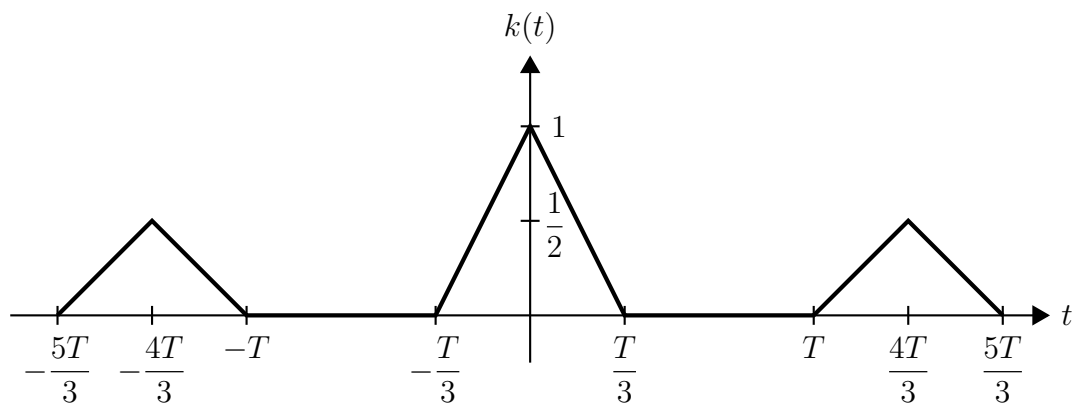


## Ejercicio 1

Un sistema digital de comunicaciones en banda base transmite una secuencia blanca de símbolos,  $A[n]$ , equiprobables, y emplea una modulación 4-PAM con niveles  $\{\pm 1/2, \pm 3/2\}$ . La respuesta conjunta de los filtros transmisor y receptor,  $k(t)$ , se muestra en la siguiente figura



donde  $T$  es el período de símbolo, y el filtro receptor está adaptado al transmisor. Suponiendo que el canal no distorsiona ( $h(t) = \delta(t)$ ) y el ruido a la entrada del receptor,  $n(t)$ , es blanco con densidad espectral de potencia  $N_0/2$ , determine:

- a) Si existe interferencia entre símbolos (ISI)
- b) Si el ruido muestreado,  $z[n]$ , es blanco.
- c) La densidad espectral de potencia (DEP) de la señal transmitida,  $S_S(j\omega)$ .

(1,5 puntos)

## Ejercicio 2

Un sistema digital de comunicaciones en banda base tiene el siguiente canal discreto equivalente

$$p[n] = \delta[n] + 2\delta[n - 2].$$

La constelación transmitida es una 2-PAM con niveles normalizados, los símbolos son equiprobables y blancos, y el ruido térmico tiene una densidad espectral de potencia  $N_0/2 = 10^{-1}$ .

- a) Si se usa un receptor símbolo a símbolo sin memoria, obtenga el retardo óptimo para la decisión, y calcule la probabilidad de error exacta que se obtiene con dicho receptor y retardo para la decisión.
- b) Diseñe un igualador lineal sin limitación de coeficientes con el criterio de mínimo error cuadrático medio (MMSE) y obtenga su probabilidad de error.
- c) Ahora se analizará el detector ML de secuencias (MLSD).
  - i) Obtenga su diagrama de rejilla.
  - ii) Obtenga su probabilidad de error.
  - iii) Obtenga la secuencia que con mayor probabilidad fue transmitida si se recibe:

| $n$    | 0  | 1  | 2 | 3  | 4 |
|--------|----|----|---|----|---|
| $q[n]$ | +2 | +2 | 0 | -2 | 0 |

cuando  $A[n] = +1$  para  $n < 0$  y para  $n \geq 3$ .

NOTA: Debe dejar clara evidencia de la aplicación del algoritmo empleado.

\_\_\_\_\_(3 puntos)

## Ejercicio 3

Una sistema digital de comunicaciones transmite a 2 Mbits/s utilizando una modulación de frecuencia 4-ária.

- a) Si la modulación es una modulación de frecuencia de fase continua (CPFSK)
- I) Diseñe el sistema: indique las frecuencias empleadas, dibuje los pulsos para los distintos símbolos, y realice la asignación binaria.
  - II) Calcule el ancho de banda efectivo de la modulación (ancho entre lóbulos principales).
  - III) Represente la señal modulada para la transmisión de la siguiente secuencia binaria

|          |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $m$      | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $B_b[m]$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

- b) Repita el apartado anterior con una modulación de mínima separación en frecuencia (MSK).  
\_\_\_\_\_ (1,5 puntos)

## Ejercicio 4

Se debe diseñar un sistema digital de comunicaciones para transmitir paso banda con una frecuencia de portadora de 5 MHz. Se quiere alcanzar una tasa de transmisión por encima de 2 Mbps sin interferencia entre símbolos (ISI) sobre un canal con respuesta al impulso

$$h(t) = a \delta(t) + b \delta(t - t_0) \text{ con } a = 5 \times 10^{-3}, b = 10^{-3} \text{ y } t_0 = 3 \mu s.$$

- a) Si se utiliza una modulación OFDM con  $N = 4$  portadoras y una 8-PAM en cada portadora, calcule el canal discreto equivalente  $d[m]$  muestreado a una tasa  $T/4$ , donde  $T$  representa la duración de un símbolo OFDM.
- b) Con la OFDM con  $N = 4$  portadoras, los símbolos de entrada al modulador OFDM son:

| $n$    | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $A[n]$ | +1 | -3 | -1 | +1 | +1 | +3 | -3 | +1 |

El modulador calcula las muestras utilizando secuencialmente una  $DFT$  inversa de 4 muestras, con los factores de escala apropiados, produciendo la secuencia de muestras de la tabla

| $m$                    | 0    | 1     | 2   | 3     | 4   | 5      | 6    | 7      |
|------------------------|------|-------|-----|-------|-----|--------|------|--------|
| $\sqrt{T} \times s[m]$ | -0.5 | 0.5-j | 0.5 | 0.5+j | 0.5 | 1+0.5j | -1.5 | 1-0.5j |

Si se transmiten estas muestras sobre el canal se observa que sufren distorsión. ¿Cómo se podría evitar la interferencia entre símbolos (ISI) y entre portadoras (ICI)? Indique la secuencia de muestras a transmitir para conseguirlo.

- c) ¿Cuánto ancho de banda se necesita para poder transmitir sin ISI ni ICI?

(2 puntos)

## Ejercicio 5

Un código bloque lineal tiene la siguiente matriz de chequeo de paridad.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- a) Encuentre una matriz generadora para el código, de forma que sea sistemático, y explique cómo obtener otra para un código no sistemático (no es necesario que ponga esta segunda matriz).
- b) Calcule la tasa de codificación del código y si se utiliza una modulación 2-PAM con tiempo de símbolo  $T = 10^{-6}$  seg. para transmitir la secuencia de bits codificados, obtenga la tasa efectiva de transmisión (que considere sólo la tasa de transmisión de los bits de información).
- c) Sin necesidad de obtener la tabla de síndromes, diga qué tamaño tiene la tabla (cuantas filas) y cuantos bits tienen los síndromes y los patrones de error de cada fila. Ponga un ejemplo de una de las entradas (filas) de la tabla.
- d) Diga si se trata o no de un código perfecto y explique por qué.
- e) Ponga un ejemplo de una palabra codificada, que no sea la palabra “todo ceros”.
- f) Explique cuál es la diferencia entre decodificación dura y decodificación blanda. ¿Se puede utilizar la decodificación basada en síndrome con ambas técnicas?

---

(2 puntos)