

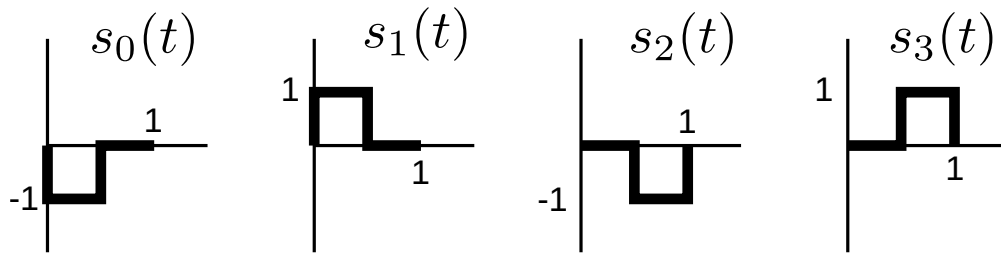
**Grado en Ingeniería Informática**  
**Software de Comunicaciones (SC)**

# **TGR 1**

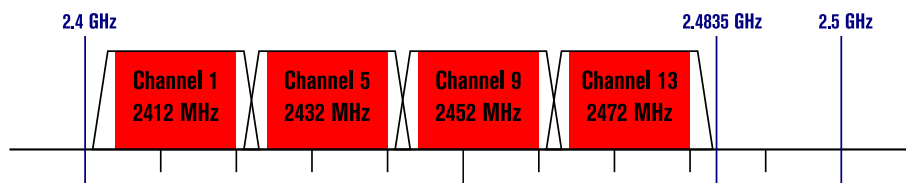
## **Modulaciones digitales**

Curso 2019-20  
Fecha de entrega: 20/03/2019

1. Diseñamos una modulación para un sistema de comunicaciones con las siguientes formas de onda:

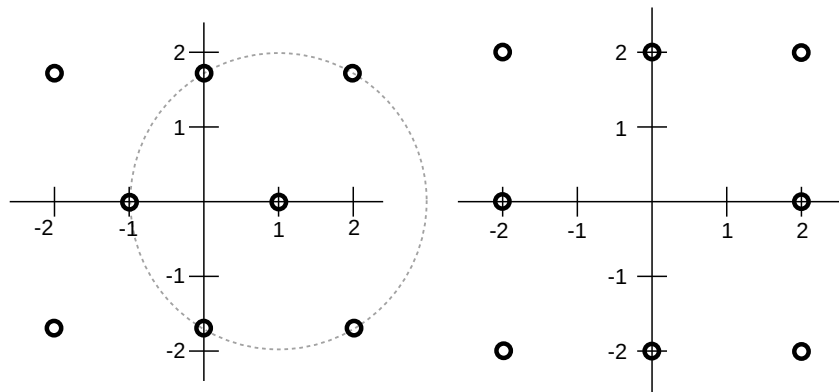


- (a) Encuentra una base ortonormal para la modulación.
  - (b) Halla la representación vectorial de las señales de la modulación y dibuja la constelación.
  - (c) En cuanto a eficiencia espectral, ¿es mejor o peor que una modulación 4-PAM?
2. Pretendemos enviar tramas de bits a una velocidad de 1 MBs ( $B \equiv \text{byte}$ ) por un cable cuya banda base está limitada a 1 MHz (es decir, permite la transmisión de señales de hasta 1 MHz de ancho de banda).
    - (a) ¿Podemos hacerlo con una modulación 4-PPM?
    - (b) ¿Y con una 4-PAM?
    - (c) ¿Podemos hacerlo con alguna  $M$ -PPM? Si es así, ¿para qué valores de  $M$ ?
    - (d) ¿Podemos hacerlo con alguna  $M$ -PAM? Si es así, ¿para qué valores de  $M$ ?
  3. Gigabit Ethernet utiliza el estándar 1000BASE-T para transmitir a través de cables de cobre. 1000BASE-T utiliza una modulación 5-PAM para transmitir 2 bits por símbolo (cuatro símbolos para cada posible secuencia de 2 bits y el quinto símbolo para corrección de errores, por lo que a efectos de este ejercicio puede considerarse como una 4-PAM).  
Un cable para gigabit ethernet está formado por 4 pares trenzados de cobre (creando 4 canales en paralelo). ¿Qué ancho de banda mínimo debe tener cada par trenzado para permitir la transmisión de 1Gbit/s a través del cable?
  4. El estándar WiFi 802.11g permite transmitir usando modulaciones BPSK (2-PSK), QPSK (4-PSK), 16-QAM y 64-QAM. Las frecuencias utilizadas están en torno a los 2.4GHz, con anchos de banda de 20MHz por cada posible canal. El punto de acceso elige uno de los posibles canales intentando minimizar el número de interferencias y deja sin usar el resto.

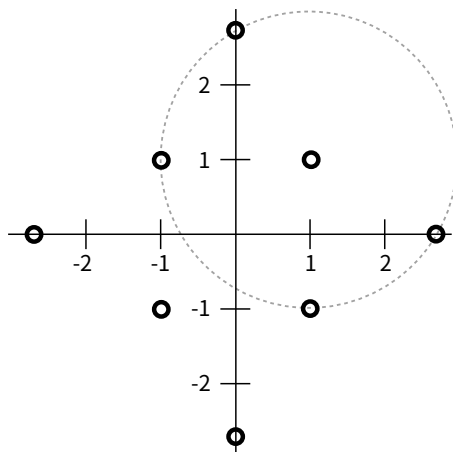


¿Qué velocidades teóricas máximas se pueden conseguir con cada una de las modulaciones admitidas en el estándar?

5. a) Nos gustaría enviar una fotografía que ocupa 5 MB (MegaBytes) a través de un canal con un ancho de banda de 1 MHz utilizando una modulación PSK. Si queremos que la transmisión no dure más de 10 segundos, ¿cuántos niveles vamos a necesitar como mínimo?
- b) En ese caso, ¿sería más conveniente usar una modulación QAM? ¿Por qué?
6. Queremos enviar 3 bits por símbolo a través de un canal inalámbrico. Pretendemos usar una modulación QAM, por lo que diseñamos las siguientes constelaciones 8-QAM (utiliza el círculo sombreado como referencia):



- (a) Halla la expresión de las 8 señales  $s_i(t)$  de la modulación de la derecha (exprésalo en función de  $p(t)$  y asume  $E_p = 2$ ).
- (b) Halla distancia mínima entre 2 símbolos cualesquiera para cada modulación.
- (c) Calcula la energía media de símbolo  $E_s$  de cada una de ellas.
- (d) ¿Qué modulación crees que es mejor? ¿Por qué?
- (e) Calcula la distancia mínima y la energía de la siguiente 8-QAM. ¿Es mejor o peor que las anteriores?



7. Queremos enviar bits a través de un cable utilizando una modulación 4-PAM y mapeado de Gray. El cable se comporta según el modelo AWGN.

(a) ¿Cuál es el valor de  $E_b/N_0$  mínimo en el cable si queremos alcanzar una probabilidad de error de bit de  $p_b = 10^{-3}$ ?

(b) ¿Y para  $p_b = 10^{-4}$ ?

(c) Repite los cálculos para 8-PAM.

(Nota: Matlab y Octave implementan `erfcinv`, la recíproca de la función `erfc`. Es decir, si `y=erfcf(x)`, `x=erfcfinv(y)`.)