



## **PRÁCTICA 3**

### **TRANSMISIÓN DIGITAL**

### **EN BANDA BASE**



**Curso 2014 – 2015**

#### **• PARTE 1 → Diagrama de Ojo y Diagrama de Dispersión**

##### **Objetivo:**

Visualizar (y comprender) dos diagramas o representaciones que aportan mucha información sobre el funcionamiento de un sistema de transmisión digital:

- Diagrama de Ojo: la representación de la señal analógica (antes de muestrear) en recepción. Con superposición en el eje de tiempos.
- Diagrama de Dispersión: la representación de las muestras obtenidas en recepción.

##### **Desarrollo:**

Para realizar esta parte de la práctica, dispone de la ayuda de los siguientes programas:

- DiagOjo
- DiagOjo\_DiagDisp

**Hito 1.1.-** Comente los pasos que se realizan mediante el programa “DiagOjo”. ¿Estamos añadiendo ruido a la señal? ¿Por qué representamos el diagrama con la señal “rcv1” en lugar de “rcv”?

**Hito 1.2.-** Modifique el programa “DiagOjo” para obtener el Diagrama de Ojo de una señal PAM polar (con símbolos 1 y -1), utilizando 100 símbolos y un filtro de transmisión en forma de coseno alzado con coeficiente de roll-off = 0,5. Repita la representación para unos coeficientes de roll-off = 0 y 1. Comente los resultados obtenidos. ¿Cuál de los sistemas tiene un mayor margen frente al ruido? ¿Cuál será más sensible a la sincronización a la hora de muestrear en los instantes de tiempo justos?

**Hito 1.3.-** Comente los pasos que se realizan mediante el programa “DiagOjo\_DiagDisp”. ¿Por qué la señal “tfsig\_rx” tiene parte real e imaginaria? ¿La decisión del símbolo en recepción se hará teniendo en cuenta la señal “tfsig\_rx” o solamente su parte real?

**Hito 1.4.-** Modifique el programa “DiagOjo\_DiagDisp” para realizar las simulaciones con una SNR de 5dB y 30dB. Comente todos los resultados obtenidos. ¿Varíe la SNR para determinar a partir de qué valor de SNR considera que aparecerán un número significativo de errores?

## • PARTE 2 → SER (Tasa de Error de Símbolo)

### Objetivo:

Obtener las curvas de probabilidad de error de símbolo frente a la relación  $E_b/N_0$  para una modulación M-PAM.

### Desarrollo:

Para realizar esta parte de la práctica, dispone de la ayuda del siguiente programa:

- SER\_Simulacion

**Hito 2.1.-** Obtenga el diagrama de dispersión de una señal 8-PAM (con constelación  $A_n \in [-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7]$ ), para una relación  $E_b/N_0$  de 32dB. Para ello, utilice 800 muestras. ¿Aparece una constelación completamente limpia?

**Nota:** Para la generación del ruido en la simulación, se necesita conocer el valor de  $N_0$ . Para ello, recuerde que el valor de la energía de símbolo  $E_s$  se obtiene como:

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{\sum_{i=1}^M E_i}{M} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left[ \int_0^T A_i^2 \cdot p^2(t) \cdot dt \right] = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left[ A_i^2 \cdot \int_0^T p^2(t) \cdot dt \right] = \\ &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M A_i^2 \cdot E_{pulsos} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M A_i^2 \end{aligned}$$

y la energía media de bit  $E_b$  como:

$$E_b = \frac{E_s}{\log_2 M}$$

Escriba en la línea de comandos de Matlab *help rand* y *help randn* para decidir la función correcta para generar el tipo de ruido deseado.

**Hito 2.2.-** Diseñe (por ahora de forma teórica, no hace falta que lo implemente en MATLAB) el decisor que tendría que utilizar en recepción para este tipo de constelación.

**Hito 2.3.-** Sabiendo que la probabilidad de error de símbolo para una modulación M-PAM sigue la expresión (SER teórica):

$$P_e = \frac{2 \cdot (M-1)}{M} Q \left( \sqrt{\frac{6kE_b}{(M^2-1) \cdot N_0}} \right)$$

siendo  $k$  el número de bits por símbolo, represente la curva de la SER frente a la relación  $E_b/N_0$  ( $E_b/N_0 \in [0,17]dB$ ) para la modulación 8-PAM dada. En la representación de

esta curva, puesto que en el eje de abscisas se representan dBs, se debe utilizar una representación semilogarítmica (instrucción *semilogy* en MATLAB).

**Hito 2.4.-** Complete el programa “SER\_Simulacion” para simular la transmisión de símbolos 8-PAM con diferentes valores de  $E_b / N_0$  ( $E_b / N_0 \in [0,17]dB$ ). Represente en una misma gráfica la curva de la SER teórica (apartado anterior) y la curva de la SER experimental empleando 1000 símbolos en la simulación. Aumente ahora el número de símbolos a 10000 y comente y justifique si aprecia algún cambio en los resultados.

**Hito 2.5.-** Suponiendo que se ha utilizado una codificación Gray, calcule y represente la BER analítica frente a la relación  $E_b / N_0$  ( $E_b / N_0 \in [0,17]dB$ ).