



CURSO: CODIFICACIÓN DE FUENTE Y CANAL (EL271) LABORATORIO DE SIMULACIÓN 2

En el presente trabajo se llevará a cabo la simulación de la etapa que corresponde a la codificación y decodificación de canal con un codificador de bloque, se calculará el BER (Bit Error Rate) correspondiente a diferentes valores de relación señal a ruido γ_b , y se comparará estos resultados con los valores teóricos de las probabilidades de error P_b del sistema codificado, y P_{ub} del sistema no codificado.

Tabla 1

Grupo N°	Codificador de bloque (n,k)	Sub matriz P (de la matriz G)
1	Hamming (7,4)	Según definición de Hamming
2	Hamming (15,11)	
3	(6,3)	(p. 564, texto de A.B. Carlson)
4	Hamming extendido (8,4)	Según definición de Hamming
5	Hamming (31,26)	

1. Instrucciones para el caso sin codificar

1.1 Curva teórica P_{ub} vs. γ_{ub}

Grafique la curva teórica P_{ub} vs. γ_{ub} del sistema de modulación BPSK (no codificado), para valores de γ_{ub} en el rango de 2 a 10 dB. Tenga en cuenta que para BPSK:

$$P_{ub} = Q(\sqrt{2\gamma_{ub}})$$

En donde $Q(x)$ es la función Q, la cual se relaciona con la función de error complementario $\text{erfc}(\cdot)$, de la siguiente manera¹: $Q(x) = (1/2) \cdot \text{erfc}(x/\sqrt{2})$.

1.2 Curva del BER vs. γ_{ub}

- a) Genere mediante un programa (en lenguaje MATLAB, C, Python, etc.), una secuencia muy larga (por ejemplo, un millón) de valores 1 y 0, que representan a los bits entrantes al modulador.

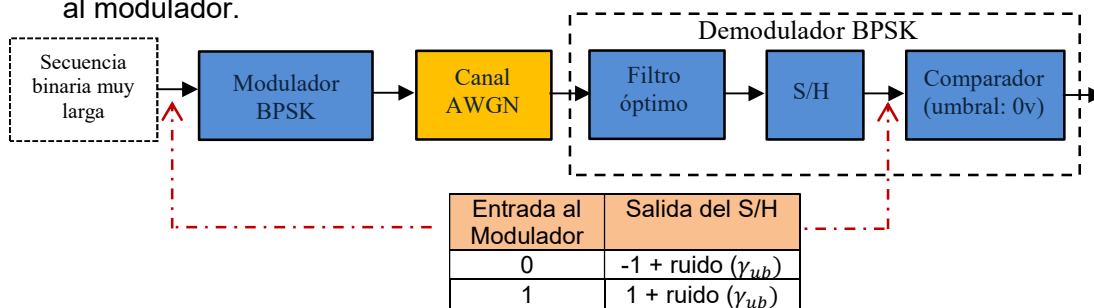


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de comunicación no codificado con modulador BPSK

¹ Esto es útil porque en los lenguajes de programación existen librerías de funciones que incluyen la $\text{erfc}(\cdot)$.



Tal como se muestra en la tabla de la Figura 1, los bits (0 y 1) entrantes al modulador corresponden a los valores (-1 y 1) a la salida del bloque S/H en el demodulador.

- b) Genere una fuente de ruido Gaussiano n con valor medio nulo y un determinado valor de varianza σ^2 (ruido filtrado), el cual está relacionado a un valor específico de γ_{ub} . Para BPSK:

$$\sigma^2 = 1/2\gamma_{ub}$$

- c) Los valores instantáneos de ruido generado en b) se deben sumar a los valores (-1 o 1) a la salida del bloque S/H, tal como se muestra en la tabla de la Figura 1.
- d) Para el valor de σ^2 indicado en b), de la simulación se obtendrá un valor específico de Bit Error Rate (BER), el cual deberá coincidir aproximadamente con el valor teórico de P_{ub} correspondiente al valor de γ_{ub} también de b), tal como se muestra en la Figura 2 a continuación (las X son los valores del BER₁ a BER₅, como ejemplo):

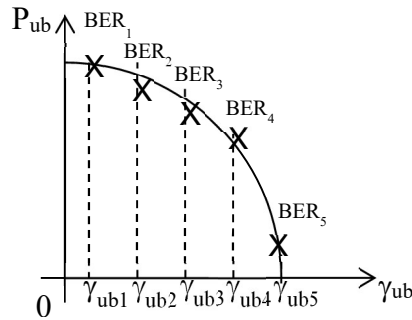


Figura 2. P_{ub} y BER vs. γ_{ub} : caso sin codificar

1.3 Pasos a seguir:

- a) Considere el cálculo del BER para un rango de 2 a 10 dB, en pasos de 2 dB. Así, para el primer valor de γ_{ub} igual a 2 dB:

$$2 \text{ (dB)} = 10 \log \gamma_{ub}, \quad \gamma_{ub} = 10^{2/10} = 1,584, \quad \gamma_{ub} = \frac{E_b}{\eta}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\gamma_{ub}}, \quad \sigma^2 = 1/(2 \times 1,584), \quad \sigma^2 = 0,316$$

- b) Simule una fuente de ruido Gaussiano (AWGN), con varianza $\sigma^2 = 0,316$.
- c) Genere una secuencia aleatoria de valores 0 y 1 equiprobables (se debe generar una secuencia muy larga) de entrada al modulador BPSK. En forma correspondiente y de acuerdo con la tabla de la Figura 1, genere la secuencia de -1 y 1 en la salida del bloque S/H. A ésta última secuencia se le deberá sumar la secuencia de valores instantáneos de ruido de la fuente simulada indicada en b). Compare dichos valores



con el umbral óptimo $V_{opt} = 0$, y obtenga la secuencia demodulada de 1s y 0s. Calcule el BER tal como sigue:

$$BER = \frac{N^{\circ} \text{ de bits errados (compare la secuencia entrante al MOD con la secuencia de salida del comparador)}}{N^{\circ} \text{ total de bits transmitidos}}$$

Ejemplo (se muestra una secuencia corta de 8 bits):

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Secuencia binaria aleatoria (entrada al MOD)	0	1	1	1	1	0	0	1
Secuencia correspondiente a la secuencia binaria aleatoria	-1	1	1	1	1	-1	-1	1
Secuencia de valores instantáneos de ruido (filtrado)	0,2	-0,3	-1,1	0,3	-0,5	0,2	-0,8	-0,1
Secuencia de salida del bloque S/H	-0,8	0,7	-0,1	1,3	0,5	-0,8	-1,8	0,9
Secuencia de salida del comparador	0	1	0	1	1	0	0	1

bit
correcto

bit
errado

Se observa la producción de un error, de allí que (para este ejemplo):

$$BER_1 = \frac{1}{8} = 1,25 \times 10^{-1}$$

Repita para los demás valores: 4, 6, 8 y 10 dB. Tenga presente que para cada valor de γ_b se obtendrá un nuevo valor de σ^2 . Similarmente, para cada caso deberá generar nuevamente la secuencia larga de valores 0 y 1.

2. Instrucciones para caso con codificación de bloque

2.1 Curva teórica P_b vs. γ_b

Grafique la curva teórica P_b vs. γ_b del sistema con codificación de bloque asignado a su Grupo (Tabla 1) y modulación BPSK. Es decir, programe la expresión matemática de P_b (codificado), para valores de γ_b en el rango de 2 a 10 dB.

$$P_b \approx \binom{n-1}{t} \alpha^{t+1}, \quad \alpha = Q(\sqrt{2\gamma_c}), \quad \gamma_c = R_c \gamma_b, \quad R_c = k/n$$

2.2 Curva del BER vs. γ_b (caso con codificación de bloque)

a) Inserte el codificador de bloque asignado a su Grupo (Tabla 1), tal como se puede ver en la Figura 3.

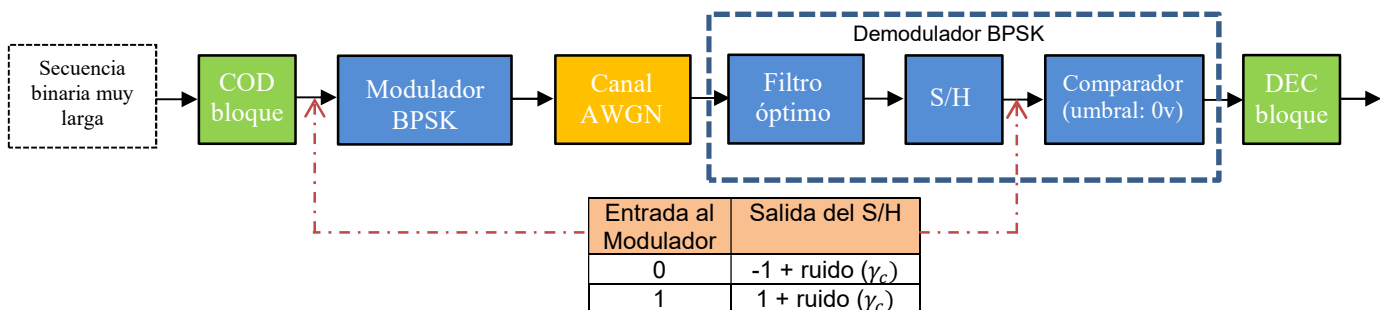


Figura 3. Diagrama de bloques con modulador BPSK y codificador de bloque



- b) Genere mediante un programa (en lenguaje MATLAB, C, Python, etc.), una secuencia muy larga (por ejemplo, un millón) de valores 1 y 0, que representan a los bits entrantes al codificador de bloque. Tal como se muestra en la Figura 3, los bits (0 y 1) entrantes al modulador corresponden a los valores (-1 y 1) a la salida del bloque S/H en el demodulador. Estos valores más el ruido ingresan al comparador (con umbral óptimo $V_{opt} = 0$) y su salida al decodificador de bloque, el cual emplea la técnica del síndrome.
- c) Considere el cálculo del BER para un rango de 2 a 10 dB, en pasos de 2 dB. Así, para el primer valor de γ_b igual a 2 dB (ejemplo para el código (7,4) de Hamming):

$$2 \text{ (dB)} = 10 \log \gamma_b, \quad \gamma_b = 10^{2/10} = 1,584, \quad \gamma_b = \frac{E_b}{\eta}, \quad \gamma_c = R_c \gamma_b$$

$$\gamma_c = \frac{k}{n} \gamma_b = \frac{4}{7} \cdot (1,584) = 0,905$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\gamma_c}, \quad \sigma^2 = 1/(2 \times 0,905), \quad \sigma^2 = 0,552$$

Con este valor de $\sigma^2 = 0,552$ se debe generar las muestras de ruido instantáneo que se van a sumar a los valores -1 y +1, tal como se mostró en el ejemplo en 1.3.

- d) Obtenga el BER a la salida del decodificador, tal como sigue:

$$BER = \frac{N^\circ \text{ de bits errados (compare la secuencia entrante al COD con la secuencia de salida del DEC)}}{N^\circ \text{ total de bits transmitidos}}$$

Repita para los demás valores: 4, 6, 8 y 10 dB. Tenga presente que para cada valor de γ_b se obtendrá un nuevo valor de γ_c y σ^2 . Similarmente, para cada caso deberá generar la secuencia larga de valores 0 y 1.

- d) El resultado a obtener se ilustra en la Figura 4, en donde las X de color rojo (BER_{c1} , etc.) reflejan un mejor resultado (es decir, tienen un menor valor) que las X de color negro del sistema sin codificar (BER_{u1} , etc.). A fin de comparar los resultados con y sin codificación se deberán superponer los gráficos tal como se muestra:

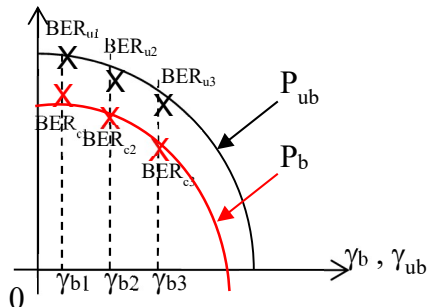


Figura 4. P_b y BER_c (c: coded), P_{ub} y BER_u (u: uncoded)



3. Presentación del trabajo

El trabajo se presentará **en archivo digital**, en formato de informe con el siguiente contenido:

- i. Explicación teórica (en sus propios términos) de la codificación y decodificación con las expresiones matemáticas correspondientes.
- ii. Código del programa (en MATLAB, C, Python, etc.) y comentario que facilite su lectura y revisión. Cada parte identificará al autor que lo realizó.
- iii. Gráficos de los resultados obtenidos, con interpretación y análisis.
- iv. Conclusiones específicas sobre la simulación realizada.

4. Rúbrica de evaluación y calificación

	Criterios	Puntaje
1	Explicación teórica (en sus propios términos)	3
2	Programa (comentado) desarrollado por cada integrante	3
3	Gráficos de resultados, interpretación y análisis	10
4	Conclusiones sobre la simulación	4

Septiembre de 2023
El profesor del curso