

# PRACTICA 5. MODULACIONES DIGITALES

Se simularán con Matlab diversas modulaciones digitales de las familias PSK y QAM, utilizando como filtro transmisor pulsos rectangulares o coseno alzado. En cada caso se visualizará la forma de onda, el diagrama de ojo, la constelación y el espectro de la señal banda base equivalente. Asimismo, se analizará el efecto del ruido térmico sobre la señal recibida.

Anote el valor del régimen simbólico proporcionado por el profesor:

- Régimen simbólico,  $R_s = 1200$  baudios.

## I. Filtro transmisor: pulsos rectangulares

Abra el script `LTC_P5_Rect.m` y configure una modulación BPSK. Ejecute el script y visualice la constelación, las formas de onda en fase y cuadratura y el diagrama de ojo. Deberá hacer lo mismo con las siguientes modulaciones: QPSK, 8PSK fase inicial  $0^\circ$ , 8PSK fase inicial  $\pi/8$ , 16QAM y 64QAM. Rellene las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Visualización de forma de onda. Número de niveles en fase y cuadratura

	BPSK	QPSK	8PSK $0^\circ$	8PSK $\pi/8$	16QAM	64QAM
Nº Niveles I	2	2	5	4	4	8
Nº Niveles Q	1	2	5	4	4	8

Tabla 2. Diagrama de ojo. Número de ojos apilados en vertical

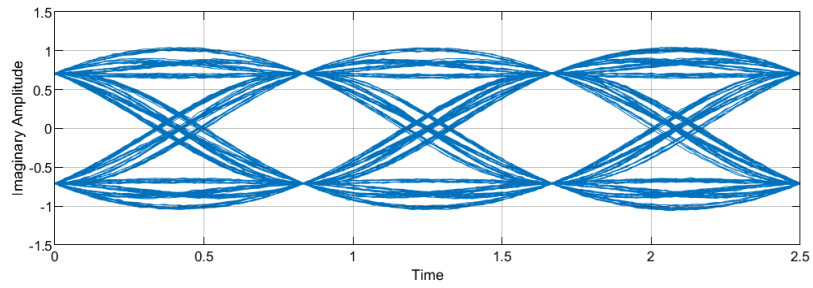
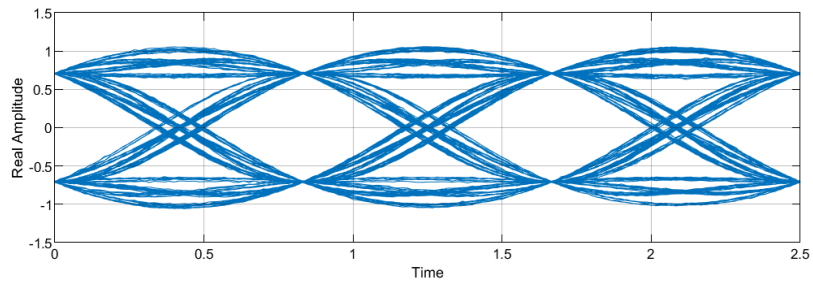
	BPSK	QPSK	8PSK $0^\circ$	8PSK $\pi/8$	16QAM	64QAM
Nº de ojos en I	1	1	4	3	3	7
Nº de ojos en Q	0	1	4	3	3	7

## II. Filtro transmisor: coseno alzado

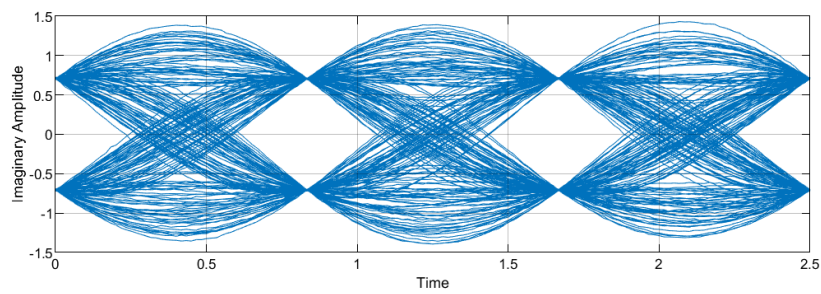
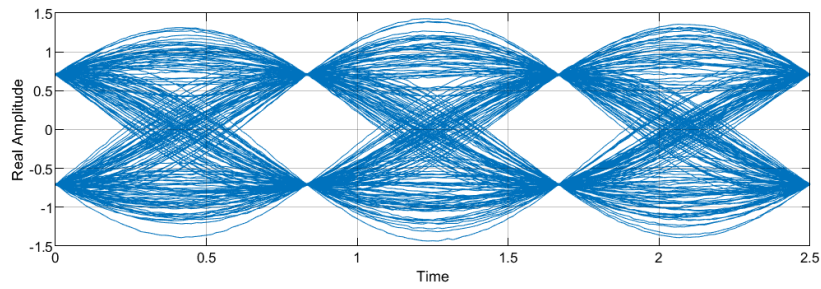
Abra el script `LTC_P5_CosenoAlzado.m` y configure una modulación QPSK con factor de coseno alzado, *roll-off*,  $\alpha = 0,5$ . Ejecute el script y visualice las formas de onda IQ y el diagrama de ojo.

Cambie el factor de coseno alzado a 0,2 y 0,8 y visualice las nuevas figuras. Note como las señales I y Q en el dominio del tiempo presentan flancos temporales más suaves según  $\alpha$  se va haciendo mayor; y cómo aumenta el ancho de banda ocupado con al incrementar  $\alpha$ . Copie a continuación los diagramas de ojo para los tres factores de *roll-off*.

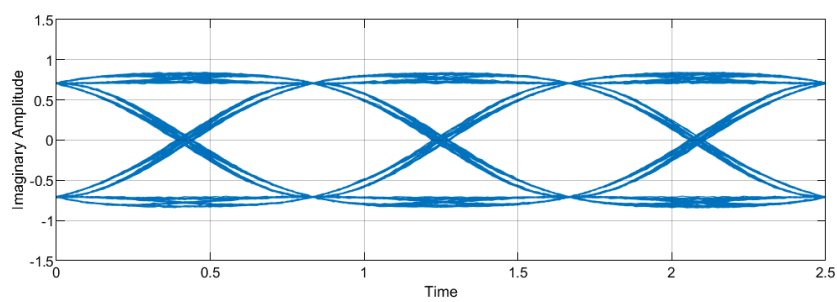
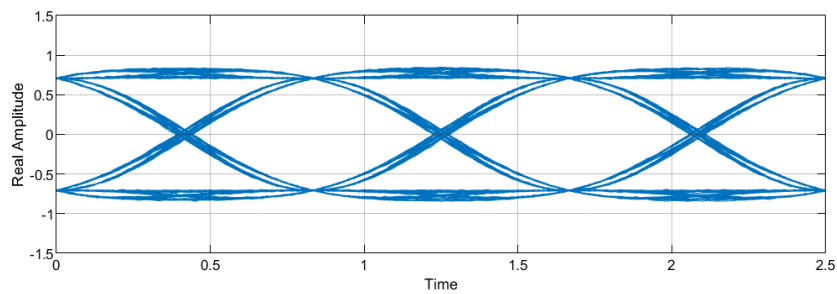
$$\alpha = 0,5$$



$\alpha = 0,2$



$\alpha = 0,8$



### III. Espectro

Deberá determinar de manera aproximada el ancho de banda ocupado por una señal modulada QPSK con diversos filtros transmisores, y compararlo con el valor teórico. Rellene la Tabla 3.

Notas:

- El ancho de banda teórico es  $B = 2 \cdot R_s$  para pulsos rectangulares y  $B = R_s \cdot (1 + \alpha)$  para coseno alzado.
- Para medir el ancho de banda con coseno alzado se aconseja seleccionar puntos que estén unos 20 dB por debajo del máximo.

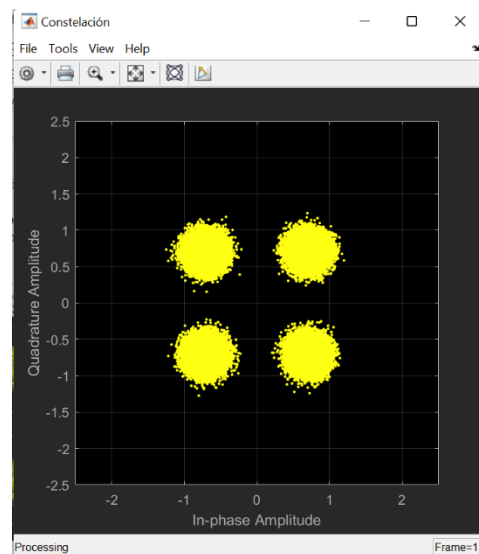
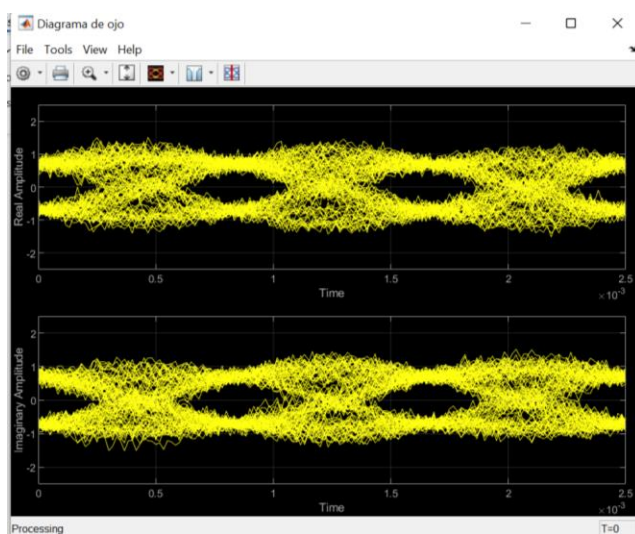
Tabla 3. Ancho de banda ocupado

	Pulsos rectangulares (entre nulos)	Coseno alzado $\alpha = 0,2$	Coseno alzado $\alpha = 0,5$	Coseno alzado $\alpha = 0,8$
Valor teórico (Hz)	2400	2880	3600	4320
Valor medido (Hz)	2692 Hz	2868 Hz	3604 Hz	4340 Hz

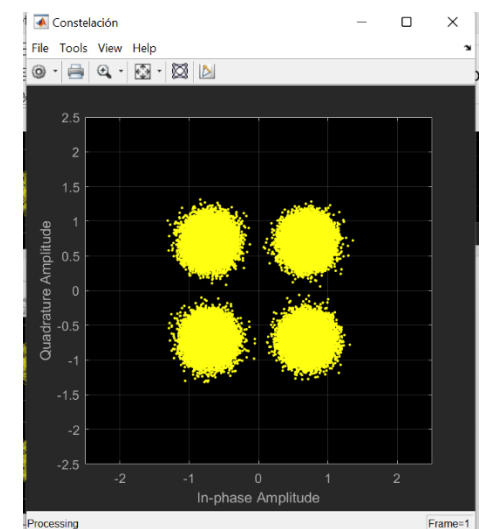
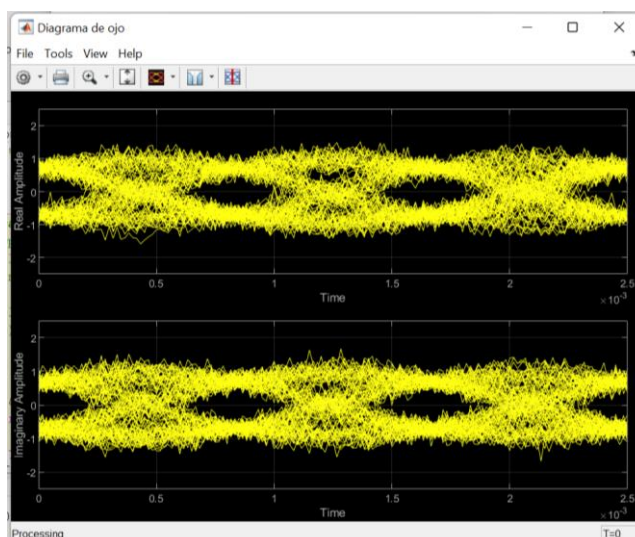
### IV. Estudio de la influencia del ruido

Abra el script LTC\_P5\_Ruido.m y configure una modulación QPSK con factor de coseno alzado  $\alpha = 0,3$ . Seleccione una relación  $E_b/N_0$  de 12 dB y visualice las diversas figuras generadas por el script. Repita con una relación de 10 y 8 dB. Compare los resultados obtenidos (dispersión en la constelación, apertura del ojo...) y coméntelos brevemente.

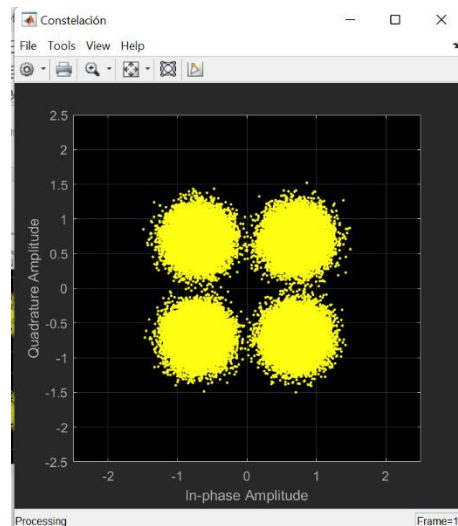
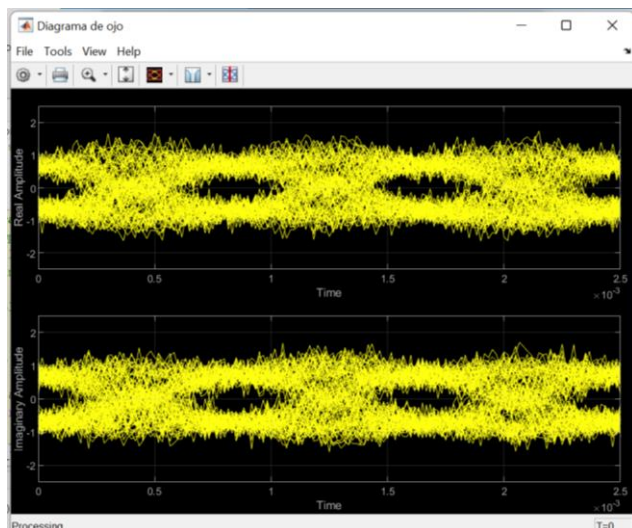
$E_b/N_0 = 12$  dB



$E_b/N_0 = 10$  dB



$$E_b/N_0 = 8 \text{ dB}$$



En la ventana de comandos de Matlab podrá consultar el número de símbolos transmitidos y el número de bits que se han recibido erróneamente. A partir de esos valores calcule la tasa de error de bit ( $BER$ ) medida y rellene la fila correspondiente en la Tabla 4. Complete dicha tabla con el valor teórico (use la fórmula vista en clase:  $P_b \approx (1/2) \cdot \text{erfc}(\sqrt{e_b/n_0})$ ) y con el valor proporcionado por Matlab, que emplea una fórmula algo más exacta.

```
Command Window
>> LTC_P5_Ruido
Longitud de la trama transmitida: 10000000 simbolos
Número de bits erróneos: 0
Valor teórico de Pb para Eb/N0 = 12 dB: 9.00601e-09
>> LTC_P5_Ruido
Longitud de la trama transmitida: 10000000 simbolos
Número de bits erróneos: 64
Valor teórico de Pb para Eb/N0 = 10 dB: 3.87211e-06
>> LTC_P5_Ruido
Longitud de la trama transmitida: 10000000 simbolos
Número de bits erróneos: 3805
Valor teórico de Pb para Eb/N0 = 8 dB: 1.90908e-04
fx >>
```

2 bits por símbolo por lo que hay 20 millones de bits: 0 bits fallos  $\rightarrow 0/20\text{millones} = 0$

$$64/20\text{millones}=3.2\text{e-}6$$

$$3805/20\text{millones}=191.25 \text{ e-}6$$

Tabla 4. Tasa de error de bit

	$E_b/N_0 = 12 \text{ dB}$	$E_b/N_0 = 10 \text{ dB}$	$E_b/N_0 = 8 \text{ dB}$
$BER$ medida	0	3.2e-6	191.25 e-6
$P_b$ (fórmula de clase)	9.0115 e-09	3.8721e-6	191.025 e-06
$P_b$ (valor de Matlab)	9.00601e-09	3.87211e-06	1.90908e-04