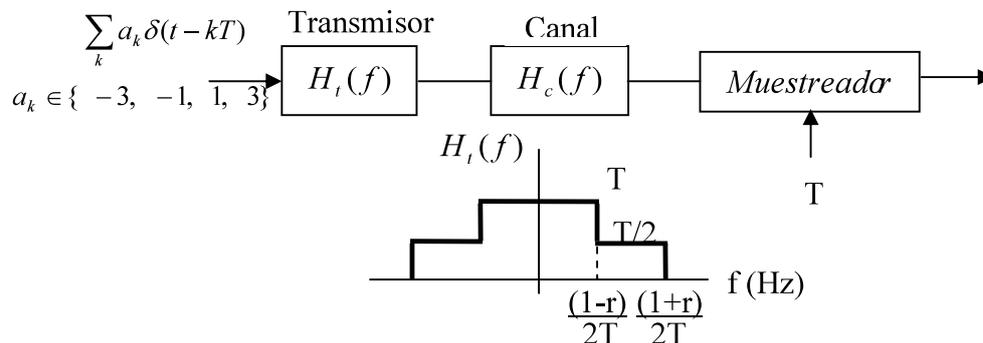
- Codificación RZ-polar.
- NRZ-unipolar.
- Manchester.
- NRZ de 16 niveles.

**P5.-** Justificar la validez o falsedad de la siguiente información:

“Una señal eléctrica en línea con 8 niveles de tensión que cambia de nivel a razón de 9600 veces por segundo, serviría para transportar una información de 76800 bps”

• **Parte 2: Transmisión digital banda base**

**P6.-** Se desea transmitir digitalmente una señal analógica,  $x(t)$ , mediante una modulación 4-PAM a través del sistema de la figura, en la que  $H_c(f)$  es un canal ideal limitado en banda a 1kHz y  $H_t(f)$  es el filtro transmisor indicado ( $r < 1$ ).

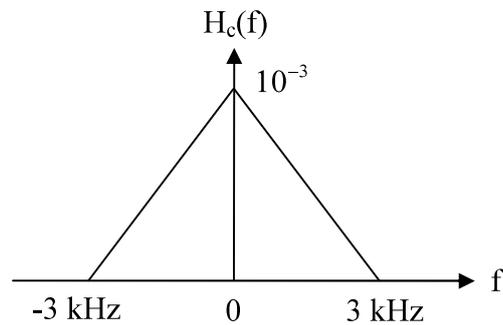


- Calcular el máximo régimen binario que puede alcanzarse sin ISI; expresar el resultado en función de  $r$ . Para dicha velocidad, demostrar que se cumple el criterio de Nyquist en el dominio del tiempo.
- Suponer ahora que el canal está limitado en banda a  $(1-r)/(2T)$ , con  $r = 0.1$  y asumir que toda la ISI es debida únicamente a los símbolos anterior y posterior. En estas condiciones, calcular el valor de la muestra recibida correspondiente al símbolo “1” cuando la secuencia transmitida es  $\{\dots, -3, 1, -1, \dots\}$ . ¿Es posible trabajar sin ISI en este caso?

**Notas:**  $\sin(a \pm b) = \sin(a)\cos(b) \pm \cos(a)\sin(b)$

$$\prod\left(\frac{f}{2W}\right) \xrightarrow{F^{-1}} 2W\text{sinc}(2Wt)$$

**P7.-** Se considera la función de transferencia (incluyendo canal y filtros de transmisión y recepción) que se muestra en la figura:



- Obtenga la respuesta al impulso.
- ¿Cuál es la máxima velocidad permitida sin que haya ISI?
- ¿Existen otras velocidades de transmisión sin ISI? ¿Cuáles son?

**P8.-** Calcular el ancho de banda mínimo para una transmisión PCM de cuatro niveles con un régimen binario  $R_b = 2400$  bits/seg si la respuesta en frecuencia total del sistema es un filtro en coseno alzado con un 100% de exceso de ancho de banda ( $r=1$ ).

**P9.-** Compare el ancho de banda necesario para una transmisión de voz sobre un canal telefónico de 3kHz de ancho de banda y para transmitir sin ISI la misma voz en un circuito PCM con una frecuencia de muestreo de 8000 muestras/seg y una cuantificación de 8 bits.

**P10.-** Una señal analógica se convierte en una señal PCM binaria y se transmite por un canal limitado en banda a 100 kHz. Se utilizan 32 niveles de cuantificación y la función de transferencia equivalente total es un filtro en coseno alzado con un roll-off  $r = 0.6$ .

- Calcule el máximo régimen binario al que se puede transmitir sin ISI.
- Calcule cuál es el máximo ancho de banda que puede tener la señal analógica.
- Repita a. y b. para un PCM de 8 niveles.

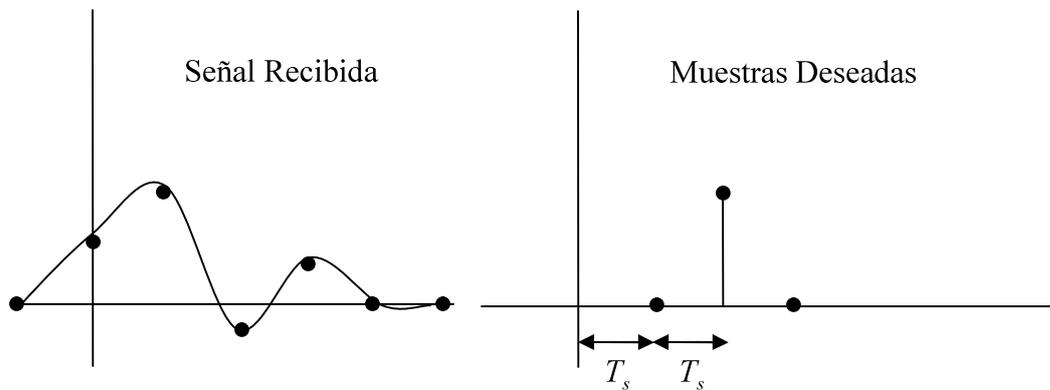
**P11.-**

**P12.-**

**P13.-** Un sistema MIC multiplexa la información de 32 canales telefónicos, estando cada uno de ellos muestreado a 8000 muestras/seg y cuantificado con 8 bits.

- Calcule el ancho de banda necesario para transmitir en los siguientes casos:
  - Codificación NRZ polar.
  - Codificación Manchester.
  - Codificación RZ con 4 niveles.

**P14.-** Se transmite un único símbolo de valor uno y se recibe una señal como la de la figura:



Las muestras no nulas valen desde  $t = 0$  hasta  $t = 3T_s : \{0.3, 1, -0.2, 0.1\}$ . Calcule los coeficientes de un igualador de tres coeficientes que nos convierta estas muestras de la secuencia (desde  $t = T_s$  hasta  $t = 3T_s$ ):  $\{0 \ 1 \ 0\}$  con el menor error posible.

• **Parte 3: Detección de señales en canales con ruido**

**P15.-** Calcule el cociente de verosimilitud y el umbral óptimo de decisión (en el sentido de minimizar la probabilidad de error) para el caso en que se reciben dos símbolos ( $a_1$  y  $a_2$ ) con probabilidades  $p_1$  y  $p_2$  en ruido Gaussiano de potencia  $\sigma^2$ . ¿Cuál es la probabilidad de error?

**P16.-** Supongamos una transmisión banda base multinivel con símbolos equiprobables  $\{-3, -1, 1 \text{ y } 3\}$  (en recepción). Calcule la probabilidad de error para una transmisión en ruido Gaussiano de potencia  $\sigma^2$ .

**P17.-** Una señal de comunicaciones digitales vale o bien 1 voltio o bien -1 voltio durante el intervalo  $(0, T)$ . Se le suma ruido aditivo blanco y Gaussiano con densidad espectral de potencia  $10^{-4}$  W/Hz. Si el receptor utiliza un filtro adaptado, determinar la máxima velocidad que se puede alcanzar con una probabilidad de error menor que  $10^{-3}$ .

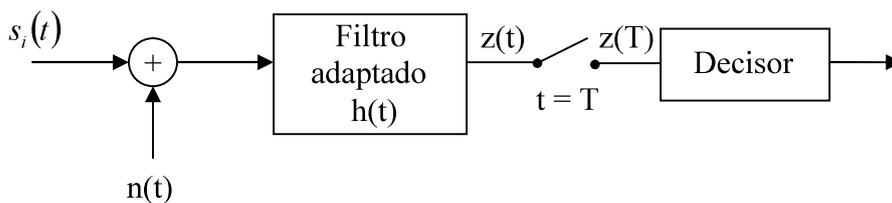
**P18.-** Razone por qué es mejor (se obtiene menor probabilidad de error para la misma energía de señal) la señalización polar que la unipolar. Emplee la distancia entre muestras de señal para la misma energía de bit.

**P19.-** Se diseña un receptor para un sistema banda base NRZ unipolar:

$$s_1(t) = A \quad 0 \leq t \leq T$$

$$s_2(t) = 0 \quad 0 \leq t \leq T$$

Las señales se reciben en ruido aditivo blanco Gaussiano con densidad espectral de potencia  $N_0/2$ . La energía de  $s_1(t)$  la denotaremos como  $E$ .



Para abaratar costes se implementa el filtro adaptado receptor en analógico mediante un circuito RC, dando lugar a una respuesta impulsiva:

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{-t/T} \quad 0 \leq t \leq T$$

- Calcule el valor del observable  $z(T)$  para ambas formas de onda en función de  $E$ . Calcule el umbral óptimo de decisión.
- Calcule la probabilidad de error (en función de  $Q(\cdot)$ ).
- Calcule el incremento de energía transmitida (en dB) para mantener la probabilidad de error del receptor óptimo.

● **Parte 4: Problemas de examen de cursos anteriores**

**P20.-** Sabiendo que la expresión general para el cálculo de la Densidad Espectral de Potencia (DEP) de una señal digital banda base es de la forma:

$$G_s(f) = DEP\{x(t)\} \cdot DEP\{h_r(t)\} = \frac{|H_r(f)|^2}{T} DEP\{x(t)\} \quad \left[ \frac{W}{Hz} \right]$$

donde:

$$\left. \begin{aligned} DEP\{x(t)\} &= TF\{R_x[m]\} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_x[m] \cdot e^{(-j2\pi fmT)} \\ R_x[m] &= E[A_n \cdot A_{n+m}] \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow DEP\{x(t)\} = R_x[0] + 2 \sum_{m=1}^{\infty} R_x[m] \cdot \cos(2\pi fmT)$$

$A_n$  : nivel de tensión del bit en la posición  $n$

$H_r(f)$  : transformada de Fourier de la respuesta impulsiva del filtro conformador del pulso

Se pide:

- Obtener la expresión de la DEP de una señal AMI-RZ (RZ Bipolar) de 1 voltio de amplitud.
- Representar dicha expresión indicando la frecuencia de los nulos espectrales.

Nota:

$$\prod\left(\frac{t}{T}\right) \xrightarrow{TF} T \cdot \text{sinc}(fT)$$

**P21.-** Suponga que se desea transmitir cuatro señales de control, de forma simultánea, a través de un canal paso bajo ideal con frecuencia de corte de 400Hz.

Sabiendo que cada una de dichas señales de control demanda una tasa de 250 bps; y que se dispone de cuatro posibles esquemas de codificación:

- Codificación NRZ polar.
- Codificación NRZ unipolar.
- Codificación RZ polar.
- Codificación RZ unipolar.

Responda a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué esquema de codificación utilizaría? ¿Cuántos símbolos debe tener la constelación de la codificación utilizada? Justifique sus respuestas.
- ¿Tendría ISI el sistema que ha diseñado? Justifique su respuesta.

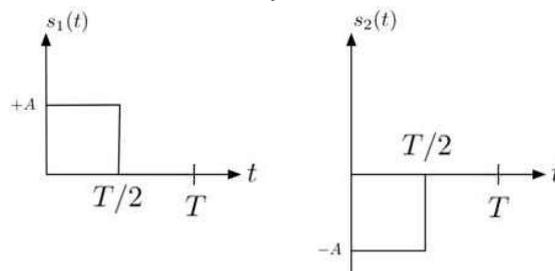
**P22.-** Un sistema de comunicaciones banda base, con modulación NRZ unipolar y pulsos de 10V de amplitud, transmite una tasa de 10 símbolos por segundo a través de un canal AWGN con densidad espectral de potencia de 2.5W/Hz. Sabiendo que el 75% de los bits transmitidos por dicho sistema son 0 y suponiendo una recepción mediante un filtro adaptado de amplitud unidad, se pide:

- Calcular el umbral óptimo de decisión; es decir, el umbral que minimiza la probabilidad de error del sistema de comunicaciones.
- Calcular dicha probabilidad de error.
- Suponiendo ahora que los bits transmitidos fueran equiprobables, calcular la mínima amplitud de los pulsos transmitidos para obtener una probabilidad de error inferior a  $25 \cdot 10^{-3}$ .

Nota:

Se adjunta tabla de valores de la función  $Q(x)$ . 
$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

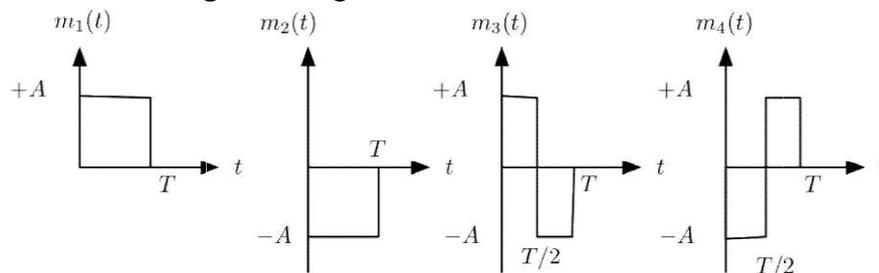
**P23.-** Un sistema de comunicaciones digitales banda base emplea las formas de onda  $s_1(t)$  y  $s_2(t)$  de la Figura para la transmisión de un mensaje binario equiprobable. La señal se recibe contaminada por ruido aditivo blanco y Gaussiano con DEP  $N_0/2$  W/Hz.



Se pide:

- Dibujar el diagrama de bloques del receptor óptimo y la respuesta impulsional del filtro adaptado (de amplitud A).
- Calcular el umbral óptimo de decisión y la probabilidad de error ( $P_e$ ) en función de  $E_b/N_0$  (siendo  $E_b$  la energía media de bit).

A continuación, considere un nuevo sistema en el que se transmiten las cuatro formas de onda representadas en la siguiente Figura:



Para este sistema, se pide:

- Compruebe que  $s_1(t)$  y  $s_1(t-T/2)$  puede ser una base para las cuatro formas de onda anteriores. Dibujar un diagrama de bloques del receptor óptimo empleando correladores y una base ortonormal.

**P24.-** Indique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas justificando sus respuestas:

- Una posible forma de evaluar el funcionamiento de un sistema de comunicaciones, ya sea éste analógico o digital, es calcular la probabilidad de error (de bit, BER; o de símbolo, SER) de dicho sistema.
- Una ventaja de las comunicaciones digitales frente a las analógicas es la capacidad de detectar e incluso de corregir errores producidos en la comunicación.

**P25.-** En un sistema digital de comunicaciones se transmite, a través de un canal y en ausencia de ruido, un único símbolo de valor uno. La señal recibida es:

$$y[n] = [2 \ 1.5 \ 0.125 \ -1.9063], \text{ desde } n = 0 \text{ hasta } n = 3$$

- ¿Qué fenómeno, perjudicial para las prestaciones del sistema, está ocurriendo en este sistema de comunicaciones?
- Calcule los coeficientes de un igualador de tres coeficientes ( $C[n]$ , desde  $n = 0$  hasta  $n = 2$ ) que convierta la secuencia recibida en la secuencia “deseada” ( $d[n] = [0 \ 1 \ 0]$ , desde  $n = 1$  hasta  $n = 3$ ).
- ¿Para qué sirve un igualador? Dibuje el esquema de un receptor digital de comunicaciones en banda base indicando la posición que ocuparía el igualador.

Justifique sus respuestas.

**P26.-** Un sistema de comunicaciones banda base, con modulación RZ polar de 8 niveles, pulsos de amplitud  $\{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}$ V y codificación Gray, transmite una tasa de 5 símbolos por segundo a través de un canal AWGN con densidad espectral de potencia de 0.1W/Hz. Sabiendo que los bits transmitidos son equiprobables y suponiendo una recepción mediante un filtro adaptado de amplitud unidad, se pide:

- Diseñar el decisor óptimo (indicando los umbrales y las regiones de decisión) que minimiza la probabilidad de error de bit del sistema de comunicaciones.
- Calcular dicha probabilidad de error de bit.
- Calcular la mínima  $E_b$  (energía de bit) con la que debería transmitir el sistema para obtener una probabilidad de error de bit inferior a  $5 \cdot 10^{-4}$ .

Nota:

Se adjunta tabla de valores de la función  $Q(x)$ .

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

**P27.-** Una señal digital binaria equiprobable se transmite a una velocidad  $R_b = 4$ Mbps empleando codificación polar con niveles +1 Voltio para el ‘1’ y -1 Voltio para el ‘0’ y un filtro transmisor con respuesta impulsional:

$$h_t(t) = \begin{cases} \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{resto} \end{cases} \quad (1)$$

siendo  $T$  el periodo de símbolo.

La señal polar conformada con  $h_t(t)$  se transmite por un canal ideal sin limitación en banda y, a la entrada del receptor, se le suma ruido blanco Gaussiano con densidad espectral de potencia  $N_0/2$  ( $N_0 = 4 \cdot 10^{-8}$  W/Hz).

- Dibujar el diagrama de bloques del receptor óptimo y la respuesta impulsional del filtro adaptado (de amplitud máxima 1).
- Calcular la potencia de ruido en recepción ( $\sigma^2$ ), el umbral óptimo de decisión ( $\gamma$ ) y la probabilidad de error ( $P_e$ ).
- Si se sustituye la codificación polar por una unipolar con niveles  $+V$  para el '1' y 0 para el '0', calcule el nivel de tensión  $V$  para tener la misma probabilidad de error.
- Considere nuevamente el filtro transmisor dado en (1) y su correspondiente filtro adaptado en el receptor. Suponga ahora que la distribución estadística del ruido a la salida del muestreador pasa de ser Gaussiana a ser Laplaciana con función densidad de probabilidad dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} e^{-|x|\frac{\sqrt{2}}{\sigma}}$$

Razone cuál es el umbral óptimo de decisión en este caso y calcule la nueva probabilidad de error.

Notas:

Se adjunta tabla de valores de la función  $Q(x)$ .

$$\cos^2(x) = (1 + \cos(2x))/2$$

**P28.-** Suponga un sistema de comunicaciones con modulación NRZ polar de 4 niveles, con pulsos de amplitud  $\{-3, -1, 1, 3\}V$ , símbolos equiprobables y codificación Gray. La transmisión se realiza a través de un canal AWGN con densidad espectral de potencia  $0.5W/Hz$ ; y la recepción se realiza mediante un filtro adaptado de amplitud unidad.

- Calcule la tasa binaria máxima con la que se puede transmitir obteniendo una probabilidad de error de bit inferior a  $6.75 \cdot 10^{-2}$ .

Suponga ahora que se mantiene la tasa binaria calculada en el apartado anterior (suponga una tasa  $R_b = 2.2\text{bps}$  si no ha logrado responder a dicho apartado) pero que, en lugar de un filtro adaptado para NRZ, en el sistema se utiliza un filtro adaptado para RZ (también de amplitud unidad).

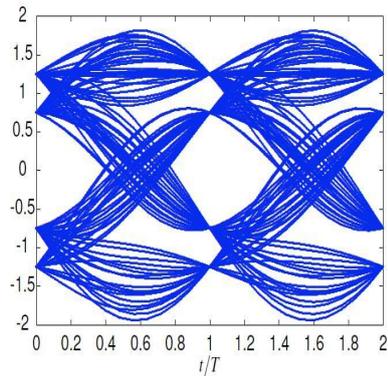
- Razone si la probabilidad de error de bit en este caso debe resultar mayor o menor que la obtenida con el sistema original.
- Diseñe el decisor óptimo (indicando los umbrales y las regiones de decisión) y calcule la probabilidad de error de bit en este caso.

Nota:

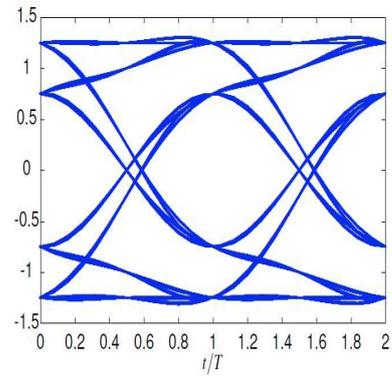
Se adjunta tabla de valores de la función  $Q(x)$ .

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

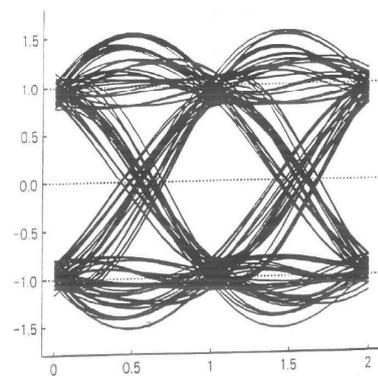
**P29.-** En cuatro sistemas de comunicaciones (todos con modulación NRZ polar) se han obtenido los siguientes diagramas de ojo.



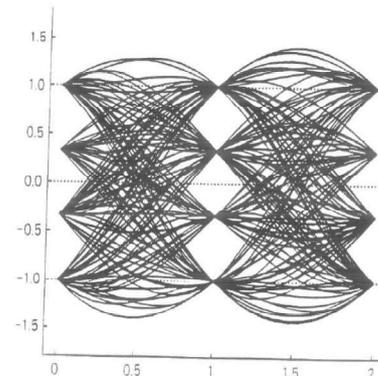
Sistema 1



Sistema 2



Sistema 3



Sistema 4

A partir de los diagramas de ojo anteriores, responda a las siguientes preguntas, de forma razonada, para cada uno de los sistemas:

- ¿Cuántos símbolos tiene la modulación utilizada en el sistema?
- ¿Hay presencia de ruido en el sistema?
- ¿Es un sistema con ISI?

**P30.-** Suponga que se desea transmitir, a través de un canal paso bajo ideal con frecuencia de corte de 8KHz, a una tasa de 20Kbps utilizando una de las siguientes codificaciones:

- NRZ polar de 32 símbolos.
- RZ unipolar de 16 símbolos.

Responda a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué esquema de codificación utilizaría?
- Si se utiliza una codificación de 8 niveles y la respuesta en frecuencia total del sistema es un coseno alzado con un 80% de exceso de ancho de banda, ¿cuál es la tasa binaria máxima que se puede transmitir por el canal?

Justifique sus respuestas.

**P31.-** Una señal digital binaria equiprobable se transmite a una velocidad  $R_b = 4\text{Mbps}$  empleando una codificación polar con niveles +1 Voltio para el "1" y -1 Voltio para el "0" y un filtro transmisor con respuesta impulsional:

$$h_t(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T/2 \\ 0,5 & T/2 \leq t \leq T \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$

siendo  $T$  el tiempo de símbolo.

La señal se transmite por un canal ideal sin limitación en banda y con ruido aditivo blanco y Gaussiano con densidad espectral de potencia  $8 \cdot 10^{-8}\text{W/Hz}$ .

- Dibuje el diagrama de bloques del receptor óptimo y la respuesta impulsional del filtro adaptado (de amplitud máxima 1).
- Calcule la probabilidad de error de bit del sistema.
- Si se sustituye el filtro adaptado del apartado a) por un filtro adaptado del doble de amplitud, ¿la probabilidad de error aumenta o disminuye respecto al apartado anterior? Justifique su respuesta.
- De nuevo con el filtro adaptado del apartado a), si se sustituye la codificación polar por una unipolar con niveles +A Voltio para el "1" y 0 Voltios para el "0", calcule el nivel de tensión A para mantener la probabilidad de error del apartado b).

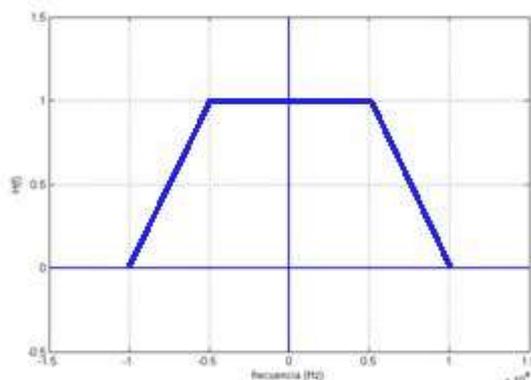
**P32.-** Una señal digital binaria equiprobable se transmite a una velocidad  $R_b = 5\text{Kbps}$  empleando una codificación polar con niveles +1 Voltio para el "1" y -1 Voltio para el "0" y un filtro transmisor con respuesta impulsional:

$$h_t(t) = \begin{cases} 0,5 & 0 \leq t \leq 0,4T \\ 1 & 0,4T \leq t \leq 0,9T \\ 0,5 & 0,9T \leq t \leq T \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$

siendo  $T$  el tiempo de símbolo. La señal se transmite por un canal ideal sin limitación en banda y con ruido AWGN con densidad espectral de potencia  $2 \cdot 10^{-6}\text{W/Hz}$ .

- Dibuje el diagrama de bloques del receptor óptimo y la respuesta impulsional del filtro adaptado (de amplitud máxima 1).
- Calcule la probabilidad de error de bit del sistema.
- Si se mantiene la distancia entre símbolos recibidos (y la potencia de ruido a la entrada del decisor), pero varía la codificación, que pasa a ser polar de 32 niveles (con codificación Gray), calcule la nueva probabilidad de error de bit. ¿Sería una "comparación justa" el comparar este sistema de 32 niveles con el sistema inicial sólo por sus probabilidades de error de bit? Justifique sus respuestas.
- De nuevo con el sistema inicial de dos niveles, pero suponiendo ahora que el receptor tiene una frontera de decisión en  $-0,3T$  y que la probabilidad de transmitir un "0" es el 20%, calcule de forma explícita (planteando y resolviendo integrales si fueran necesarias) la probabilidad de error de dicho símbolo.

**P33.-** Suponga que se desea transmitir una señal 8-PAM a través de un canal ideal (no limitado en frecuencia y de ganancia G) y que la combinación del filtro de transmisión y del filtro de recepción del sistema forman la respuesta en frecuencia  $H(f)$  que se muestra en la siguiente figura:



Responda a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué es la ISI y por qué resulta perjudicial para los sistemas de comunicaciones? Si queremos comprobar si el sistema tiene ISI, ¿qué debemos comprobar, tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia?
- ¿Cuál es la tasa binaria máxima a la que se puede transmitir sin ISI en el sistema anterior?
- Manteniendo los filtros de transmisión y recepción pero suponiendo ahora un canal ideal paso bajo con frecuencia de corte de 5KHz, indique cómo se podría modificar el sistema para transmitir sin ISI a una tasa binaria igual o superior a la calculada en el apartado anterior. Si no fuera posible hacerlo, justifique su respuesta.
- Manteniendo los filtros de transmisión y recepción pero suponiendo ahora un canal ideal paso bajo con frecuencia de corte de 7.5KHz, indique cómo se podría modificar el sistema para transmitir sin ISI a la misma tasa de símbolos que la calculada en el apartado b). Si no fuera posible hacerlo, justifique su respuesta.

**P34.-** Sabiendo que la expresión general para el cálculo de la Densidad Espectral de Potencia (DEP) de una señal digital banda base es de la forma:

$$G_s(f) = DEP\{x(t)\} \cdot DEP\{h_T(t)\} = \frac{|H_T(f)|^2}{T} DEP\{x(t)\} \quad \left[ \frac{W}{Hz} \right]$$

donde:

$$\left. \begin{aligned} DEP\{x(t)\} &= TF\{R_x[m]\} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_x[m] \cdot e^{-j2\pi f m T} \\ R_x[m] &= E[A_n \cdot A_{n+m}] \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow DEP\{x(t)\} = R_x[0] + 2 \sum_{m=1}^{\infty} R_x[m] \cdot \cos(2\pi f m T)$$

$A_n$  : nivel de tensión del símbolo en la posición  $n$

$H_T(f)$  : transformada de Fourier de la respuesta impulsiva del filtro conformador del pulso

Se pide:

- a) Obtener la expresión de la DEP de una señal RZ polar de 4 niveles con la siguiente codificación:

Bits	Símbolos ( $A_n$ ), en voltios
00	-3
01	-1
11	1
10	3

Suponiendo ahora que  $T = 10\text{ms}$  y que la señal anterior, afectada por un ruido aditivo, blanco y gaussiano de media 0 y DEP =  $100\mu\text{W/Hz}$ , se recibe con un filtro paso bajo ideal de ancho de banda 200Hz y amplitud 1,

- b) Calcular la Relación Señal a Ruido (SNR) a la salida de dicho filtro.  
c) ¿El filtro anterior es el filtro que mayor SNR presentaría para esta modulación?

Nota: Considerar que el área bajo el lóbulo principal de la función  $\frac{T}{2}\text{sinc}^2\left(\frac{T}{2}\cdot f\right)$  normalizada es aproximadamente 0.9 y si consideramos un lóbulo adicional es de 0.95.

**P35.-** Suponga que se desea transmitir, a través de un canal paso bajo ideal, a una tasa de 40Kbps utilizando una de las siguientes codificaciones:

- Manchester
- NRZ unipolar de 8 símbolos.
- RZ polar de 4 símbolos.
- Binaria, con coseno alzado con 40% de exceso de ancho de banda.

Se pide:

- a) Calcular el ancho de banda mínimo del canal en cada caso.  
b) Si se transmitiera con una modulación NRZ polar paso banda de 8 símbolos, a través de un canal paso banda ideal con ancho de banda de 20KHz, calcular la máxima tasa binaria que se puede transmitir.

Justifique sus respuestas.