

## Práctica 1 Fase 2: CModulación M-PSK

DEIBY FERNANDO ARIZA CADENA - 2195590  
JUAN MANUEL CARDONA ERAZO - 2195551  
BRADLEE ALEJANDRO CASTRO CASTRO - 2204649

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones  
Universidad Industrial de Santander

1 de mayo de 2024

### Resumen

Durante la práctica de laboratorio de modulación MPSK, se exploraron las técnicas fundamentales de modulación de fase en sistemas de comunicación digital. Utilizando GNU Radio, se implementaron transmisores MPSK basados en la teoría impartida en clase. Se realizaron pruebas para verificar los conceptos de diagramas de constelación y tablas de verdad, así como para evaluar el impacto del ruido en las constelaciones. También se reconocieron los parámetros clave de las señales moduladas, como el ancho de banda y la relación de tasa de símbolos, y se comprendió la funcionalidad de los bloques en la producción de sistemas de comunicación. Mediante el análisis de señales de salida en el dominio de la frecuencia, se pudo obtener una mejor comprensión de la eficiencia y características de las modulaciones MPSK.

### 1. Metodología y análisis de resultados

**Equipo necesario:** Para llevar a cabo esta práctica de laboratorio, se requieren los siguientes materiales y herramientas:

- Acceso a Git y GitHub a través de la terminal para la gestión del repositorio de código.
- Software GNU Radio instalado en la computadora para la generación y análisis de señales.
- Archivos de configuración y flujogramas proporcionados para la práctica.

Para la primera parte, se implementó una modulación M-PSK [1] utilizando los métodos VCO y tablas de verdad. Se siguieron las instrucciones de un video tutorial [2] para orientar el proceso. Además, el grupo elaboró un flujograma propio para guiar el desarrollo de la implementación. La evidencia correspondiente se mostró durante el transcurso de la práctica.

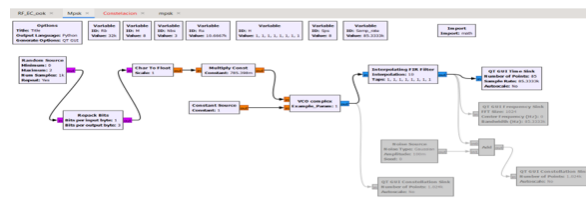


Fig.1. Modulación M-PSK con VCO.

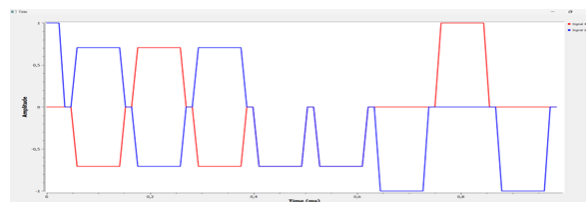


Fig.2. Amplitud vs Tiempo M-PSK con VCO.

A continuación se obtuvo el ancho de banda de la envolvente compleja [3] como parte del proceso de implementación de la modulación M-PSK, este proceso permitió una mejor comprensión de las características de la señal modulada y su comportamiento en el sistema de comunicaciones.

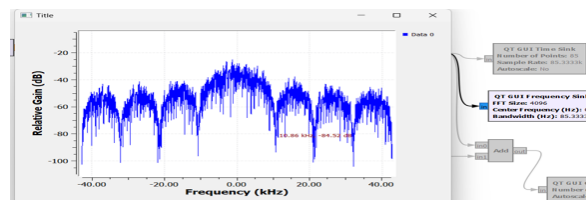


Fig.3. Ganancia vs Frecuencia.

**Análisis de la señal y su PSD:** Para analizar la señal y su densidad espectral de potencia (PSD), se visualizó el espectro de frecuencia de la señal modulada. Se identificaron los puntos donde el espectro pasa por cero, lo que indica la frecuencia central de la señal. Además, se examinaron los picos de la PSD para determinar la distribución de energía en diferentes frecuencias. La relación

entre estos valores y la tasa de símbolos proporcionó información sobre la eficiencia espectral y la capacidad de transmisión del sistema. Este análisis contribuyó a evaluar el rendimiento y la calidad de la modulación M-PSK implementada.

En la **figura 3**. Se aprecia el ancho de banda de la señal en aproximadamente 21.6 kHz, lo cual viene dado por la cantidad de muestras por segundo y este a su vez depende de la rata de símbolos lo cual indica la velocidad a la cual se transmiten los símbolos y de la rata de bites, también referente a la velocidad de transmisión de los bits, todo lo anterior medido en cada segundo.

Adicionalmente se encuentra el cruce por cero en aproximadamente 10.86 kHz, el cruce por cero en la gráfica de densidad espectral de potencia a una frecuencia específica puede indicar la frecuencia máxima de la señal antes de ser filtrada. En muchos sistemas de comunicación, el ancho de banda necesario para transmitir una señal es aproximadamente el doble de la tasa de símbolos “Rs”.

Si el ancho de banda de la señal es 21.6 kHz y el cruce por cero ocurre a 10.8 kHz, esto sugiere que la señal es simétrica alrededor de la frecuencia de portadora y que la tasa de símbolos podría ser aproximadamente la mitad del ancho de banda. Por lo tanto, la tasa de símbolos “Rs” se estima como la mitad del ancho de banda.

Para la siguiente etapa de esta práctica, se reprogramó la tabla de verdad para la modulación M-PSK [4] y se utilizó un "vector source" para generar los bits correspondientes a la señal de entrada. Esto permitió verificar que, utilizando GNU Radio, se obtiene la misma señal de envolvente compleja que con los métodos anteriores. Se programó el vector en GNURadio de acuerdo con los puntos de constelación definidos en la tabla de verdad, asegurando que el orden coincidiera con el ordenamiento de los símbolos en la constelación. Los resultados gráficos de la señal de envolvente compleja se presentaron como evidencia del proceso realizado.

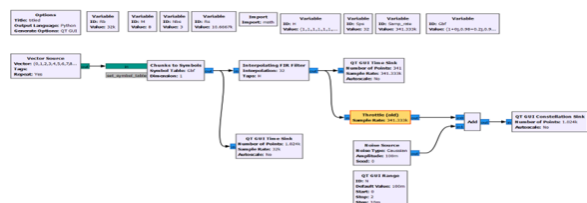


Fig.4.Diagrama de bloques generador de bits presentes en la fuente.

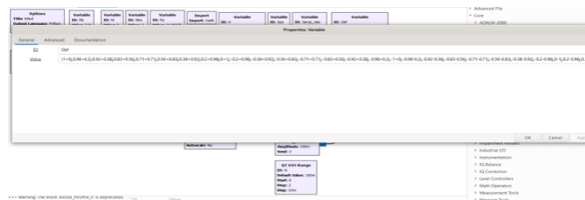


Fig.5.Vector correspondiente a la tabla de verdad.

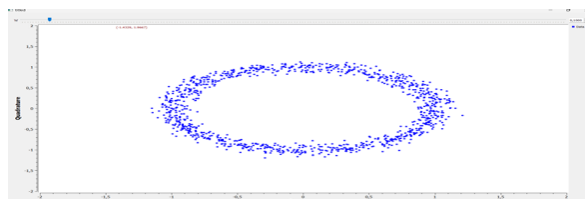


Fig.6.Diagrama de constelación.

La distribución uniforme y simétrica de los puntos alrededor del círculo unitario indica que la señal modulada tiene una fase bien definida y una amplitud constante, lo cual es característico de una modulación PSK con una buena relación señal-ruido. Este patrón ayuda a que la señal pueda ser decodificada eficientemente en el receptor, lo que resultaría en una baja tasa de error de bit y una comunicación digital efectiva.

Ahora se procede a obtener la envolvente compleja de la señal, siguiendo el mismo proceso realizado durante los ejercicios en clase. Se aplicaron las técnicas aprendidas para calcular la envolvente compleja de la señal modulada M-PSK, lo cual implica obtener la parte imaginaria de la señal compleja. Este paso es crucial para el análisis y la representación de la señal en el dominio de la envolvente compleja, lo que facilita su manipulación y procesamiento posterior.

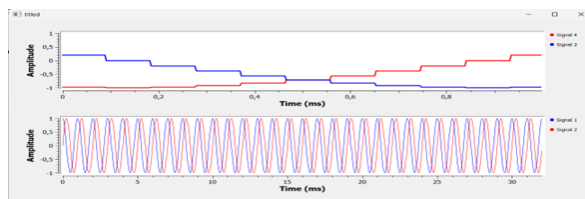


Fig.7.Amplitud vs tiempo después y antes de interpolar.

Es posible notar el cambio de la envolvente compleja apreciando los cambios de magnitud que genera la señal moduladora.

Luego se procedió a implementar una modulación Q-PSK siguiendo las instrucciones proporcionadas en un video orientativo [5]. Luego, se repitieron los pasos 3 a 5 del procedimiento anterior para calcular el ancho de banda de la señal, la velocidad de bits y la velocidad de símbolos. Posteriormente, se realizó una comparación entre los parámetros obtenidos en la modulación

M-PSK y la modulación Q-PSK, con el objetivo de analizar y comprender las diferencias entre ambas técnicas de modulación.

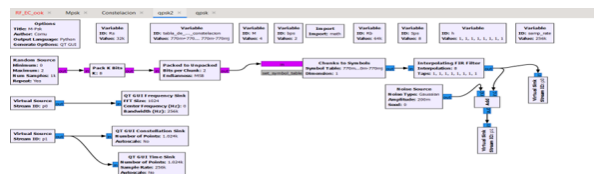


Fig.8.Bloques modulación Q-PSK.

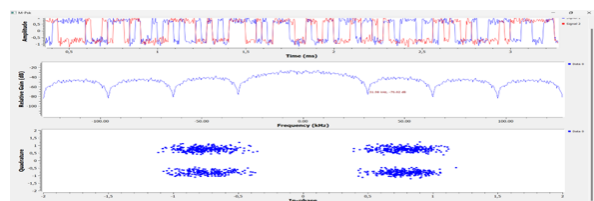


Fig.9.Gráfica Q-PSK, Amplitud, Ganancia y Quadratura vs tiempo.

En la **figura 9**. Se aprecia el ancho de banda de la señal en aproximadamente 64 kHz, adicionalmente se encuentra el cruce por cero en aproximadamente 31.9 kHz. Realizando una comparación con el diagrama mostrado en la **figura 1**. Con lo cual después de realizar una comparación se concluye que en el montaje presentado en la **figura 8**. Se gana ancho de banda al tener menor tasa de símbolos en comparación de la tasa de bits, ideal para transmitir más información en menos tiempo.

Para la etapa final de la práctica, se procedió a realizar pruebas adicionales utilizando constelaciones [6] diferentes creadas por cada miembro del grupo. Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos para sacar conclusiones sobre el comportamiento de estas constelaciones alternativas en comparación con las utilizadas anteriormente. Este ejercicio permitió explorar y comprender cómo diferentes configuraciones de constelaciones pueden afectar el rendimiento y la eficiencia del sistema de modulación.

Se realizaron 3 pruebas para 3 modulaciones diferentes de PSK, posteriormente se realizó un análisis de las diferencias y características relevantes de la comparación.

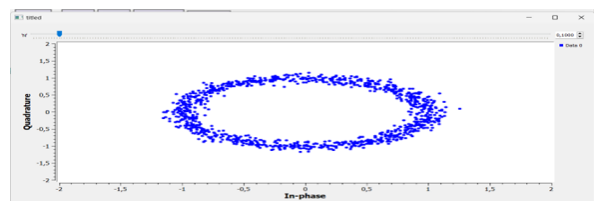


Fig.10.Diagrama de constelación para 32-PSK con ruido del 10%.

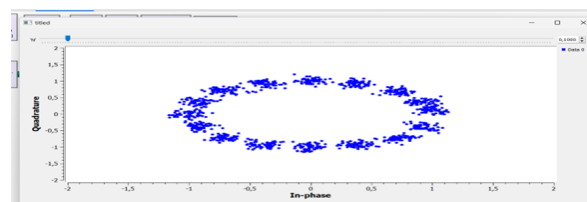


Fig.11.Diagrama de constelación para 16-PSK con ruido del 10%.

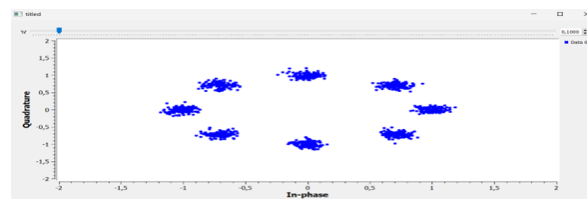


Fig.12.Gráfica 8-PSK con ruido del 10%.

Se observó que la constelación 8PSK mostró la mayor resistencia al ruido debido a su menor densidad de puntos y mayor separación entre ellos, resultando en una dispersión menos crítica y una distinción más clara entre puntos. Por el contrario, 32PSK, con la mayor densidad de puntos, fue la más afectada por el ruido, mostrando considerable solapamiento y la más alta tasa de error de bit (BER). Esto sugiere que, en entornos con niveles significativos de ruido, esquemas como 8PSK son preferibles por su robustez, mientras que 32PSK podría ser adecuado para entornos de bajo ruido donde se requiere una alta capacidad de transmisión de datos, siempre que se implementen técnicas eficaces de mitigación de ruido.

## 2. Conclusiones

Del desarrollo de la anterior práctica de laboratorio, se puede concluir qué:

- La práctica permitió al grupo adquirir un mayor dominio en el concepto y la implementación de la modulación de fase, específicamente en las variantes M-PSK y Q-PSK. Esto incluye la comprensión de cómo la variación de la fase de la señal portadora puede representar información y cómo implementar esta técnica utilizando herramientas como GNU Radio.
- Fue posible tener la oportunidad de vincular conceptos teóricos con su aplicación práctica en el diseño y la implementación de sistemas de comunicaciones digitales. Esto permitió profundizar la comprensión de la teoría subyacente detrás de la modulación de fase y su relevancia en aplicaciones del mundo real.

- Se involucró la resolución de una variedad de problemas técnicos y conceptuales, lo que permitió desarrollar habilidades de resolución de problemas y pensamiento crítico. A través de la experimentación y la iteración, fue posible superar desafíos y obtener una comprensión más profunda de los conceptos estudiados.
- Dado que el ancho de banda de la señal es aproximadamente 21.6 kHz y el cruce por cero ocurre a 10.8 kHz, podemos inferir que la señal es simétrica respecto a la frecuencia de portadora y que el ancho de banda es el doble de la frecuencia de cruce por cero. Esto es típico en señales moduladas donde el ancho de banda es proporcional a la tasa de símbolos.
- La modulación M-PSK permite una transmisión de datos más rápida dentro de un ancho de banda dado al incorporar múltiples bits por símbolo. Esta técnica mejora significativamente la eficiencia espectral, haciendo posible enviar más información sin necesidad de expandir el espectro de frecuencia utilizado.
- La separación entre puntos en la constelación se reduce conforme aumenta el número de fases en M-PSK, lo que hace que configuraciones como 32PSK sean más susceptibles al ruido en comparación con 8PSK o QPSK. Este fenómeno se evidenció en la disminución de la claridad en las constelaciones observadas durante las pruebas con ruido.
- La elección entre usar QPSK o 8PSK debe basarse en las necesidades específicas de la aplicación respecto a la tasa de transmisión y tolerancia al ruido. QPSK es más adecuada para entornos con alta interferencia debido a su mayor distancia entre símbolos en la constelación, lo que facilita una

recepción más clara y precisa. Por otro lado, 8PSK es preferible en escenarios donde la capacidad de transmisión es prioritaria y las condiciones del canal permiten una recepción clara a pesar de una mayor densidad de símbolos.

Enlace a GitHub: [7]

## Referencias

- [1] "Práctica 1 fase 2: Modulación m-psk." [Online]. Available: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/2117/Manual%20de%20Usuario.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [2] "Práctica 1 fase 2: Primer video tutorial." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=47FUTpV7y4A>
- [3] "Práctica 1 fase 2: La envolvente compleja." [Online]. Available: <https://electroagenda.com/es/envolvente-compleja-implementacion/>
- [4] "Práctica 1 fase 2: Tablas de verdad." [Online]. Available: <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/0e194d3c-101c-4ad4-b2e3-7f6f8e8bdd95/content>
- [5] "Práctica 1 fase 2: Segundo video tutorial." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=2rsu-c26Tqo>
- [6] "Práctica 1 fase 2: Diagramas de constelación." [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_constelaci3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_constelaci3n)
- [7] "Práctica 1 fase 2: Enlace a github." [Online]. Available: [https://github.com/Juan2195551/labcomu2\\_2024\\_1/tree/main/Lab4](https://github.com/Juan2195551/labcomu2_2024_1/tree/main/Lab4)