

## Laboratorio Comunicaciones Digitales IV

Paolo Genta

## 0..1. Introducción

En el ámbito de las comunicaciones digitales, uno de los principales desafíos es asegurar que los datos transmitidos lleguen correctamente al receptor, incluso cuando el canal introduce ruido. Una métrica clave para evaluar esta confiabilidad es la Tasa de Error de Bit, o *BER* (Bit Error Rate). El BER indica la proporción de bits transmitidos que se reciben de forma incorrecta, y es una herramienta esencial para comparar diferentes técnicas de modulación y condiciones de canal.

Este laboratorio tiene como objetivo estudiar el comportamiento del BER bajo distintas modulaciones digitales en banda base: BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) y 8-PSK (8-Phase Shift Keying). Utilizando MATLAB, se simulará el proceso de transmisión de datos digitales por un canal con ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) y se analizará la relación entre el BER y la relación señal a ruido  $E_b/N_0$ .

## 0..2. Antecedentes

En sistemas digitales, los datos binarios se representan mediante símbolos que se modulan sobre una señal portadora. En este laboratorio se analizarán tres tipos de modulación:

- **BPSK**: utiliza dos fases ( $0$  y  $\pi$ ) para representar los bits  $0$  y  $1$ . Es la modulación binaria más simple y robusta frente al ruido.
- **QPSK**: codifica 2 bits por símbolo, usando cuatro fases separadas por  $90$  grados. Duplica la eficiencia espectral de BPSK.
- **8-PSK**: representa 3 bits por símbolo con ocho fases diferentes. Aunque mejora la eficiencia espectral, es más sensible al ruido.

El canal AWGN es un modelo común para representar un canal afectado por ruido térmico. En este modelo, la señal recibida es la señal original más una perturbación aleatoria con distribución gaussiana. La relación  $E_b/N_0$  permite cuantificar la cantidad de señal disponible por cada bit transmitido respecto al nivel de ruido. A mayor  $E_b/N_0$ , menor probabilidad de error.

## 0..3. Metodología

### Simulación en MATLAB

Se realizaron simulaciones en MATLAB para cada tipo de modulación (BPSK, QPSK, 8-PSK) bajo distintas condiciones de  $E_b/N_0$  (entre  $1$  y  $11$  dB). Para cada caso:

1. Se generó una secuencia de bits aleatorios.
2. Los bits se mapearon a símbolos según la modulación correspondiente.
3. Se agregó ruido AWGN a los símbolos transmitidos.
4. Se decodificaron los símbolos ruidosos para obtener los bits estimados.
5. Se calculó el BER comparando bits transmitidos y recibidos.

Se utilizó un número suficientemente grande de bits ( $10^6$ ) para asegurar precisión estadística.

Los códigos de simulación en MATLAB se adaptaron para calcular el BER empírico utilizando operadores vectorizados y gráficos semilogarítmicos para una correcta visualización de los resultados.

## 0..4. Resultados

Se obtuvieron gráficas que muestran la evolución del BER en función de  $E_b/N_0$  para cada modulación. Los resultados revelan lo siguiente:

- **BPSK** alcanza BER muy bajos con menos de 10 dB de  $E_b/N_0$ .

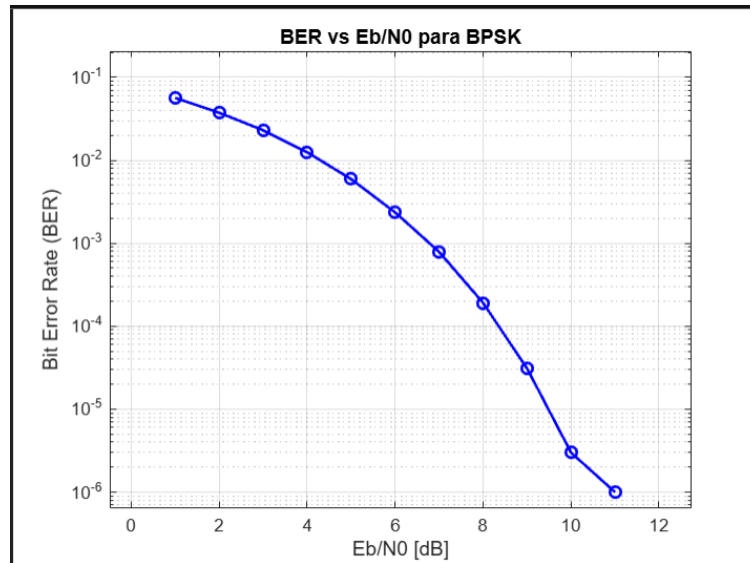


Figura 1: BER vs  $E_b/N_0$  para BPSK

- **QPSK** presenta un rendimiento muy similar al de BPSK, ya que internamente puede verse como dos transmisiones BPSK ortogonales.

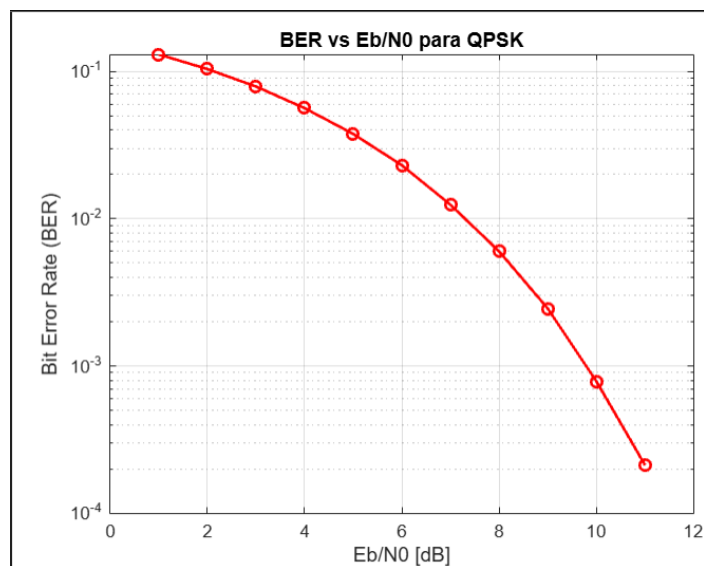
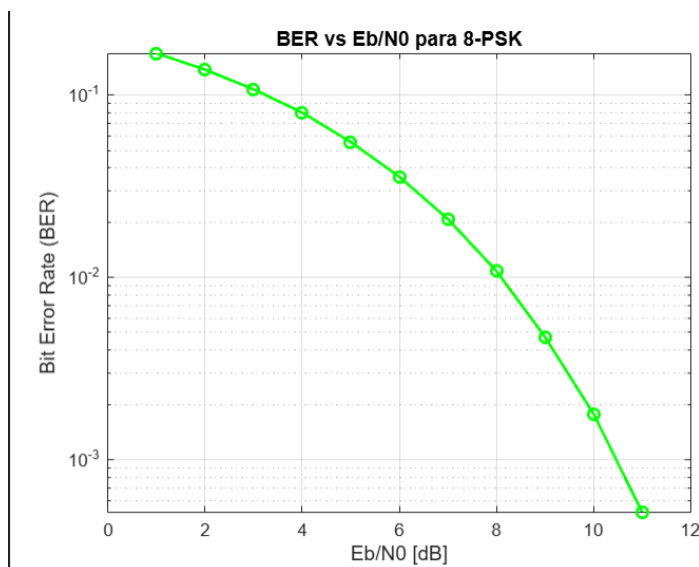


Figura 2: BER vs  $E_b/N_0$  para QPSK

- **8-PSK** requiere valores más altos de  $E_b/N_0$  para alcanzar el mismo BER, debido a la menor distancia angular entre símbolos.

Figura 3: BER vs  $E_b/N_0$  para 8-PSK

Los datos fueron visualizados en gráficos semilogarítmicos (BER vs  $E_b/N_0$ ) que evidencian la caída exponencial del BER con el aumento de la relación señal a ruido.

## 0..5. Análisis de Resultados

Los resultados muestran una relación inversa clara entre  $E_b/N_0$  y el BER. A mayor relación, la probabilidad de error disminuye, lo cual es coherente con la teoría.

El hecho de que QPSK tenga un rendimiento similar a BPSK es esperable, ya que cada componente I y Q actúa como una señal BPSK independiente. Por otro lado, 8-PSK tiene más símbolos en el mismo espacio de fase, lo que genera menor separación entre símbolos y, por lo tanto, mayor sensibilidad al ruido.

Este laboratorio permite apreciar las ventajas y limitaciones de cada técnica de modulación. Mientras BPSK ofrece una gran robustez, 8-PSK permite transmitir más bits por símbolo pero a costa de una mayor vulnerabilidad al ruido.

## 0..6. Conclusiones

A través de este laboratorio fue posible comprender el comportamiento de la Tasa de Error de Bit (BER) en diferentes esquemas de modulación digital sobre un canal con ruido blanco gaussiano aditivo. Se confirmó que a mayor relación  $E_b/N_0$ , menor es la probabilidad de error, lo que valida los fundamentos teóricos de las comunicaciones digitales. La modulación BPSK demostró ser la más robusta frente al ruido, gracias a la gran separación entre sus símbolos. QPSK, por su parte, logró mantener un rendimiento casi idéntico al de BPSK, con la ventaja adicional de una mayor eficiencia espectral al transmitir dos bits por símbolo. En contraste, 8-PSK presentó un aumento en el BER en comparación con BPSK y QPSK, especialmente en condiciones de bajo  $E_b/N_0$ , debido a la menor separación angular entre sus símbolos. No obstante, su eficiencia en términos de cantidad de bits transmitidos por símbolo la hace atractiva para aplicaciones donde se dispone de buen SNR. Finalmente, se concluye que la elección de la modulación debe hacerse en función del compromiso entre eficiencia espectral y robustez frente al ruido, y que MATLAB es una herramienta eficaz para modelar y visualizar estos comportamientos de forma clara y didáctica.

## 0..7. Anexos

Los códigos utilizados para este laboratorio se encuentran en el siguiente repositorio:  
[https://github.com/PaolooG/Lab\\_04\\_CD.git](https://github.com/PaolooG/Lab_04_CD.git)