

## Problemas Tema 1

### Modulaciones Lineales

Son aquellas modulaciones paso banda cuya señal transmitida admite la representación

$$s(t) = \sum_n a_I[n] \psi_1(t - nT) + a_Q[n] \psi_2(t - nT)$$

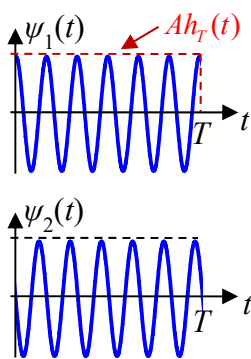
donde

$$\psi_1(t) = +Ah_T(t) \cos(2\pi f_c t)$$

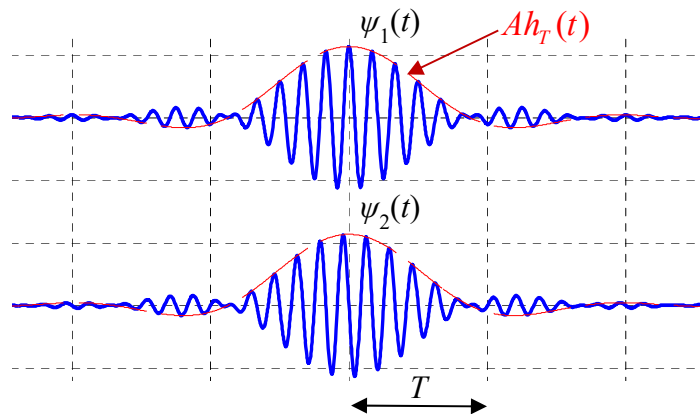
$$\psi_2(t) = -Ah_T(t) \sin(2\pi f_c t)$$

Se trata de un espacio de señal de dimensión  $N = 2$ . Se representan a continuación las bases ortonormales para el caso de utilizar filtros rectangulares (NRZ) y filtros en raíz cuadrada de coseno alzado (SQRRC)

Filtros NRZ



Filtros SQRRC



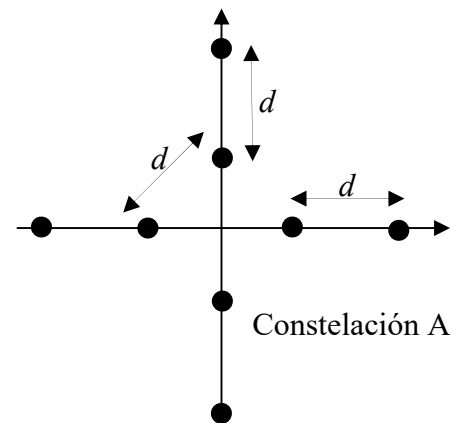
1. Para la modulación lineal 8PSK en presencia de AWGN
  - a) Dibuje la constelación de símbolos y un esquema del receptor óptimo especificando claramente los filtros que intervienen y el decisor.
  - b) Determine la probabilidad de error de bit en función de  $E_b$  y  $N_0$ .
  - c) Si considera que se emplean filtros NRZ en el transmisor, dibuje la señal I, la señal Q y la amplitud de la envolvente transmitidas.
  
2. Repita el ejercicio 1 para la modulación 16QAM.

### 3. Considere la **modulación no lineal** FSK.

- a) Dibuje la constelación de símbolos y un esquema del receptor óptimo especificando claramente los filtros que intervienen y el decisor.
- b) Determine la probabilidad de error de bit en función de  $E_b$  y  $N_0$ .

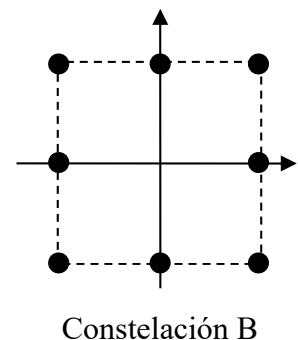
4. Se considera implementar un sistema de comunicaciones empleando las constelaciones 8QAM de la figura (Constelación A).

- Expresar la energía media de símbolo en función de la distancia mínima,  $d$ .
- Dibujar las regiones de decisión óptimas.
- Obtener la expresión de la probabilidad de error de símbolo en función de la energía media de símbolo y de  $N_0$ . Para ello considere únicamente los símbolos situados a la distancia mínima.

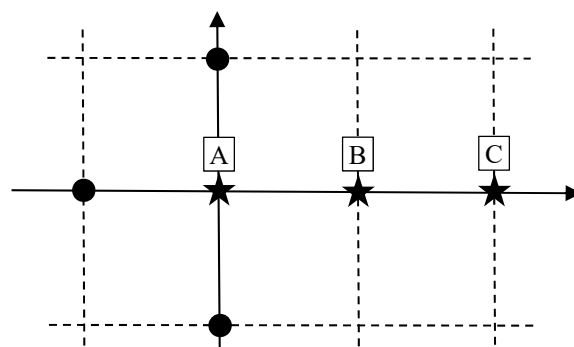


Si el régimen binario es 1 Mbit/s, la potencia recibida -90 dBm y la densidad espectral de potencia de AWGN es  $N_0 = 2 \cdot 10^{-19}$  W/Hz.

- ¿Cuál de las dos constelaciones de la figura proporciona una mejor probabilidad de error de símbolo?
- ¿Cuánta potencia recibida sería necesaria en el sistema A para obtener la misma probabilidad de error que el sistema B?



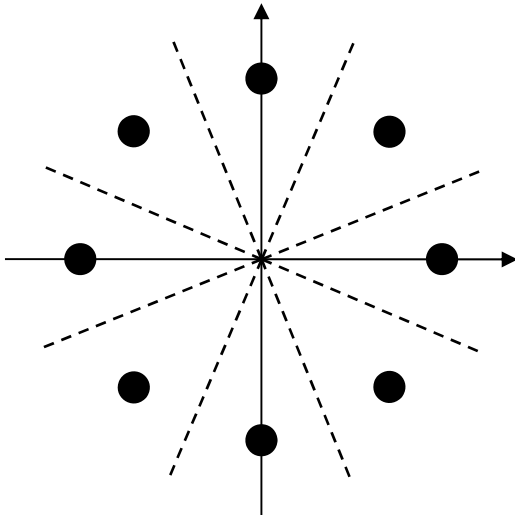
5. La constelación de una modulación lineal está compuesta por 4 símbolos equiprobables. Los tres primeros se representan en la figura mediante puntos negros mientras que la posición del cuarto símbolo es configurable, pudiéndose elegir entre una de las 3 posiciones marcadas con una estrella y etiquetadas como A, B y C.



- ¿Cuál de las tres posiciones elegiría para el 4º símbolo?
- Dibujar las regiones de decisión de la constelación elegida.
- Para la constelación con el símbolo C, asignar una codificación Gray a cada uno de los cuatro símbolos. Considerando que se emplean filtros NRZ en el transmisor, dibujar la señal I, la señal Q y la amplitud de la envolvente al transmitir la secuencia binaria 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0.

## Soluciones Problemas Tema 1

1.



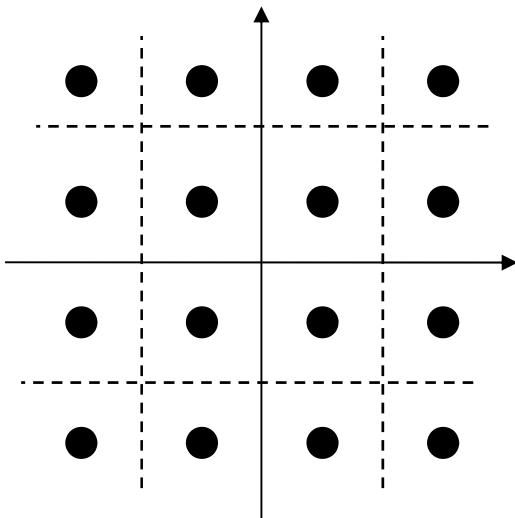
Constelación 8PSK y fronteras del decisor.

El receptor óptimo es el del esquema de la página 16 del Tema 1 con los filtros adaptados a las bases  $\psi_1(t)$  y  $\psi_2(t)$  de las modulaciones lineales y con el decisor según la figura.

$$P_e^{8PSK}(simb) \approx 2Q \left( \sqrt{\frac{2E_s}{N_0}} \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \right)$$

$$P_e^{8PSK}(bit) \approx \frac{2}{3}Q \left( \sqrt{\frac{6E_b}{N_0}} \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \right)$$

2.



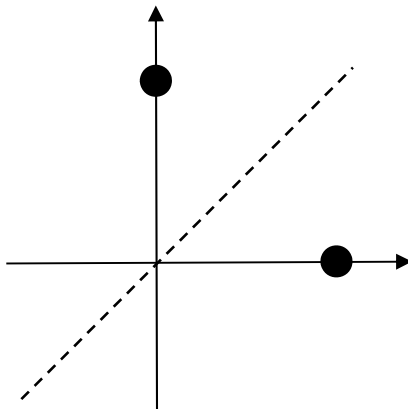
Constelación 16QAM y fronteras del decisor.

El receptor óptimo es el del esquema de la página 16 del Tema 1 con los filtros adaptados a las bases  $\psi_1(t)$  y  $\psi_2(t)$  de las modulaciones lineales y con el decisor según la figura.

$$P_e^{16QAM}(simb) \approx 3Q \left( \sqrt{\frac{E_s}{5N_0}} \right)$$

$$P_e^{16QAM}(bit) \approx \frac{3}{4}Q \left( \sqrt{\frac{4E_b}{5N_0}} \right)$$

3.



Constelación FSK y frontera del decisor.

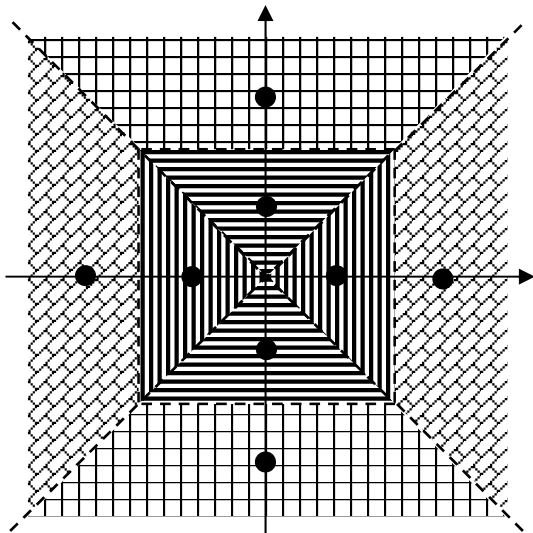
El receptor óptimo es el del esquema de la página 16 del Tema 1 con el decisor según la figura y los filtros adaptados a

$$\psi_1(t) = \sqrt{2/T} \cos(2\pi f_1 t), \quad 0 \leq t \leq T.$$

$$\psi_2(t) = \sqrt{2/T} \cos(2\pi f_2 t), \quad 0 \leq t \leq T.$$

$$P_e^{FSK}(bit) = Q \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$$

4.



$$E_s = \frac{2+\sqrt{2}}{2}d^2$$

$$P_e^A(\text{simb}) \approx Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{(2+\sqrt{2})N_0}}\right)$$

$$d) P_e^B(\text{simb}) \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{3N_0}}\right) = 2Q\left(\sqrt{\frac{P_{RX}}{R_b N_0}}\right) = 2Q(\sqrt{5})$$

$$P_e^A(\text{simb}) \approx 2Q(\sqrt{4.4})$$

Es menor la SER de la constelación B

$$e) P_{RX}^A = P_{RX}^B + 0.56 \text{ dB} = -89.44 \text{ dBm} = 1.14 \text{ pW}$$

5.

$$a) P_e^A(\text{simb}) \approx \frac{3}{2}Q\left(\sqrt{\frac{2E_s}{3N_0}}\right), \quad P_e^B(\text{simb}) \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right), \quad P_e^C(\text{simb}) \approx Q\left(\sqrt{\frac{4E_s}{7N_0}}\right)$$

Elegiría la constelación con símbolo en la posición B.

b)

