

**COMUNICACIONES DIGITALES**  
**CUESTIONES**  
(Tiempo: 60 minutos. Puntos 4/10)

Apellidos: ..... Nombre: ..... Nº de matrícula o DNI: ..... Grupo ..... Firma	Calificación	
	1	
	2	
	3	
	T	

### Cuestión 1

Responda a las siguientes preguntas relativas a distintas modulaciones angulares

- a) ¿Cuál es mínima separación entre frecuencias de los pulsos de información en las siguientes modulaciones de frecuencia?
  - I) Modulación CPFSK (*Continuous Phase Frequency Shift Keying*)
  - II) Modulación MSK (*Minimum Shift Keying*)
- b) ¿Cómo se consiguen eliminar los saltos de 180° en una modulación OQPSK?
- c) Una modulación CPM con índice de modulación  $h = 2$  utiliza el siguiente pulso transmisor

$$g(t) = \begin{cases} A \cdot t, & \text{si } 0 \leq t < T \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} .$$

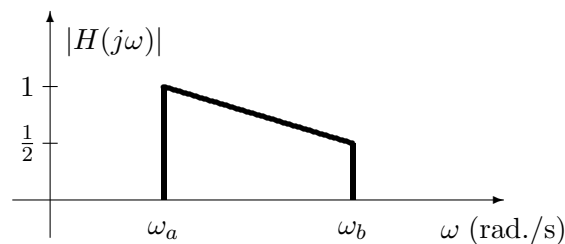
- I) Calcule el valor de  $A$  si el pulso está normalizado (con la definición de normalización empleada en modulaciones CPM), y diga si se trata de una modulación CPM de fase completa o de fase parcial, explicando por qué.
- II) Para la modulación CPM del apartado anterior, represente el árbol de fases para 2 períodos de símbolo etiquetando adecuadamente ambos ejes del gráfico, si la secuencia de símbolos enviada es una secuencia cuaternaria  $I[n] \in \{\pm 1, \pm 3\}$ .

\_\_\_\_\_ (1 punto)

## Cuestión 2

Un sistema de comunicaciones digital tiene asignado para su utilización el rango de frecuencias entre 10 y 15 MHz. El tipo de modulación que se empleará será una modulación 16-QAM.

- a) Si el transmisor utiliza un filtro transmisor en raíz cuadrada de coseno alzado con factor de caída  $\alpha = 0.25$ , el receptor utiliza un filtro adaptado al transmisor, y asumiendo que el comportamiento del canal en el rango de frecuencias utilizable es ideal
- I) Obtenga la máxima velocidad de símbolo y la máxima velocidad binaria para la transmisión sin interferencia intersimbólica (ISI).
  - II) Represente la densidad espectral de potencia de la señal modulada transmitida  $x(t)$ , si la secuencia de datos  $A[n]$  es blanca.
- b) Si en el rango de frecuencias utilizable el canal tiene el comportamiento de la figura (con  $\omega_a = 2\pi \times 10 \times 10^6$  y  $\omega_b = 2\pi \times 15 \times 10^6$ ), y el filtro transmisor y el filtro receptor son los mismos del apartado anterior



- I) Demuestre si es posible o no la transmisión sin ISI.
  - II) Indique si el ruido discreto a la salida del receptor,  $z[n]$ , es o no blanco y explique por qué.
- c) Para el canal del apartado anterior, cuya respuesta en frecuencia es la de la figura, y si el receptor utiliza un filtro adaptado al transmisor
- I) Diseñe el filtro transmisor para que no exista ISI (puede proporcionar la expresión en el dominio del tiempo,  $g(t)$ , o en el dominio de la frecuencia,  $G(j\omega)$ ).
  - II) Indique si con dicho filtro el ruido discreto a la salida del receptor es o no blanco y explique por qué.

(1,5 puntos)

### Cuestión 3

Una modulación OFDM en tiempo discreto ocupa un ancho de banda de 4 kHz en la banda de 5 kHz - 9 kHz. Dicha modulación se utiliza para dar servicio de comunicaciones inalámbricas de 4 a 10 usuarios. El sistema de comunicaciones consta de una estación base (transmisor) que envía la modulación OFDM y una serie de receptores separados físicamente, uno por cada usuario al que se le esté dando servicio. En el transmisor el flujo de información destinado a cada usuario se envía en cada una de las portadoras con las que se genera la modulación OFDM.

- Obtenga la máxima y mínima tasa de servicio (tasa de símbolo) que se le podría dar a cada usuario, si la modulación no usa prefijo cíclico. Tenga en cuenta que la tasa dependerá del número de usuarios que estén siendo servidos.
- Suponiendo que damos servicio a 4 usuarios ( $N = 4$ ) y que las tasas binarias requeridas por cada uno de ellos son  $R_{u0} = 8$  kbit/s,  $R_{u1} = 4$  kbit/s,  $R_{u2} = 2$  kbit/s y  $R_{u3} = 1$  kbit/s, obtenga el orden de la modulación que cada usuario necesitará.
- Se transmite la señal OFDM en tiempo discreto  $s[m]$  que transporta la información de cada uno de los 4 usuarios a través del canal inalámbrico. Cada usuario  $i$  recibe la señal  $s[m]$  a través de un canal diferente  $d_i[m]$  ( $i = 0 \dots 3$ ) por las distintas características de propagación del medio:

$$d_i[m] = \delta[m] + a_i\delta[m - 1] \text{ si } i = 0, 1$$

$$d_i[m] = \delta[m] + a_i\delta[m - 2] \text{ si } i = 2, 3$$

Determine la longitud del prefijo cíclico que habría que añadir a la señal  $s[m]$  para que todos los usuarios puedan recuperar su información sin ISI y sin ICI.

- Diseñe el demodulador que le permitirá a cada usuario recuperar su flujo de información.

---

(1,5 puntos)

**COMUNICACIONES DIGITALES**  
**PROBLEMAS**  
(Tiempo: 120 minutos. Puntos 6/10)

Apellidos: ..... Nombre: ..... Nº de matrícula o DNI: ..... Grupo ..... Firma	Calificación						
	<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="width: 50px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">2</td> <td style="width: 50px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">T</td> <td style="width: 50px; height: 30px;"></td> </tr> </table>	1		2		T	
1							
2							
T							

## Problema 1

Dos sistemas de comunicaciones tienen un canal discreto equivalente que se puede escribir como

$$p[n] = a \cdot \delta[n] + b \cdot \delta[n - 1] + c \cdot \delta[n - 2]$$

tomando los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $c$ , los siguientes valores para cada canal

- Canal A:  $a = 1/2$ ,  $b = 1$ ,  $c = 0$ .
- Canal B:  $a = 1$ ,  $b = 0$ ,  $c = 1/2$ .

El transmisor utiliza una modulación 2-PAM con niveles normalizados ( $A[n] \in \{\pm 1\}$ ) y el ruido es blanco y gaussiano con densidad espectral de potencia  $N_0/2$ .

- a) Si se utiliza un detector símbolo a símbolo sin memoria, indique el retardo óptimo para la decisión para ambos canales, y calcule la probabilidad de error de símbolo que se alcanza con dicho detector en el Canal B.
- b) Calcule las prestaciones (estima de la probabilidad de error) en ambos canales, si se utiliza el detector de secuencias de máxima verosimilitud<sup>1</sup>.
- c) Si para el Canal A se recibe la siguiente secuencia de observaciones,

$$q[0] = -1/4, q[1] = +1/2, q[2] = -1, q[3] = +1,$$

y asumiendo que  $A[n] = +1$  para  $n < 0$  y para  $n \geq 3$ , obtenga la secuencia más verosímil aplicando el algoritmo óptimo de decodificación.

(3 puntos)

---

<sup>1</sup>Puede asumir en ambos casos que la secuencia  $A[n] = +1$  para todo  $n$  tiene asociado un suceso erróneo de mínima distancia euclídea.

## Problema 2

En un sistema de comunicaciones se decide ampliar la capacidad de corrección de errores de un código bloque de repetición con matriz generadora  $\mathbf{G} = [1 \ 1 \ 1]$ . Para ello se concatena la salida del código de repetición a la entrada de un código convolucional con la siguiente matriz generadora en polinomios en  $D$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & D & 0 & 0 \\ D & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1+D & D \end{bmatrix}$$

Para el código bloque y convolucional por separado responda a las siguientes preguntas:

- Obtenga las palabras código asociadas al código bloque y su distancia mínima.
- Dibuje el diagrama de bloques del código convolucional y su diagrama de rejilla. Para el diagrama de rejilla no es necesario que etiquete todas las posibles transiciones, es suficiente con etiquetar las transiciones que salen del estado  $\psi_0 = [000]$  y las que regresan al mismo estado  $\psi_0 = [000]$ . ¿Cuál sería la distancia mínima de este código?

Si denominamos  $\mathbf{c}[\ell] = [c_0[\ell] \ c_1[\ell] \ c_2[\ell]]$  a las palabras del código que tenemos a la salida del código bloque en el instante discreto  $\ell$ , y  $\mathbf{B}[\ell] = [B^{(0)}[\ell] \ B^{(1)}[\ell] \ B^{(2)}[\ell]]$  a las palabras de entrada al código convolucional la concatenación se realiza siguiendo el procedimiento de igualar  $B^{(i)}[\ell] = c_i[\ell]$  para  $i = 0 \dots 2$ . Responda a las siguientes preguntas para el código concatenado.

- Obtenga la tasa del código resultante de la concatenación de los dos códigos. Obtenga el diagrama de rejilla resultante de la concatenación de los dos códigos y la distancia mínima del código equivalente.
- Compare la capacidad de corregir errores del código concatenado con la de los dos códigos que lo componen por separado. Discuta si el código concatenado precisa de más o menos ancho de banda que el código bloque para mantener la tasa binaria. Discuta de forma similar para el código convolucional.
- A partir del diagrama de rejilla del código concatenado obtenga el diagrama de bloques y la matriz generadora en polinomios en  $D$  de un código convolucional que se comporte de forma idéntica al código concatenado.

---

(3 puntos)