Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
(ING)

2023-2

CODIFICACIÓN DE FUENTE Y CANAL

Trabajo Parcial

Sección del curso: EL271

DOCENTE: Ing. Carlos Rafael Valdez Velásquez Lopez

Integrantes:

Brenda Grethel Achahui Arias   U202011423
Katherine Saady Condor Oscanoa U20201A579
Pazos Gaspar Alessandro Francisco U201726358

1. **Explicación Teórica.**

I. **Introducción**

En el presente laboratorio, se realizará una simulación de la fase de codificación y decodificación del canal utilizando un codificador de bloque. Se calculará la tasa de errores de bits (BER) para distintos niveles de relación señal a ruido (γb) y se contrastan estos resultados con las probabilidades de error teóricas (Pb) del sistema codificado y las (Pub) del sistema no codificado. En este experimento, se utilizó un modulador BPSK en ambas configuraciones.

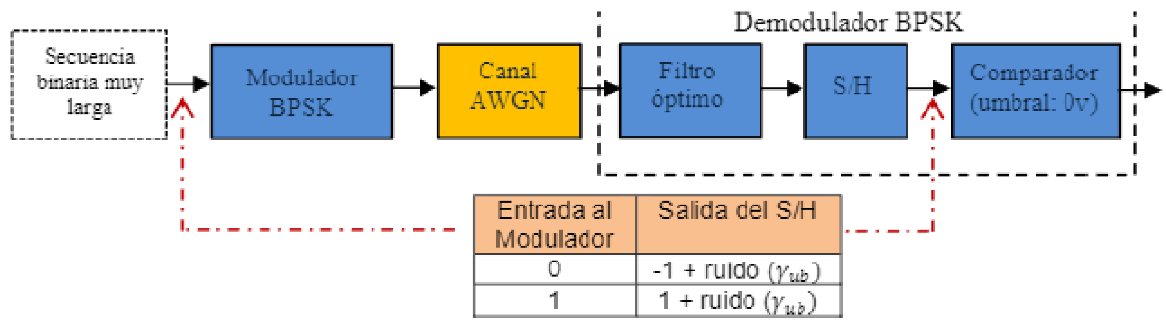


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de comunicación no codificado con modulador BPSK

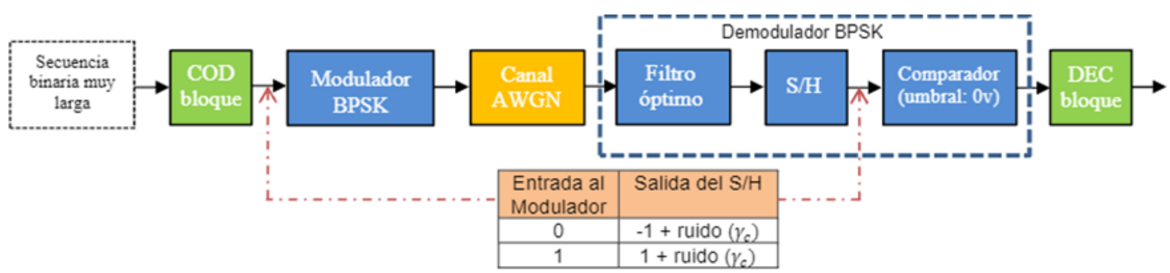


Figura 2. Diagrama de bloques con modulador BPSK y codificador de bloque

II. Codificación de canal

En los sistemas de comunicación, dos factores fundamentales inciden en la degradación de la señal recibida. La primera es cuando el ruido que se introduce en el canal de comunicaciones en sí. En el contexto de este laboratorio, se utilizó un canal de ruido blanco aditivo gaussiano (AWGN), el cual añade ruido y ocasiona errores de transmisión, provocando que la señal recuperada por el receptor no sea idéntica a la señal transmitida.

La calidad de la transmisión de información se evalúa a través de la probabilidad de error, es decir, la probabilidad de que el símbolo generado en la salida del receptor se diferencia del símbolo transmitido.

Tanto en sistemas de transmisión como en sistemas de grabación y reproducción, los errores son inevitables. En la transmisión y grabación de señales digitales, ya sea de audio, vídeo o datos en general, al igual que en cualquier sistema digital de comunicación, se requiere que la secuencia binaria recibida o reproducida sea lo más parecida posible a la transmitida o grabada, ya que la información debe ser protegida contra las degradaciones introducidas por el medio de transmisión o los circuitos de procesamiento de la señal.

Por tanto, un objetivo fundamental de cualquier sistema de comunicación es minimizar la degradación durante la transmisión. Por ejemplo, si en una empresa se enfrenta a una relación señal a ruido y una probabilidad de error inaceptables, existen dos opciones disponibles. Una de ellas implica aumentar la potencia de la señal, pero este enfoque puede resultar costoso. La otra opción es la codificación de la señal, una alternativa más económica y sofisticada.

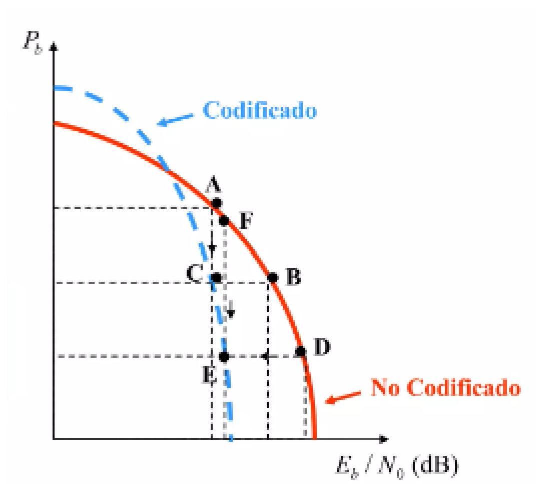


Figura 3. Probabilidad de error de un sistema codificado y sin codificar

Luego, mediante la codificación, es factible identificar y solucionar errores en la transmisión. Esto se logra al introducir bits adicionales que no portan información, sino que están destinados a resguardar el mensaje de posibles interferencias causadas por el canal.

En el laboratorio actual, emplearemos un modulador BPSK binario. Por tanto, para calcular la probabilidad de error en la codificación de bloque, se procede de la siguiente manera:

Probabilidad de error con codificación de bloque junto con un modulador BPSK

$$P_b \approx \binom{n-1}{t} \alpha^{t+1}$$

Probabilidad de error sin codificación de bloque junto con un modulador BPSK

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

III. Probabilidad de error del modulador BPSK

El modulador BPSK, es una técnica de modulación digital ampliamente empleada en sistemas de comunicación. La probabilidad de error en un sistema BPSK está influenciada por varios factores, como la relación señal-ruido (SNR por sus siglas en inglés), la presencia de interferencias y el ruido en el canal de comunicación. En términos generales, esta probabilidad de error se refiere a la posibilidad de recibir un símbolo transmitido de manera incorrecta.

En el caso de un sistema BPSK ideal en un canal con ruido blanco aditivo gaussiano (AWGN), se puede calcular la probabilidad de error utilizando la función $Q(x)$, que representa la función de distribución acumulativa de una variable normal estándar. En este momento, aún no se ha aplicado la codificación a este sistema. En un canal AWGN, la probabilidad de error para el sistema mencionado se puede aproximar utilizando la siguiente fórmula:

Probabilidad de error para el sistema BPSK (sin codificar)

$$\alpha = Q\left(\sqrt{2\gamma_c}\right),$$

La función $Q(x)$ se relaciona con la función de error complementario erfc(·), de la siguiente manera:

$$Q(x) = \frac{1}{2} \cdot erfc\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$$

IV. Canal AWGN y BER

Algoritmo de código de Hamming(7,4)

1. La palabra resultante contará con 7 posiciones desde la primera posición hasta la séptima. Por ello, los bits pertenecientes a las posiciones que son potencias de 2 serán usados como bits de paridad y el resto de posiciones serán bits de datos.
2. El bloque de mensaje tiene 4 bits y una palabra codificada de 7 bits. Por ende, se obtienen 3 bits redundantes y un bloque de código de 3 bits. Estos son C1, C2 y C3. C1es el bit más significativo y C3 el bit menos significativo.
3. Estos son los resultados para C1, C2,C3

   C1 = m1 xor m2 xor m3 xor 0

   C2 = 0 xor m2 xor m3 xor m4

   C3 = m1 xor m2 xor 0 xor m4

   C = [C1 C2 C3]

   La matriz P deberá tener la siguiente forma, Entonces, para que se cumpla C=MxP, P se forma de la siguiente manera:

```
P = [1 0 1;
     1 1 1;
     1 1 0;
     0 1 1];
```

Luego al multiplicar M por P se tendrá la sumatoria de xor para C

C=[**m1 xor m2 xor m3 xor m2 xor m3 xor m4 xor m1 xor m2 xor m4**]

Codificación de Hamming

El código Hamming es un código de corrección de errores más simple y eficiente, cuya característica es detectar y corregir un número limitado de errores en un bloque de datos de 7 bits.

El código Hamming tiene las siguientes características:

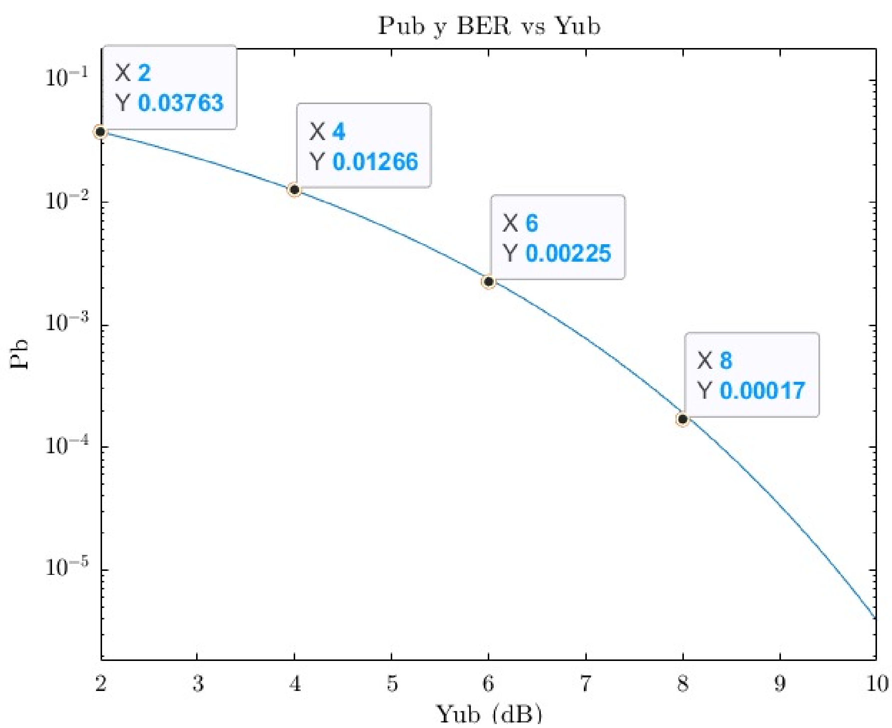
- Es un código de bloque, lo que significa que se aplica a un bloque completo de datos.
- Es un código de paridad, lo que significa que utiliza bits de paridad para detectar y corregir errores.
- Tiene una distancia mínima de Hamming de 3, dicha distancia es invariable, puede detectar y corregir un error en un bloque de datos de 7 bits.
- Presenta una tasa de redundancia de 1/4, lo que significa que el tamaño del bloque de datos con código Hamming es un 25% mayor que el tamaño del bloque de datos original.
- El código Hamming es utilizado en comunicaciones digitales, almacenamiento de datos, procesamiento de señales y otras aplicaciones

V. Código del programa

El código del programa se adjuntó junto con este informe.

Gráficos

Sin codificar:

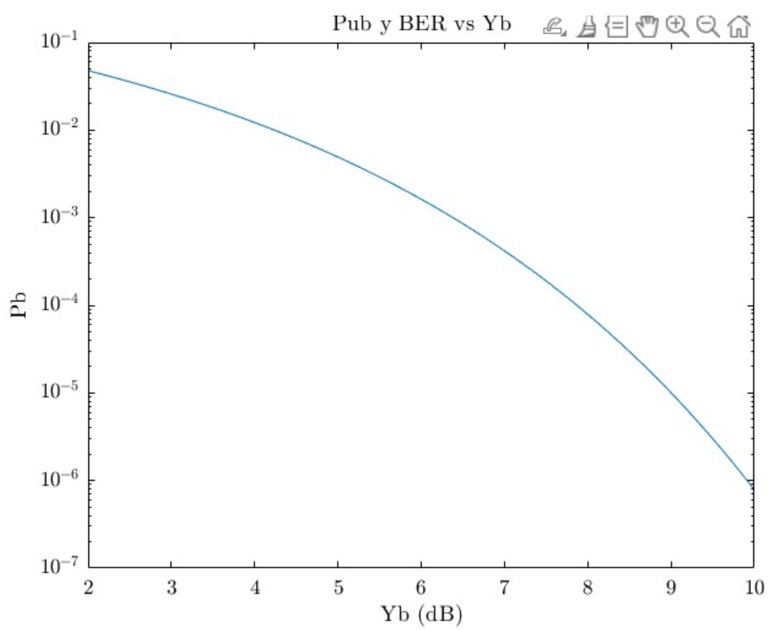


En relación a esta figura, se presenta la representación gráfica de la probabilidad de error (Pub) frente a la relación señal a ruido (gamma b), tanto en su versión teórica como en la obtenida mediante simulación. Estas curvas se generan al analizar un sistema de comunicación sin emplear ningún tipo de codificación. En la curva teórica, se abarcó un rango continuo de valores de gamma Yub, que variaron desde 2 dB hasta 10 dB. Por otro lado, en la curva de la simulación, se optó por valores específicos de Yub para obtener los correspondientes valores de la tasa de errores en bits (BER). Es importante destacar que la probabilidad de error (Pub) es equivalente a la BER.

La curva teórica muestra una tendencia descendente a medida que el valor de gamma (la relación señal a ruido) aumenta. Se aprecia que un valor bajo de gamma conlleva a una probabilidad de error más elevada, lo que implica más errores en la palabra codificada recibida por el demodulador. Por el contrario, un valor alto de gamma se traduce en una probabilidad de error menor, indicando menos errores en la palabra codificada recibida.

Los valores de Pub para los diferentes valores de gamma b que se utilizaron en la simulación deberían ser aproximadamente iguales o cercanos a los valores de Pub presentes en la curva teórica. Esto subraya que la teoría se asemeja de manera significativa a lo que se podría observar en una simulación o en una implementación práctica.

Con codificar:



La figura incluye las mismas curvas (la teórica y de simulación). Sin embargo, hay variaciones. Según las curvas, a partir de un gamma b igual a 4 dB, es posible obtener un Pb más pequeño utilizando valores de SNR (gamma b) más pequeños. Esto indica que el sistema requeriría menos potencia para transmitir datos con una mayor confiabilidad, lo cual supone un gasto energético menor costo. Esto se debe a la eficacia del codificador de canal Hamming(7,4), el cual es capaz de detectar y corregir errores simples. Aunque es cierto que pueden ocurrir errores dobles, triples u incluso más, los errores simples son mucho más comunes (tienen una mayor probabilidad de ocurrencia) que los errores más complejos.

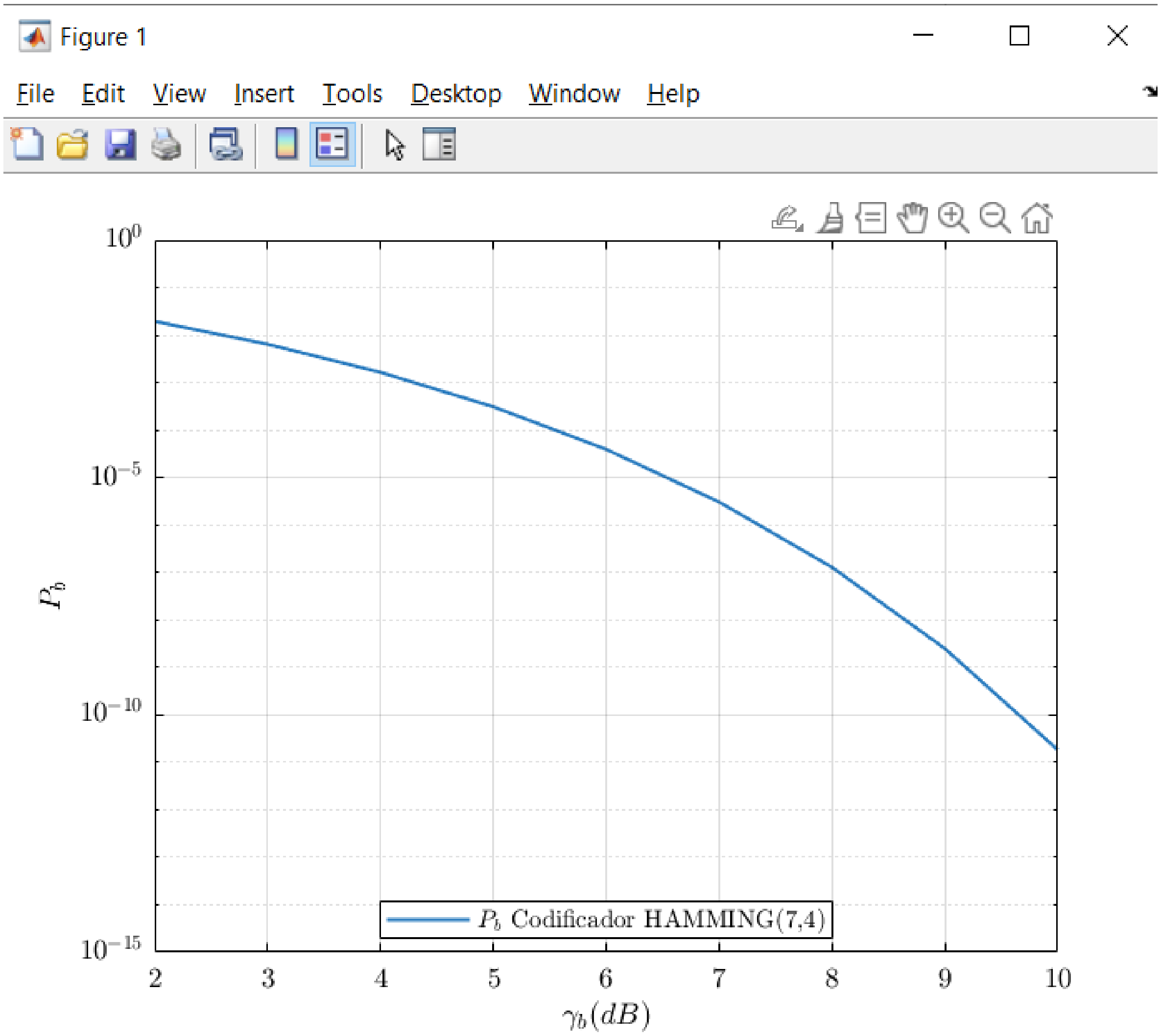
Respecto a esta segunda gráfica, es similar a la primera con ligeras variaciones. Como comentario adicional, en esta figura, las diferencias entre los datos simulados y los valores teóricos son más evidentes que en la figura anterior. Se ha demostrado que la probabilidad de error en un sistema codificado (con capacidad para corregir errores) siempre será mayor que en un sistema sin ningún tipo de codificación, especialmente con un codificador Hamming(7,4), que tiene una distancia mínima (dmin) de 3, lo que significa que puede corregir hasta tres errores en una secuencia de bits.

2. Instrucciones para caso con codificación de bloque

2.1 Curva teórica Pb vs. γb

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

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



2.2 Curva del BER vs. γb (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

Conclusiones.

- Un sistema que incorpora codificación y tiene la capacidad de identificar y solucionar errores generalmente exhibe una probabilidad de error más baja en comparación con un sistema que carece de esta codificación.
- La similitud o aproximación entre los valores teóricos y los resultados obtenidos en la simulación permite verificar la validez de la teoría aplicada.

- Cuando se opta por una codificación capaz de corregir errores simples, se elige la primera alternativa debido a que los errores simples son mucho más frecuentes que los errores más complejos, como los dobles o triples.
- Se puede observar cómo varía el BER a medida que se modifican los valores de la relación señal a ruido. En general, a medida que la SNR aumenta, el BER disminuya, lo que indica una mejor calidad de la transmisión.