



Objetivos

Esta experiencia tiene como objetivo aplicar los conceptos de modulación digital para la transmisión y recepción de señales. Se busca implementar un modulador y un demodulador digital, aplicar un modelo de canal y realizar simulaciones para determinar el rendimiento del sistema de transmisión.

Instrucciones

1. El trabajo es en parejas o individual.
2. Fecha de entrega: **Sábado 9 de Julio del 2022 hasta las 23:55.**
3. La entrega consta de un informe de laboratorio (en PDF) y el código fuente con que se hicieron las pruebas.
4. La entrega tanto del informe (en PDF) como del programa debe ser en un archivo comprimido a través del link publicado en el classroom correspondiente.
5. Cualquier copia detectada entre los trabajos será calificada con nota mínima y será causal de reprobación del laboratorio.

Herramientas

Se utilizará el lenguaje de programación [Python 3](#) y algunos módulos de utilidad como: [Numpy](#), [Scipy](#), [Matplotlib](#).

Se recomienda utilizar algún IDE adecuado para el desarrollo de su trabajo por ejemplo: [PyCharm](#) o [Spyder](#), entre otros.

Si bien usar ejemplos y tutoriales encontrados en la web es una buena aproximación inicial, se recomienda fuertemente revisar o utilizar la documentación oficial del lenguaje y librerías. Debe citar los sitios web que usó como referencias.

Desarrollo

En clases se estudió la transmisión de información digital por un canal de comunicaciones a través de la técnica denominada **modulación**. Entre los sistemas de modulación digital se encuentran: ASK, FSK, PSK, QPSK o QAM, entre otras.

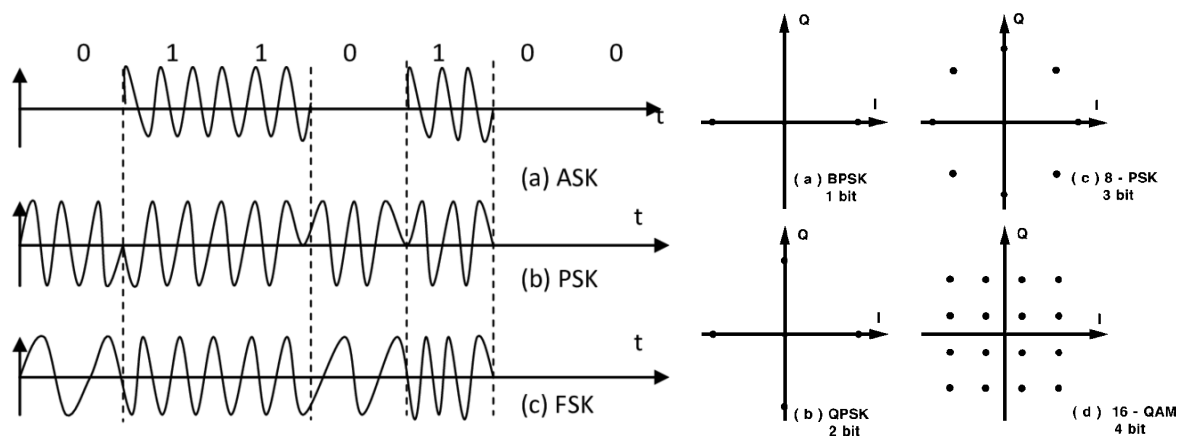


Figura 1. Ejemplos de modulación digital.



Implemente y simule un sistema de comunicaciones digitales que se transmite por un canal AWGN:

1. Implemente un modulador digital que reciba un arreglo de bits y retorna la señal modulada. Ingrese como parámetro la tasa de bits del sistema. El tipo de modulación se deja a su criterio.
 - a. Describa su sistema y los parámetros utilizados. Un diagrama de bloques puede ser de utilidad.
 - b. Muestre que su sistema funciona para una caso de prueba pequeño.
2. Implemente un demodulador digital, que reciba la señal generada en el Punto 1, la tasa de bits utilizada, y retorna un arreglo de bits.
 - a. Describa su sistema y los parámetros utilizados. Un diagrama de bloques puede ser de utilidad.
 - b. Muestre que su sistema funciona para una caso de prueba pequeño.
3. Implemente un simulador de canal tipo AWGN. Reciba como parámetro la razón de señal a ruido (SNR)¹ y una señal modulada (como la del Punto 1). Debe retornar la señal de entrada con el nivel de ruido seleccionado.
4. Usando todo lo anterior simule un sistema de comunicación usando un canal AWGN y obtenga su rendimiento en términos de la tasa de error de bits (BER) (o probabilidad de error P_e) versus la razón señal a ruido (SNR) del canal. Para esto:
 - a. Genere un arreglo de bits aleatorio. Para que los resultados tengan validez estadística use un largo $L = [10^5, 10^6, 10^7, \dots]$ según estime conveniente.
 - b. Simule la transmisión de los bits aplicando el modulador, demodulador y el canal AWGN para varios niveles de ruido. Considere al menos 10 niveles de SNR entre -2 y 10 dB.
 - c. Para cada SNR determine la tasa de errores de bit (BER) de su demodulador comparando los bits demodulados con los bits originales.
 - d. Repita el proceso para al menos tres tasas de bits diferentes.
 - e. Presente el rendimiento de su sistema en un gráfico de BER vs SNR para cada tasa de bits utilizada. Ver Figura 2 para un ejemplo.
5. Analice sus resultados y responda
 - ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la modulación digital?
 - ¿Cuáles son los principales usos para la modulación digital?
 - ¿De qué depende la tasa de errores de un sistema de comunicación digital?
 - ¿Cómo se puede mejorar la tasa de errores de un sistema de comunicación digital?
 - ¿Cómo afecta el ruido a la tasa de datos del sistema?
 - ¿Cómo se puede mejorar la tasa de datos de un sistema de comunicación digital?

¹ Note que si tiene ruido con una distribución normal $n = N(0, 1)$, puede aumentar la potencia del ruido cambiando su varianza, en este caso $n = \sigma N(0, 1)$. Para relacionar la varianza con el SNR_{dB} considere $\sigma = \sqrt{P_{\text{signal}}/SNR_{\text{lineal}}}$.

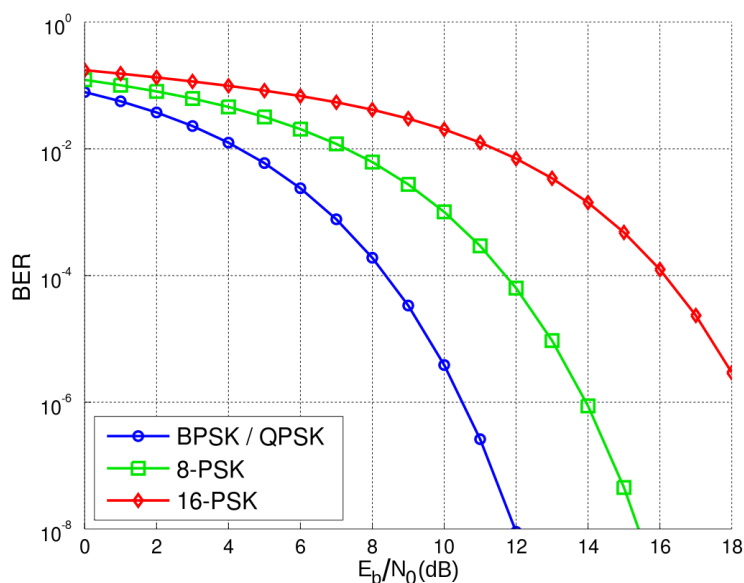


Figura 2. Ejemplo de una curva BER. En este caso normalizada a la razón señal a ruido por bit (E_b/N_0), pero también se puede usar el SNR (dB).

Informe

Se debe enviar un informe de laboratorio en formato PDF con todo el trabajo realizado y que incluya al menos las siguientes secciones:

- **Introducción** (0.5 - 1.0 página): Contexto, objetivos e información bibliográfica de relevancia (no es necesario repetir información que existe en la bibliografía, pero sí citar y/o sintetizar). *¿Qué se hará y por qué?*
- **Marco Teórico:** Explicaciones básicas sobre todos los temas y tópicos tratados en la actividad. *¿Qué conceptos necesito saber para entender?*
- **Desarrollo y resultados:** Explicación del trabajo realizado, exponiendo la señal creada originalmente, todas las modulaciones realizadas y todos los resultados obtenidos. Incluir algoritmos y/o códigos (extractos, resumen), diagramas, imágenes y tablas. *¿Qué se hizo y qué se obtuvo?*
- **Análisis de resultados:** Análisis de cada resultado, ¿está correcto?, por qué salió ese resultado, relacionar resultados con los contenidos del curso. *¿Tienen sentido mis resultados, por qué obtuve estos resultados?*
- **Conclusiones** (0.5 - 1.0 página): Síntesis de los principales resultados encontrados y su relación con los contenidos. Problemas encontrados y cómo fueron solucionados. Conclusiones personales. *¿Qué aprendí con este trabajo?*
- **Bibliografía:** Listado de referencias usadas en el trabajo. ¡Todas!. Libros (indicando capítulos), publicaciones, sitios web y videos (enlace y fecha de última visita), material de clases, etc. Formato APA. *¿Qué fuentes utilicé en este trabajo?*

Se evaluará:

- Manejo de los contenidos, certeza de las aseveraciones.
- Calidad de la información presentada (gráficos, tablas, imágenes).



- Formato y redacción.
- Capacidad de síntesis y claridad.

Código

Se debe adjuntar el código del programa realizado, el cual debe cumplir con los principios de buenas prácticas de programación y documentación. Se evaluará:

- Completitud y correctitud: el código resuelve todo el laboratorio y funciona sin errores.
- Orden y documentación: el código está ordenado, es auto explicativo, presenta comentarios para explicar qué se resuelve en cada paso. (se valora/recomienda programar -funciones, variables- y comentar en inglés)
- Técnicas de programación: adecuado uso de paradigmas de programación (funcional, orientado a objetos, paralelismo, etc), estructura del código (correcto uso de funciones, clases, tipos de datos, estructuras de datos), testeo, documentación.
- Instrucciones de uso del código. Incluya instrucciones en el informe y/o en un archivo README.

Dudas y consultas por correo al ayudante y profesor de cátedra.