

# **PRÁCTICA 5**

## **TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN EN BANDA BASE**

# 1. Transmisión y recepción en banda base

En esta práctica es necesario inicializar una serie de variables globales mediante la ejecución del programa *start* antes de la ejecución del resto de los programas de la práctica. El programa *start* solamente necesita ejecutarse una vez al comienzo de la sesión. Las principales variables inicializadas por esta función son:

1. La tasa binaria,  $BINARY\_DATA\_RATE = 1000$ .
2. El factor de muestreo,  $SAMPLING\_CONSTANT = 10$ .
3. La frecuencia de muestreo:  
$$SAMPLING\_FREQ = BINARY\_DATA\_RATE \cdot SAMPLING\_CONSTANT.$$
4. El factor de “roll-off” para el filtro de coseno alzado,  $NYQUIST\_ALPHA = 0.5$ .
5. La longitud del filtro de coseno alzado utilizada,  $NYQUIST\_BLOCK = 8$ .

## Características de los formatos de transmisión en banda base

**Ejercicio 1.1.** La función  $x = wave\_gen(b, 'line\_code\_name', R_b)$  permite generar los principales códigos de línea estudiados. En esta función,  $x$  es el código de línea generado,  $b$  es la secuencia binaria a transmitir obtenida previamente, *'line\_code\_name'* define el tipo de formato, y  $R_b$  es el régimen binario. La frecuencia de muestreo con la que la señal  $x$  es representada es 10 veces el régimen binario. Utilizando el comando *wave\_gen*, genere códigos de línea para una secuencia  $b$  de 10 bits equiprobables obtenidos de forma aleatoria, con  $R_b = 1000$  bits/s y los siguientes códigos de línea:

1. NRZ polar (parámetro *'polar\_nrz'* en el programa *wave\_gen*).
2. NRZ unipolar (parámetro *'unipolar\_nrz'* en el programa *wave\_gen*).
3. RZ polar (parámetro *'polar\_rz'* en el programa *wave\_gen*).
4. RZ unipolar (parámetro *'unipolar\_rz'* en el programa *wave\_gen*).
5. Manchester (parámetro *'manchester'* en el programa *wave\_gen*).

Visualice cada una de las codificaciones, utilizando el comando *waveplot(x)*, y calcule la energía y la potencia media por bit de cada una de las señales. ¿Coincide con el valor teórico esperado? Si existen diferencias, ¿a qué cree que son debidas? Si a continuación de la codificación se coloca un amplificador con ganancia  $K$ , ¿cuánto tiene que valer  $K$  en cada uno de los casos para que la potencia media por bit sea de 1 mW?

Nota: Recuerde que el periodo de muestreo es la décima parte del periodo de bit.

**Ejercicio 1.2.** La densidad espectral de potencia es uno de los parámetros clave a la hora de seleccionar un determinado código de línea para una cierta aplicación. Aunque teóricamente resulta un tanto complicado su cálculo, requiriendo conceptos propios de procesos estocásticos y sistemas lineales, en la práctica es muy sencillo. Genere una secuencia de 1000 bits aleatorios e independientes, y utilice la función  $psd(x)$ , que genera una gráfica con la densidad espectral de potencia de  $x$ , para completar la siguiente tabla.

$R_b=1000$ bps	Primer Pico Espectral	Primer Nulo Espectral	Segundo Pico Espectral	Segundo Nulo Espectral	Ancho de Banda (1 <sup>er</sup> nulo)
NRZ Unipolar					
NRZ Polar					
RZ Unipolar					
RZ Polar					
Manchester					

Tabla 1.1: Densidad espectral de potencia para diferentes códigos de línea.

Encuentre una expresión aproximada que relacione el ancho de banda y el régimen binario para cada uno de los códigos de línea. A la vista de la forma de cada tipo de código, ¿coincide el ancho de banda simulado con lo esperado? Halle el valor del término de continua ( $f = 0$  Hz) en cada caso. A la vista de este valor y de la DEP, indique el código que resulta más adecuado para transmitir por canales que no dejan pasar las componentes de baja frecuencia.

## Efectos del canal: ruido e ISI

Los dos principales efectos negativos del canal son el ruido y la interferencia entre símbolos (ISI). En los ejercicios de este apartado se va a utilizar una función que simula el paso de la señal codificada por un canal lineal paso bajo más ruido. El canal se encuentra definido por su ganancia en continua, su potencia de ruido (a la salida), y su ancho de banda. Para su simulación se dispone de la función  $y = channel(x, ganancia, pot\_ruido, ancho\_banda)$ , que devuelve la salida del canal,  $y$ , a partir de la entrada,  $x$ , y los parámetros del canal.

**Ejercicio 1.3.** Genere la señal de salida de un codificador polar NRZ para 10 bits aleatorios con un régimen binario de 1 Kbps. Obtenga la salida de dicha secuencia al pasar por un canal lineal paso bajo con un ancho de banda de 4.5 KHz, ganancia unidad

en continua ( $f = 0$  Hz) y sin ruido. Compare la entrada y la salida del canal (representándolas en la misma gráfica mediante el comando *hold*). ¿Observa alguna diferencia? En caso afirmativo, ¿a qué cree que es debido?. A continuación, vaya aumentando la potencia de ruido de 0.2W en 0.2W empezando desde 0 W. Observe el efecto del incremento del ruido y anote el valor para el que no es posible distinguir visualmente la señal transmitida con claridad. ¿A qué relación señal a ruido corresponde esta situación?

**Ejercicio 1.4.** Repita el ejercicio anterior utilizando 1000 bits en cada caso y observando la densidad espectral de potencia (DEP) en lugar de la señal temporal. Compare la DEP de la señal de entrada y salida del canal. ¿Cuál es el efecto del canal sobre la DEP? A continuación vaya introduciendo ruido en el canal igual que en el ejercicio anterior y estudie sus consecuencias sobre la DEP. ¿A partir de que valor de potencia de ruido (y su correspondiente valor de SNR) resulta irreconocible la DEP de la señal original?

**Ejercicio 1.5.** Para observar el efecto de la distorsión del canal (ISI) se va a simular un canal sin ruido. Genere 20 bits aleatorios y simule el código NRZ polar. Obtenga la salida del canal para anchos de banda de 4.5 KHz, 3 KHz, 2 KHz, 1 KHz, 500 Hz y 250 Hz (siempre sin ruido y con ganancia unidad). Presente los resultados utilizando la función *waveplot* y compárelos con la señal de entrada. ¿A partir de qué ancho de banda aparece una distorsión apreciable en la señal que puede perjudicar seriamente la transmisión? ¿Coincide el resultado con el valor predicho por el teorema de Nyquist?

## Medida de la interferencia entre símbolos: Diagrama de ojo

El diagrama de ojo es una herramienta muy útil para visualizar la protección de la que se dispone frente a la ISI y el ruido en un sistema de comunicaciones digitales. El diagrama de ojo se genera con múltiples barridos de un osciloscopio cuyo eje de tiempos está sincronizado con la señal de sincronismo de símbolo de la señal digital (la duración del barrido debe ser mayor o igual que la duración del símbolo,  $T_b$ ). En Matlab el diagrama de ojo se genera representando segmentos sucesivos de la señal, de duración un número entero de periodos de símbolo, superpuestos. La Figura 1.1 muestra los parámetros que deben ser considerados en un diagrama de ojo.

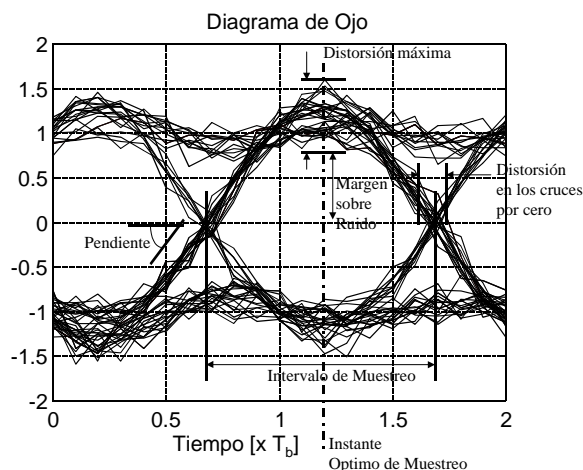


Figura 1.1: Diagrama de ojo y principales parámetros del mismo.

Dada una señal digital en banda base, el programa *eye\_diag(x)* visualiza el diagrama de ojo correspondiente, que es la mejor forma de visualizar los efectos de filtrado y ruido.

**Ejercicio 1.6.** Genere 100 bits aleatorios y la correspondiente señal NRZ polar. Visualice el diagrama de ojo. En estas condiciones, observará la señal que se recibiría en el extremo del receptor con un canal ideal (de ancho de banda infinito y sin ruido). A continuación, simule la salida de dicha señal al pasar por un canal de ganancia unidad en DC, 4KHz de ancho de banda y  $10^{-2}$  W de potencia de ruido. Utilice la función *eye\_diag(y,-1)*, donde el parámetro  $-1$  significa que tiene que presionar “enter” después de cada trazado del diagrama de ojo (100 veces). Esta representación del diagrama de ojo le ayudará a entender cómo se genera el diagrama de ojo. Por último, genere 100 bits independientes y el código NRZ polar correspondiente. Simule la salida del canal con distintos parámetros y con la ayuda de la función *eye\_diag* rellene la Tabla 1.2. ¿A qué conclusiones llega con respecto a los diferentes parámetros a la vista de los valores de la tabla?

Código de Línea polar NRZ con pulsos rectangulares					
Potencia de Ruido (W)	Ancho de Banda (Hz)	Instante Óptimo de Muestreo	Intervalo de Muestreo	Margen sobre el Ruido	
0.01	3000				
	1000				
0.02	4000				
0.1					

Tabla 1.2: Parámetros del diagrama de ojo con pulsos rectangulares.

**Ejercicio 1.7.** Genere 1000 bits aleatorios y el correspondiente código de línea NRZ polar con una conformación de pulso en coseno alzado y coeficiente de roll-off  $\alpha=0$ ,  $\alpha=0.5$  y  $\alpha=1$  (para modificar el valor de  $\alpha$ , debe adjudicar previamente a la variable global NYQUIST\_ALPHA, creada por *start*, el valor correspondiente), mediante el uso de la función *wave\_gen(b,'nyquist',R<sub>b</sub>)* con  $R_b = 1000$ . Visualice los primeros 10 bits de la señal con la función *waveplot*, y la densidad espectral de potencia mediante la función *psd(x)*. ¿Cuál es el ancho de banda ocupado por la señal en cada caso? ¿Coincide con el resultado teórico? Compare las señales obtenidas tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia con las del código NRZ polar con pulsos rectangulares obtenido anteriormente.

**Ejercicio 1.8.** Genere 100 bits aleatorios y el código polar NRZ con una conformación de pulso en coseno alzado y potencia de ruido de 0.01 W, y rellene la tabla siguiente (recuerde ir variando la variable NYQUIST\_ALPHA en cada caso). ¿En qué casos existe interferencia entre símbolos? ¿Coincide con lo esperado teóricamente? A la vista de los resultados de las tablas 1.2 y 1.3, ¿qué conclusiones obtiene respecto al instante óptimo de muestreo, el intervalo de muestreo y el margen sobre el ruido?

Código de Línea polar NRZ con pulsos en coseno alzado				
Factor de “roll-off” ( $\alpha$ )	Ancho de Banda (Hz)	Instante Optimo de Muestreo	Intervalo de Muestreo	Margen sobre el Ruido
0	1000			
0.5				
1.0				
0.0	500			
0.5				
1.0				

Tabla 1.3: Parámetros del diagrama de ojo con pulsos en coseno alzado.