

## PRÁCTICA: Modulaciones digitales

El objetivo de esta práctica es simular el funcionamiento de un sistema de transmisión digital, sin codificación de canal, que utilice formatos de modulación PSK y comparar el rendimiento de este sistema con el teórico. La herramienta que se recomienda para la realización de la práctica es MATLAB u Octave.

### 1.- Simulación de un sistema de comunicaciones digital PSK

A continuación se describen todos los pasos que debenser implementados para simular el funcionamiento de un sistema de modulación digital y se muestran los resultados obtenidos en cada paso.

#### Inicialización de parámetros

En el simulador se van a utilizar los siguientes parámetros:

- TamPulso: número de puntos del pulso.
- NumSimb: número de símbolos a transmitir.
- M: número de formas de onda de la modulación
- EbNo: Relación entre la potencia de bit y la del ruido (en decibelios).
- NumPlot: número de símbolos a representar.

El primer paso del simulador será inicializar estas variables y las utilizadas por el generador de números aleatorios. En concreto, los ejemplos que se presentan a continuación han sido obtenidos con los siguientes parámetros:

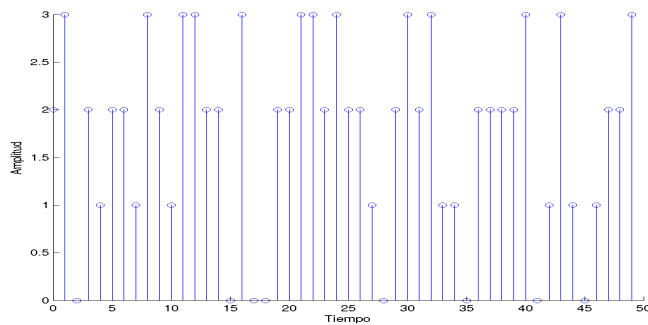
```
TamPulso = 10;  
NumSimb = 1000;  
M = 4;  
EbNo = 14;  
NumPlot = 50;  
seed = [12345 54321];  
rand('state', seed(1)); randn('state', seed(2));
```

#### Generación de símbolos aleatorios de información.

El siguiente paso será el de generar los símbolos a modular. Considerando que se va a utilizar una modulación de M niveles, los símbolos deben ir de 0 a M-1. Por ejemplo, para una modulación QPSK los símbolos son 0, 1, 2 y 3.

```
Genere un vector de tamaño NumSimb que contenga símbolos aleatorios equiprobables con valores 0, 1, 2, ..., M-1 y dibuje los primeros NumPlot símbolos. Asigne los símbolos generados a la variable mensaje_original.
```

La siguiente figura muestra el resultado para una modulación QPSK.



## Modulación.

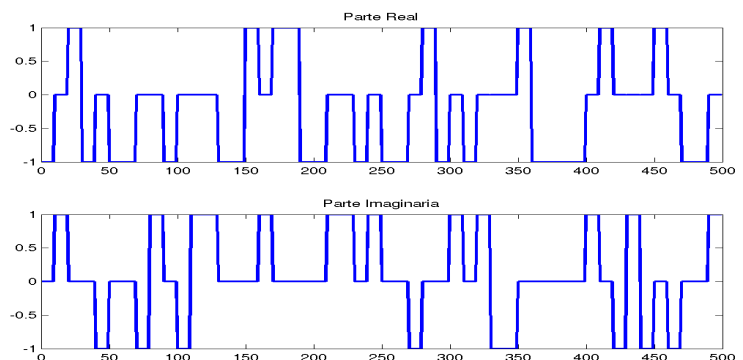
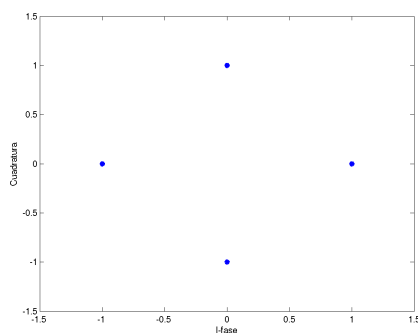
El proceso de modulación consiste en hacer corresponder cada símbolo con una forma de onda adecuada para ser transmitida por el canal, lo que se traduce en dos pasos:

- Asignar a cada símbolo un punto de la señal de la constelación.
- Convolucionar esa secuencia con la forma de pulso.

Escriba el código que permita realizarlos dos pasos anteriores. Recuerde que en una modulación PSK los puntos están separados un ángulo  $2\pi/M$  y, por tanto, los puntos de la modulación toman valores  $\text{valores} = \exp(-j \cdot \text{angulo} \cdot \text{ind})$  donde  $\text{ind}=0, \dots, M-1$ . Guardaremos las amplitudes moduladas en la variable `mensaje_mod`. **No utilice la función de matlab `pskmod`.**

A partir de `mensaje_mod` se generará la forma de onda a transmitir convolucionando cada parte (real e imaginaria) con la forma de pulso de tamaño `TamPulso`. De cara a su posterior tratamiento, resulta conveniente crear una única variable que combine las dos partes: `mensaje_tx=parte_real+ j*parte_imaginaria`. Recuerde que cada amplitud debe estar separada de la siguiente `TamPulso` posiciones. **No utilice la función de matlab `rectpulse` ni `upsample`.**

Las siguientes figuras muestran, respectivamente, la constelación de la señal `mensaje_tx` y cada una de sus componentes. Únicamente se han representado los primeros `NumPlot` puntos. En la segunda figura, observe que cada símbolos corresponde a una señal de duración `TamPulso`.



## Transmisión por un canal AWGN.

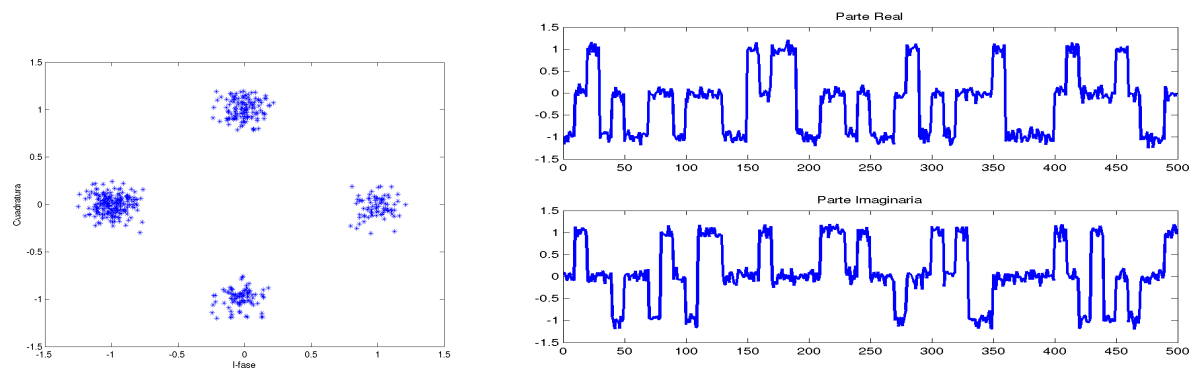
Asumiremos que la señal se transmite a través de un canal AWGN, de forma que la señal recibida es la transmitida más un ruido blanco gaussiano. Un ruido de este tipo puede generarse utilizando el siguiente código:

```
Es = sum(abs(mensaje_tx).^2)/length(mensaje_tx); %Potencia de la señal
No = (Es/EsNo)*TamPulso; %Potencia del ruido
ruido = sqrt(ruidoPotencia/2)*(randn(1,NumTotal)+j*randn(1,NumTotal));
mensaje_rx=mensaje_tx+ruido;
```

donde  $E_s N_0$  está expresada en unidades naturales.

Utilizando el código anterior, genere la señal recibida. Recuerde que para transformar el parámetro  $E_b N_0$  de decibelios a unidades naturales para poder obtener la relación entre la potencia de la señal y la del ruido  $E_s N_0$ .

Las siguientes figuras representan, respectivamente, la constelación y las componentes por separado de la señal recibida `mensaje_rx`.



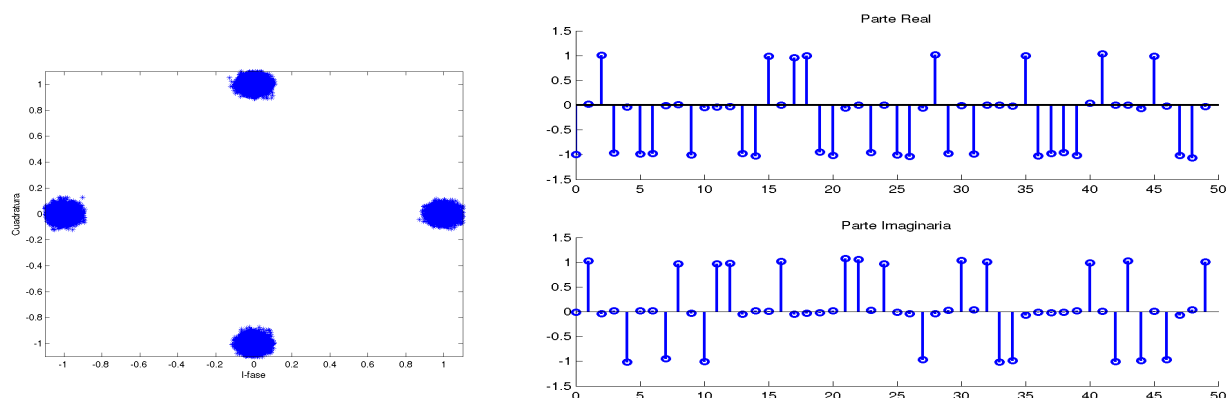
### Recuperación de la información.

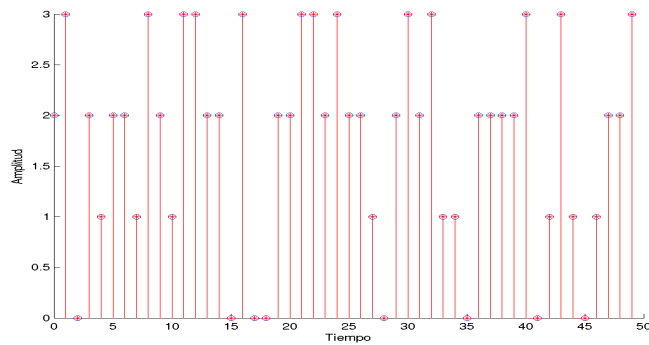
El receptor debe ser diseñado de forma que pueda recuperar la información a partir de la señal recibida con una probabilidad de error reducida. Una forma de implementarlo consiste en realizar dos pasos:

- Integrar la señal en cada periodo de símbolo ( $T_{\text{amPulso}}$ ). En discreto, esta operación se traduce en calcular la media de todos los puntos correspondientes a la señal recibida en cada periodo.
- Demodular de la señal obtenida a la salida del integrador utilizando umbrales de decisión.

Realice un programa que implemente las dos operaciones anteriores. **No utilice las funciones de matlab `intdump` y `pskdemod`.**

La siguiente figura muestra la salida del integrador. Observe que hay un único punto por cada símbolo generado (en total `NumPlot` puntos):





La siguiente figura muestra las amplitudes a la salida del demodulador y las compara con los símbolos originales.

## 2.- Medida de rendimiento.

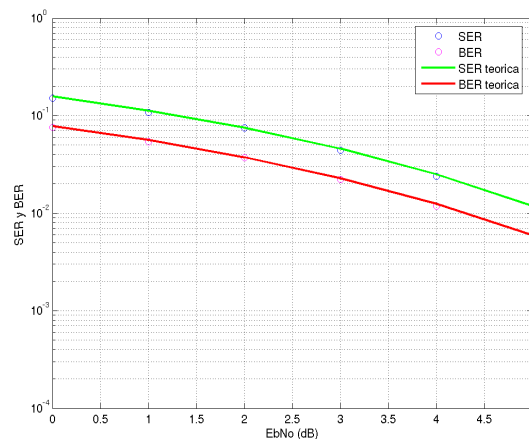
El rendimiento de un sistema de comunicaciones se mide en términos de probabilidad de error: BER (bit error probability) y SER (symbol error probability).

Calcule la SER a partir de las amplitudes iniciales y de las recuperadas por el demodulador. La BER puede ser aproximada como  $SER/\log_2(M)$ .

La SER teórica de una modulación PSK viene dada por:  $SER_{cuota} = 2 * Q(\sqrt{E_s N_0} * (1 - \cos(2 * \pi / M)))$ ; donde  $E_s N_0$  viene expresada en unidades naturales y  $Q(x) = 1/2 * \text{erfc}(x/\sqrt{2})$ .

Compare las probabilidades obtenidas en las simulaciones con las teóricas.

La siguiente figura muestra los resultados obtenidos para una modulación QPSK con  $E_b N_0$  entre 0 y 5 dB.



Represente las probabilidades (teóricas y simuladas) para distintos valores de  $M$  y razone las siguientes cuestiones:

¿Cómo influye el número de niveles en el rendimiento del sistema?

¿Sería posible transmitir datos con una modulación 8-PSK con una  $E_b N_0$  de 10dB?

¿Sería posible transmitir audio con una modulación 8-PSK con una  $E_b N_0$  de 10dB?

¿Cuál es la  $E_b N_0$  necesaria para transmitir datos si se emplea una modulación QPSK?

¿Cuál es la  $E_b N_0$  necesaria para transmitir audio si se emplea una modulación QPSK?