

# TEMA 6

## COMUNICACIONES DIGITALES

# Modulación lineal vs no lineal

- PAM paso banda

$$\bar{s}_k(t) = a_k p(t)$$

- Las únicas diferencias con la PAM en banda base es que la expresión describe la envolvente compleja, y que  $a_k$  toma ahora valores complejos. Alternativamente:

$$s_k(t) = I_k \cdot p(t) \cdot \cos \omega_0 t - Q_k \cdot p(t) \cdot \text{sen} \omega_0 t$$

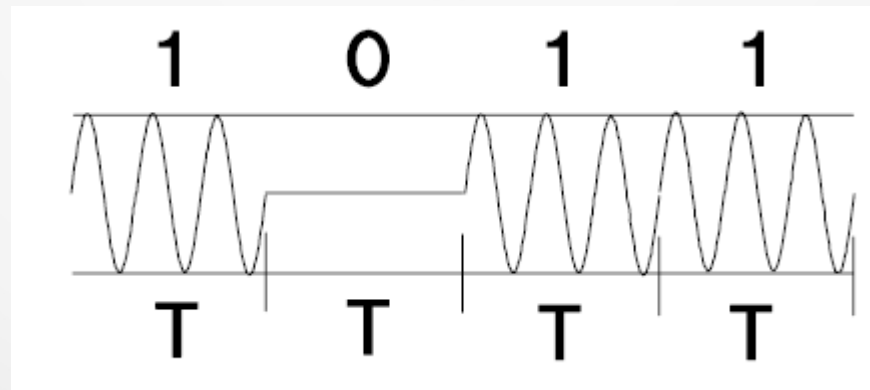
- Con esta definición, es lo mismo hablar de modulaciones PAM o modulaciones lineales (ASK, PSK, QAM)
- Usaremos el espacio de señal ortogonal (I,Q)

# Modulación lineal vs no lineal

- En otros casos, la forma de la señal enviada es diferente para miembro del alfabeto. No sólo se varía el escalado de los canales en fase en cuadratura, también la forma de la señal → modulaciones no lineales (FSK)

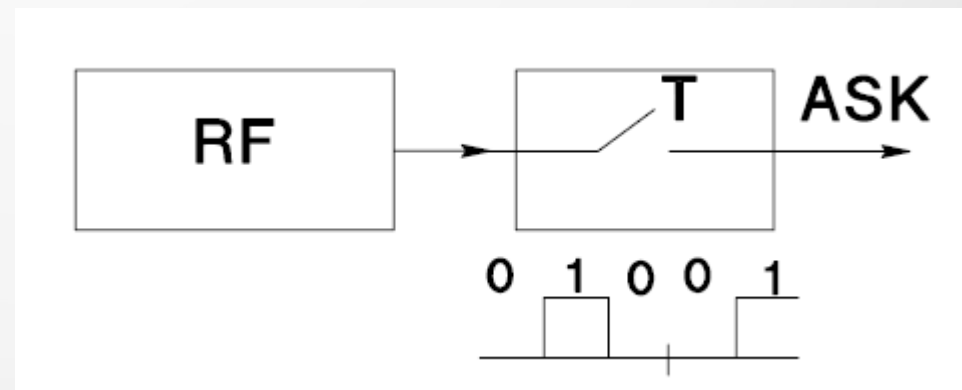
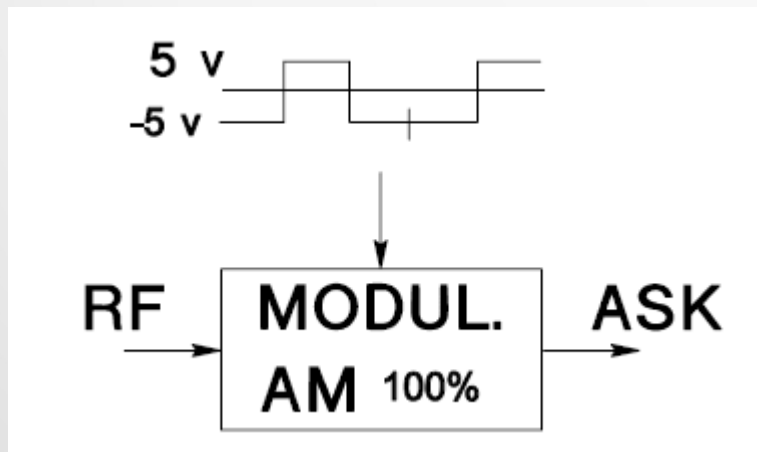
# ASK

- Versión digital de AM
- Enviar, cada  $T$  segundos, una de entre  $M$  sinusoides (misma frecuencia, diversas amplitudes, incluyendo la nula)
- ASK binaria = OOK (On-Off Keying)



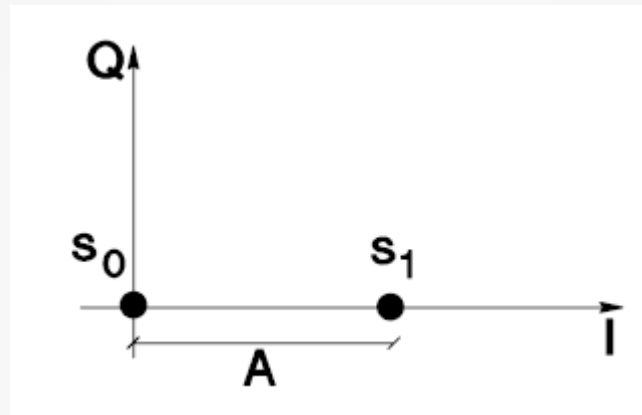
# ASK

- Generación
  - ASK binaria modulando en amplitud, al 100%, una portadora con un código NRZ bipolar
  - ASK binaria modulando en DBL un código NRZ unipolar
  - Mediante switch que interrumpa o no la transmisión de una portadora, en función de los datos



# ASK

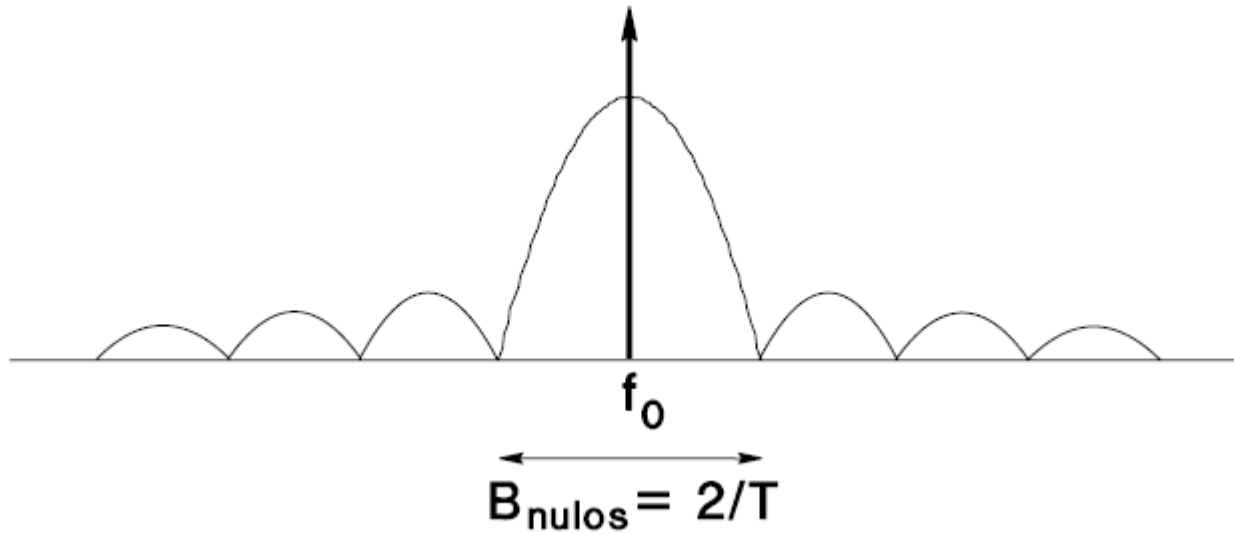
- Constelación



- Demodulación
  - similar a la de AM
  - Diodo detector (incoherente)
  - Multiplicación por coseno (coherente) → receptor digital óptimo

# ASK

- Espectro



# ASK

- Prestaciones
  - Muy bajas, pero muy sencilla
  - No es óptima frente a ruido (centrando constelación ganamos 3dB de potencia de tx)
  - Ortogonal ( $\rho=0$ ) para el caso binario, pero  $\rho=1$  para muchas parejas de símbolos en multinivel
  - Eficiencia de potencia del 50%
  - No envolvente constante



# QAM (QASK)

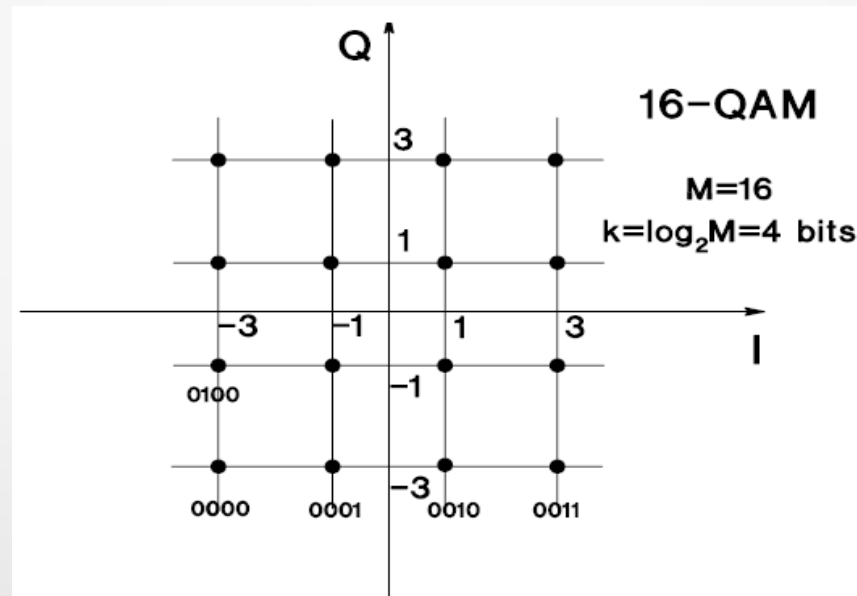
- Distintas versiones en función del número de símbolos
- Modulación de amplitud multinivel tanto de la componente en fase como de la componente en cuadratura

$$s_k(t) = I_k \cdot p(t) \cdot \cos \omega_0 t - Q_k \cdot p(t) \cdot \sin \omega_0 t$$

- $p(t)$  es un pulso básico de valor 1 y duración  $T$  segundos
- $I_i$  y  $Q_i$  pueden tomar una serie de valores discretos (la cantidad de valores posibles será normalmente una potencia de 2), equiespaciados y simétricamente distribuidos alrededor de 0:  $I_i, Q_i = A \{\pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots\}$

# QAM

- Ej:
  - $A=1$  y cada "canal" (I y Q) se modula con 4 niveles
  - $I = Q = \{-3, -1, 1, 3\}$
  - Alfabeto formado por 16 símbolos
  - cada símbolo transporta  $k = \log_2 M = 4$  bits

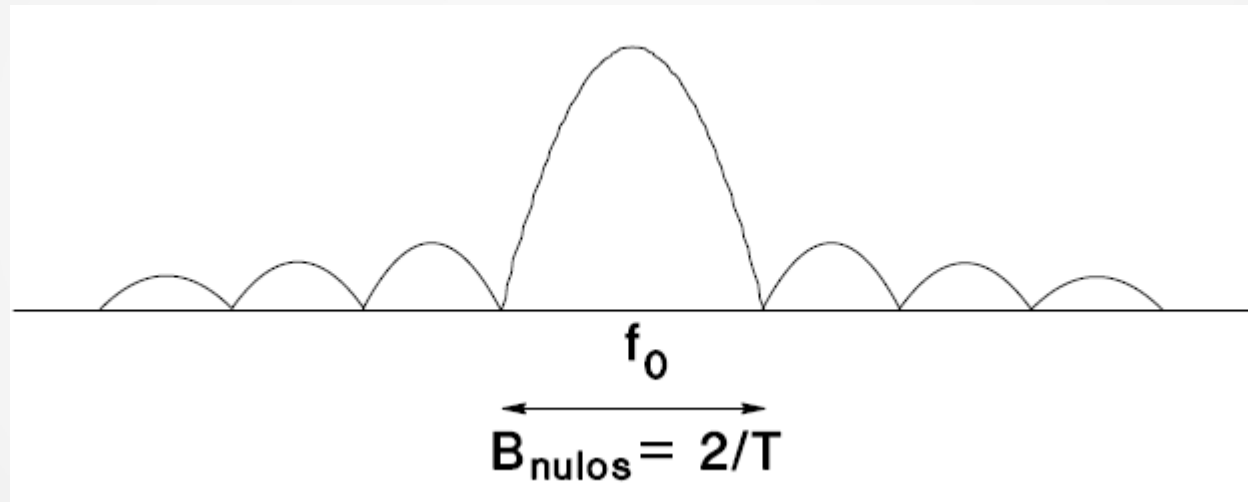


# QAM

- Si el número de niveles posibles en cada canal es potencia de 2  $\rightarrow$  asignar la mitad de los bits de cada símbolo al canal I y la otra al canal Q. Si  $2^b$  niveles en cada canal, el número de símbolos en el sistema será:  $(2^b)^2 = 2^{2b}$ .
- Actualmente: 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM y 4096-QAM

# QAM

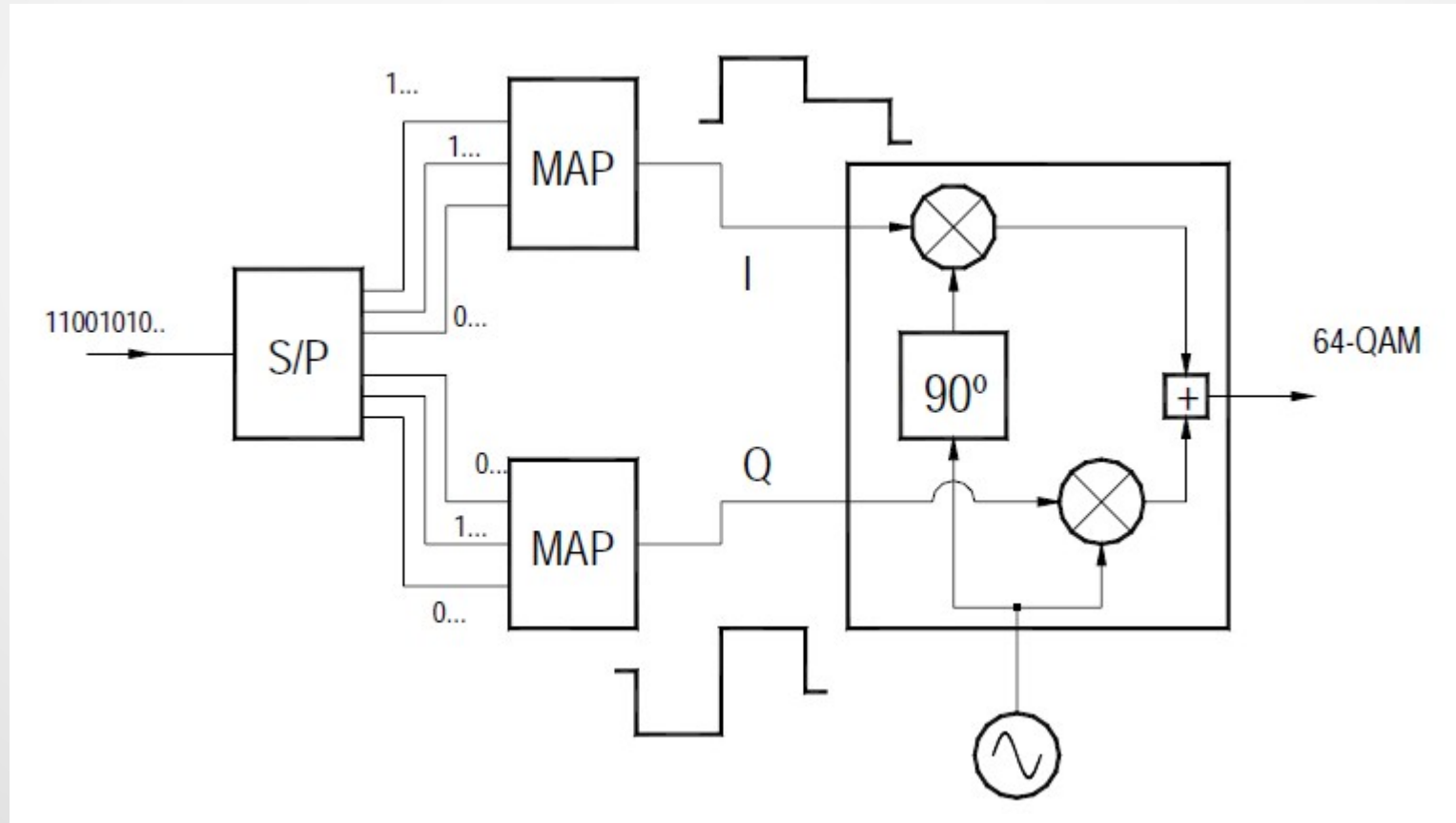
- Espectro
  - Depende de  $V_s$ , no de  $V_t$



- Cuantos más símbolos, más eficiencia espectral, pero menos robusto ante el ruido
- 4-QAM tiene envolvente constante (QPSK)

# QAM

- Generación
  - Modulador I-Q



# QAM

- Recepción
  - Información en amplitud y fase → demod. coherente

