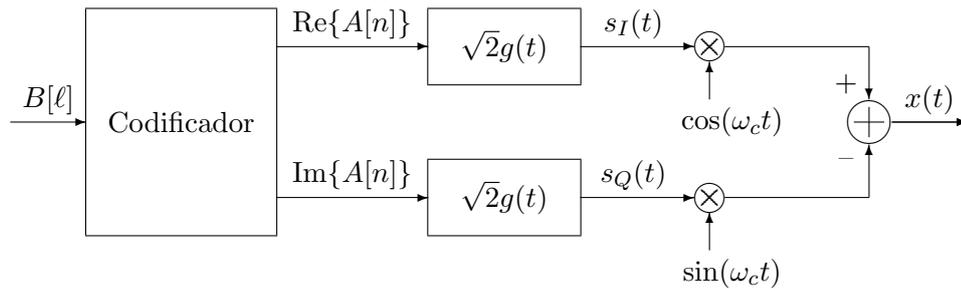


## Comunicaciones Digitales - Problemas Tema 2

1. Problema 5.1 del libro: A. Artés, *et al.*: Comunicaciones Digitales. Pearson Educación, 2007.
2. Problema 5.3 del libro: A. Artés, *et al.*: Comunicaciones Digitales. Pearson Educación, 2007.
3. Problema 5.4 del libro: A. Artés, *et al.*: Comunicaciones Digitales. Pearson Educación, 2007.
4. Problema 5.6 del libro: A. Artés, *et al.*: Comunicaciones Digitales. Pearson Educación, 2007. (No realizar el apartado c)
5. Problema 5.12 del libro: A. Artés, *et al.*: Comunicaciones Digitales. Pearson Educación, 2007.
6. Un sistema digital de comunicaciones emplea el modulador de la figura.



El sistema tiene asignada la banda de frecuencias entre 1 y 4 kHz. En esta banda de frecuencias el canal se comporta como un canal aditivo gaussiano. Diseñe el sistema completo: codificador (utilizando una constelación QAM), filtro transmisor,  $g(t)$ , y frecuencia de portadora,  $\omega_c$ , para realizar la transmisión sin ISI a una velocidad binaria de 9600 bits/s ocupando al máximo la banda de frecuencias asignada.

7. Un sistema de comunicaciones en banda base utiliza una constelación BPSK,  $A[n] \in [\pm 1]$ , y el siguiente pulso conformador

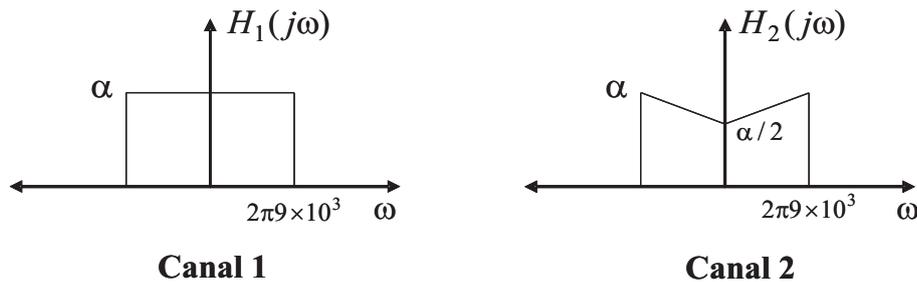
$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T}}, & -\frac{T}{2} < t < 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{T}}, & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ 0 & |t| \geq \frac{T}{2} \end{cases}$$

La señal modulada se transmite a través de un canal lineal con respuesta al impulso

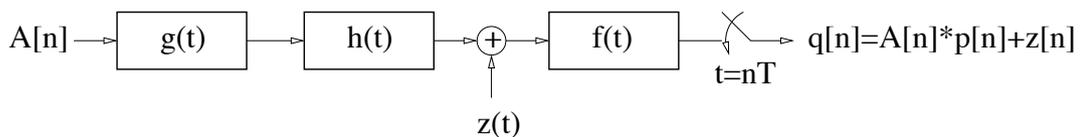
$$h(t) = \delta(t) + \delta(t - T/2),$$

y el receptor emplea un filtro adaptado al filtro transmisor. El ruido a la entrada del receptor es blanco, gaussiano, y con densidad espectral de potencia  $N_0/2$ .

- a) Calcule el canal discreto equivalente del sistema,  $p[n]$ .
  - b) Obtenga la densidad espectral de potencia de la secuencia de ruido discreto  $z[n]$  presente a la salida del demodulador (explique bien el procedimiento), y calcule la probabilidad de error con un decisor símbolo a símbolo.
8. Un sistema de transmisión en banda base envía la señal transmitida por uno de los dos canales siguientes.



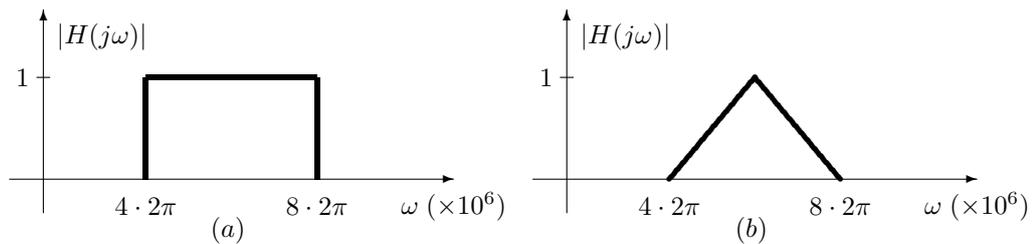
- a) Diseñe para el Canal 1 los filtros conformadores en transmisión y en recepción para que no exista interferencia intersimbólica y el ruido muestreado a la salida del filtro receptor sea blanco.
  - b) Diseñe los filtros conformadores en transmisión y en recepción para que no exista interferencia intersimbólica en el Canal 2.
  - c) Diseñe para el Canal 2 los filtros conformadores en transmisión y en recepción para que el ruido muestreado a la salida del filtro receptor sea blanco.
  - d) Calcule la máxima velocidad de transmisión sin ISI en ambos canales.
9. La figura siguiente muestra el diagrama de bloques de un sistema de transmisión PAM en banda base. En este esquema,  $A[n]$  representa la secuencia de símbolos transmitidos ( $A[n] \in \{\pm 1\}$ ),  $g(t)$  es un filtro en raíz de coseno alzado,  $h(t)$  es la respuesta al impulso del canal lineal,  $z(t)$  es ruido AWGN con densidad espectral de potencia  $N_0/2$ ,  $f(t)$  es el filtro receptor,  $T$  es el periodo de símbolo y  $q[n]$  son las muestras obtenidas en el receptor,  $p[n]$  es el canal discreto equivalente y  $z[n]$  son las muestras de ruido.



- a) Si  $f(t)$  se diseña para que  $k(t) = g(t) * f(t)$  cumpla el criterio de Nyquist, exprese  $f(t)$  en función de  $g(t)$  y calcule la densidad espectral de potencia del ruido  $z[n]$ .

- b) Si  $h(t) = \delta(t) - \frac{1}{10}\delta(t - 2T)$ , calcule la respuesta al impulso del canal discreto equivalente.
- c) En las condiciones del apartado (b), ¿existe interferencia intersimbólica en este sistema? Justifique su respuesta.
- d) Suponiendo que  $g(t) = f(t) = 1/\sqrt{T}$  si  $t \in [0, T]$  y  $f(t) = g(t) = 0$  en caso contrario (es decir,  $f(t)$  y  $g(t)$  son pulsos cuadrados idénticos con soporte en  $[0, T]$ ), dibuje el diagrama de ojo del sistema de transmisión en ausencia de ruido.
- e) Suponga ahora un canal  $h(t)$  genérico, no necesariamente el del apartado (b). ¿Qué condición debe cumplir el canal  $h(t)$  para que sea posible eliminar la interferencia intersimbólica del sistema mediante el adecuado diseño del receptor  $f(t)$ ?

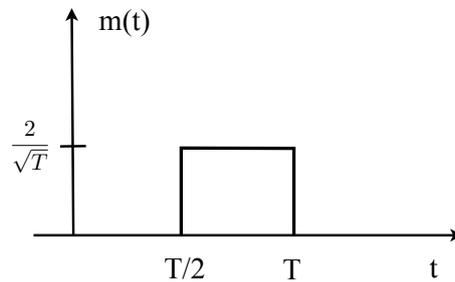
10. Se tienen las siguientes dos respuestas en frecuencia para un canal de comunicaciones.



- a) Indique si es posible, utilizando una modulación QAM, transmitir sin ISI y conseguir que el ruido a la salida del demodulador sea blanco utilizando en el receptor un filtro adaptado al transmisor y, en caso afirmativo, calcule la máxima velocidad de símbolo alcanzable y especifique los pulsos conformadores a utilizar, transmitiendo sobre el canal de la figura (a) y sobre el canal de la figura (b).
  - b) Se desea transmitir a una velocidad de 10 Mbits/s utilizando una modulación PSK, sobre el canal de la figura (a), con filtros de raíz cuadrada de coseno alzado en el transmisor y receptor. Seleccione el menor número de símbolos posible de la constelación PSK para alcanzar dicha velocidad y calcule la tasa de símbolo resultante.
  - c) Dada la constelación del apartado anterior, calcule el rango de posibles valores del factor de caída de los filtros en raíz cuadrada de coseno alzado teniendo en cuenta el ancho de banda disponible y, de entre los posibles valores, seleccione el adecuado para minimizar el efecto de posibles errores en el instante de muestreo en el receptor.
11. Un sistema de comunicaciones utiliza un filtro en coseno alzado en el transmisor para una modulación PAM en banda base con un factor de roll-off  $\alpha$ . En el receptor hay un filtro adaptado al transmisor. Asuma que el canal es AWGN con

respuesta al impulso  $h(t)$  y ruido con DEP  $N_0/2$ . El ancho de banda del canal es de 4 kHz.

- a) Muestre que el ruido muestreado a la salida del filtro adaptado es blanco.
  - b) Obtenga la máxima tasa de transmisión sin que se presente ISI y obtenga el factor de roll-off necesario para obtener dicha tasa.
  - c) Dibuje la DEP de la señal transmitida para los siguientes dos casos:
    - La secuencia  $A[n]$  es blanca con energía media por símbolo  $E_s$
    - La secuencia  $A[n]$  tiene una DEP  $S_A(e^{j\omega}) = 1 + \cos(\omega)$ .
  - d) Si el factor de roll-off usado es  $\alpha = 0.25$  transmitiendo a la máxima tasa de símbolo posible sin que haya ISI, obtenga el número de símbolos  $M$  necesario para obtener una tasa binaria de 19200 bits por segundo.
12. Un sistema de comunicaciones digital utiliza como filtro transmisor  $g(t)$  un pulso en raíz de coseno alzado normalizado y con un factor de caída  $\alpha$ . El receptor utiliza un filtro adaptado al filtro transmisor.
- a) Si la respuesta del canal por el que se transmite es  $h(t) = \delta(t) + \frac{1}{4} \cdot \delta(t - 2T)$ , calcule el canal discreto equivalente para el sistema y la probabilidad de error si se utiliza una modulación en banda base con una constelación 2-PAM con niveles normalizados ( $A[n] \in \{\pm 1\}$ ).
  - b) El canal es un canal en banda base con un ancho de banda de 10 kHz, y se desea transmitir a una velocidad binaria de 54 kbits/s utilizando una modulación  $M$ -PAM en banda base.
    - 1) Calcule el mínimo orden de la constelación (número de símbolos  $M$ ) que permite alcanzar dicha velocidad.
    - 2) Calcule la velocidad de símbolo para obtener dicha tasa binaria con ese valor de  $M$ .
    - 3) Calcule, para ese  $M$ , el valor de  $\alpha$  que permite utilizar todo el ancho de banda disponible.
  - c) Repita el apartado anterior si el canal es paso banda y la constelación es una  $M$ -QAM.
13. Una modulación lineal en banda base utiliza en transmisión un pulso causal rectangular de duración  $T$  y normalizado en energía. Dicha modulación se transmite por un canal con respuesta impulsiva  $h(t) = \delta(t) - 0.5\delta(t - \frac{T}{2})$ .
- En el receptor se consideran dos escenarios diferentes para los pulsos conformadores. En el primer escenario se utiliza un filtro adaptado al pulso transmisor. En el segundo escenario se utiliza un filtro adaptado al siguiente pulso:
- a) Obtenga el canal discreto equivalente en ambos casos.



- b) En el segundo escenario, razone si el ruido muestreado a la salida del segundo receptor es blanco.
- c) Discuta, desde el punto de vista de ISI y ruido muestreado en el receptor cuál de los dos filtros receptores es más adecuado.
14. Un sistema de comunicaciones digital tiene asignado para su utilización el rango de frecuencias entre 30 y 40 MHz. El tipo de modulación que se empleará será una modulación  $M$ -QAM. Tanto el transmisor como el receptor utilizarán filtros en raíz de coseno alzado con factor de caída (*roll-off*)  $\alpha$ .
- a) Obtenga la máxima velocidad de símbolo para la transmisión sin interferencia intersimbólica (ISI) por dicho canal, e indique el valor de  $\alpha$  que permite obtener dicha velocidad.
- b) Si se desea sobre dicho canal transmitir a una velocidad binaria de 36 Mbits/seg, obtenga el mínimo orden de la constelación (número de símbolos,  $M$ , de la misma) necesario para su transmisión.
- c) Si se transmite a la máxima velocidad de símbolo posible sin ISI, represente la densidad espectral de potencia de la señal modulada en los siguientes casos:
- i) Si la secuencia transmitida,  $A[n]$ , es blanca
  - ii) Si la secuencia transmitida tiene la siguiente función de autocorrelación

$$R_A[k] = 2 \cdot \delta[k] + \delta[k - 1] + \delta[k + 1].$$