

Práctica 4: MODULACIÓN M-PSK

Santiago Hernando Posada Bayona-2190428 Juan Camilo González Leal - 2184682

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Universidad Industrial de Santander

GitHub: https://github.com/santiagoposada2190428/Com2_A1_G7

19 de 10 de 2025

Resumen

M-PSK (Phase Shift Keying) modulation is used in a variety of applications, from satellite data transmission to mobile communications and fiber optic networks. This type of modulation changes the phase of a carrier signal to transmit data efficiently, making it an essential tool in modern communications.

1. Introducción

Este informe tiene como objetivo analizar la modulación M-PSK (Phase Shift Keying), enfocándose en aspectos como los diagramas de constelación, las tablas de verdad y el efecto del ruido sobre las señales moduladas. Para ello, se utiliza GNU Radio como herramienta principal para estudiar y evaluar estos conceptos en un contexto práctico.

2. Metodología

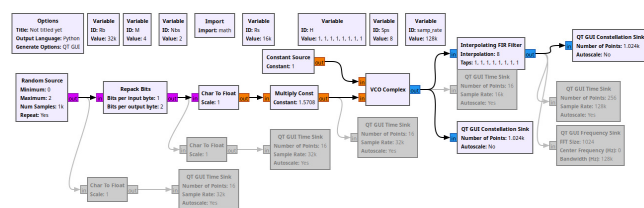


Fig. 1: Diagrama de Bloques con VCO

La figura 1 muestra la implementación de una modulación 8-PSK utilizando un Oscilador Controlado por Voltaje (VCO). En esta configuración, se incorpora una fuente de datos aleatorios para simular una señal representativa del entorno real. Esta señal es modulada usando la técnica 8-PSK y visualizada con bloques de la interfaz gráfica "QT GUI".

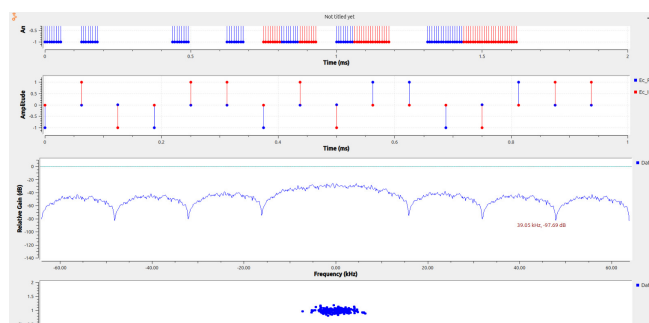


Fig. 2: Ancho de Banda

En la Figura 2 se muestra el ancho de banda de la envolvente compleja de la señal modulada, que se determina en aproximadamente 8 kHz. Posteriormente, se calcula la Densidad Espectral de Potencia (PSD) para analizar cómo se distribuye la energía en el espectro y confirmar la relación con la tasa de símbolos, lo cual permite evaluar la eficiencia espectral del sistema.

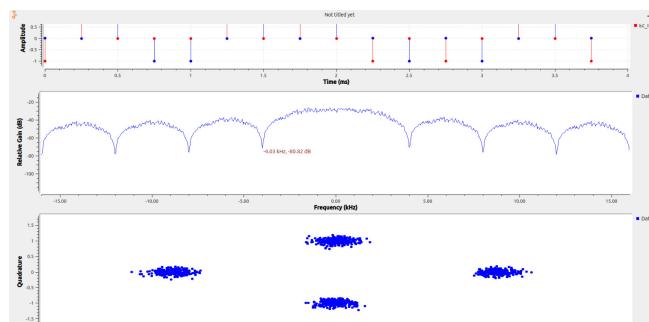


Fig. 3: PSD

La Densidad Espectral de Potencia (PSD) muestra un mínimo en los 4 kHz, relacionado con la tasa de símbolos R_b . Esto confirma que el ancho de banda de la señal depende directamente de estos parámetros, ya que los



mínimos de potencia corresponden a la tasa de símbolos y marcan los límites del ancho de banda.

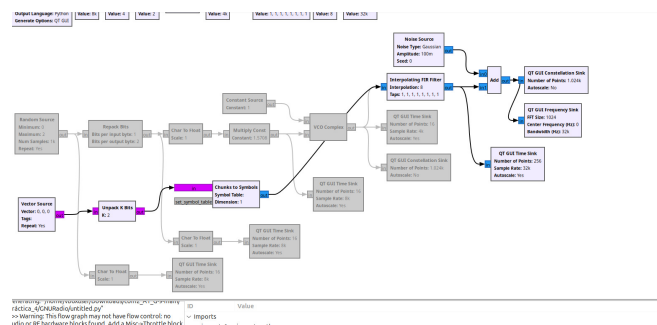


Fig. 4: Diagrama de Bloques Reprogramado

El siguiente paso fue modificar el diagrama de bloques utilizando un "vector source" para generar los bits desde una tabla de verdad. Esto permitió verificar que con GNU Radio se obtiene la misma envolvente compleja, lo que valida el comportamiento del sistema.

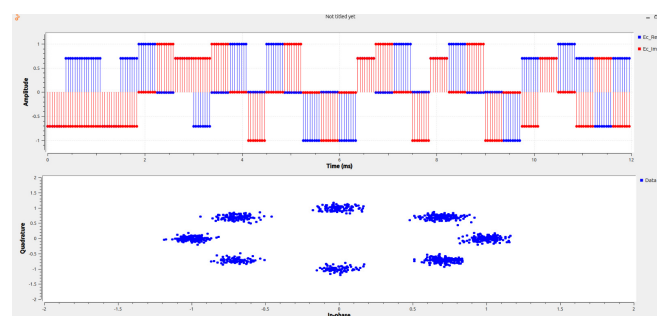


Fig. 5: Graficas vector Source

Se logró obtener la misma envolvente compleja utilizando el "vector source". El diagrama de constelaciones obtenido fue coherente con el resultado previo. Sin embargo, fue necesario ajustar el orden de los puntos en la constelación para que coincidieran con el orden de los símbolos usados en el sistema.

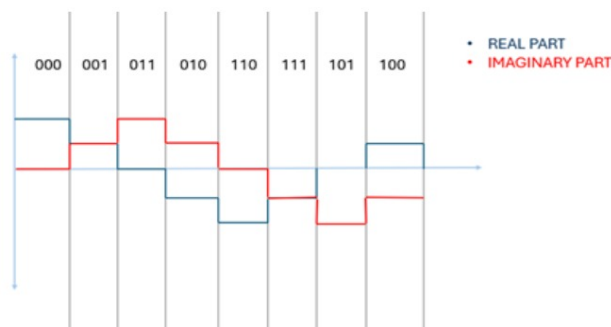


Fig. 6: Envolvente Compleja

Siguiendo el diagrama de constelación y la tabla de verdad obtenidos, se graficó la envolvente compleja (Figura 6). Se implementó una modulación QPSK mediante GNU Radio, tomando como base el video Implementación de un modulador M-PSK en GNU Radio. En particular QPSK[2], añadiendo una fuente de ruido al final de la modulación para simular condiciones más realistas.

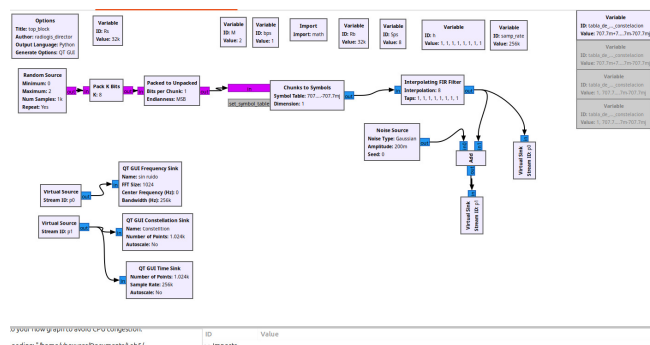


Fig. 7: Diagrama de Bloques del Modulador QPSK

A continuación, se muestran las señales moduladas obtenidas de la implementación del diagrama de bloques QPSK, como se muestra en la Figura 11.

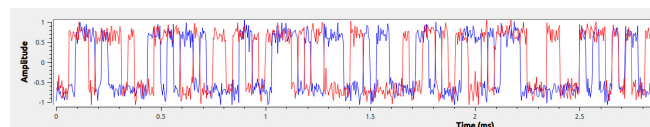


Fig. 8: Señales Moduladas tiempo

Se calculó el ancho de banda de la señal modulada, que resultó ser de 31,5 kHz, como se observa en la Figura 9.

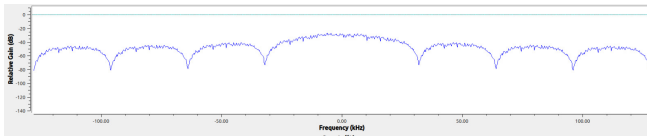


Fig. 9: ancho de banda

Se realizaron pruebas variando parámetros como la tasa de símbolos, lo que afecta directamente la tasa de bits y el ancho de banda de la envolvente compleja, como se observa en la PSD mostrada en la Figura 10.

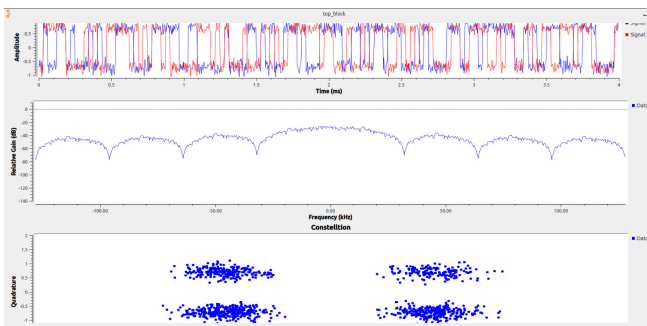


Fig. 10: PSD

Se reprogramó la tabla de verdad y se añadió un bloque "vector source" para generar los bits. Este ajuste permitió actualizar el diagrama de bloques de GNU Radio para simular con mayor precisión la señal deseada.

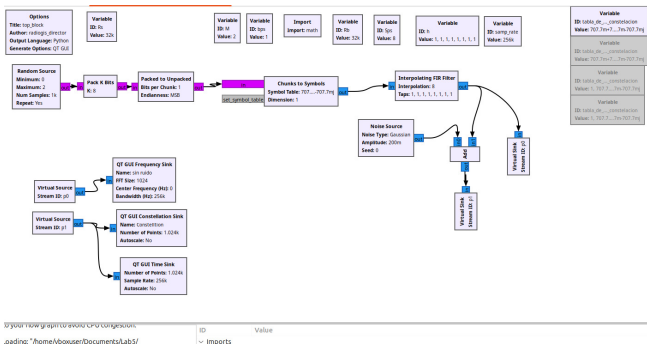


Fig. 11: Diagrama de Bloques con Vector Source

El diagrama de bloques actualizado incorpora la fuente de vector, lo que permitió generar la señal de salida con los símbolos de la tabla de verdad modificada.

3. Análisis de resultados

Por último, se llevaron a cabo pruebas adicionales utilizando diversas constelaciones definidas por el grupo. A

continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos:

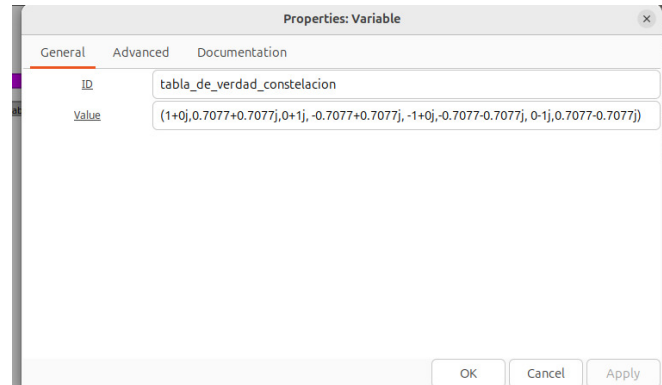


Fig. 12: Tabla de verdad propuesta

La Figura 12 presenta la tabla de verdad elaborada por el grupo, utilizada para generar correctamente el diagrama de constelación.

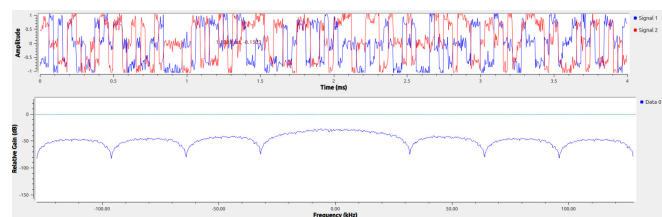


Fig. 13: señal modulada propuesta

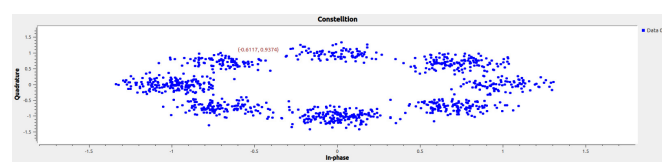


Fig. 14: Diagrama de constelación

Durante el desarrollo de la práctica se llevaron a cabo la implementación y el análisis de las modulaciones 8-PSK y QPSK utilizando GNU Radio, evaluando su desempeño tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. A partir de las gráficas obtenidas y de las pruebas realizadas, fue posible identificar diversos aspectos relevantes del comportamiento de cada esquema de modulación.

En la primera fase, se empleó un oscilador controlado por voltaje (VCO) para generar la modulación 8-PSK. A partir de la señal obtenida, se evidenció una envolvente compleja con un ancho de banda aproximado de

8 kHz, coherente con una tasa de símbolos intermedia y una modulación con mayor número de estados de fase. El análisis de la densidad espectral de potencia (PSD) permitió confirmar que los valles espectrales coincidían con la tasa de símbolos, validando así la relación teórica entre estos parámetros. De igual manera, se observó que las variaciones en la tasa de símbolos repercuten directamente en el ancho de banda ocupado por la señal transmitida.

Posteriormente, se reemplazó la fuente aleatoria por un bloque Vector Source con una tabla de verdad definida manualmente. Esta modificación permitió controlar de forma precisa la secuencia de símbolos, obteniendo así una envolvente compleja y un diagrama de constelación más fieles al comportamiento teórico. Durante esta etapa, se identificó la necesidad de ajustar el orden de los elementos del vector para garantizar una correspondencia exacta con los símbolos esperados en la constelación.

En la implementación del esquema QPSK, se registró un incremento del ancho de banda hasta aproximadamente 31,5 kHz, superior al caso anterior. Dicho aumento se relacionó principalmente con la configuración específica del sistema, en particular con la tasa de símbolos empleada. Al igual que en la modulación 8-PSK, el análisis espectral reafirmó la dependencia directa entre el ancho de banda y la tasa de símbolos.

Finalmente, se evaluó una tabla de verdad alternativa con una asignación distinta de los puntos de constelación. Aunque esto produjo variaciones visuales en los diagramas de constelación, ni el ancho de banda ni la forma general de la envolvente compleja presentaron cambios significativos. Este resultado confirma que la disposición de los símbolos en la constelación afecta la representación gráfica, pero no condiciona las propiedades espectrales de la señal, las cuales dependen principalmente de parámetros como la tasa de símbolos y el filtrado aplicado.

En conclusión, GNU Radio se demostró como una herramienta adecuada para la validación experimental de conceptos de modulación digital. Los resultados obtenidos fortalecen la comprensión de que la estructura de la constelación influye en la codificación simbólica, mientras que el comportamiento espectral está determinado fundamentalmente por la configuración del sistema y no por la asignación específica de fases en la constelación.

4. Conclusiones

En este laboratorio, se exploraron diversos aspectos del proceso de visualización, manipulación y análisis de señales moduladas en formato M-PAM, con el objetivo

de comprender su comportamiento práctico y obtener información útil. A través de las etapas implementadas, se validaron conceptos teóricos fundamentales y se identificaron desafíos comunes en el procesamiento de señales digitales.

La comparación entre BPSK y QPSK reveló que QPSK utiliza menos ancho de banda, lo que representa una ventaja significativa. Esta reducción mejora la eficiencia espectral, permitiendo un uso más eficiente del espectro disponible. Además, al realizar pruebas con la reprogramación de la señal mediante una tabla de verdad y una fuente vectorial, se comprobó que es posible generar una señal con una envolvente compleja comparable, aunque con variaciones según la configuración empleada. Este ejercicio también facilitó la comprensión de cómo los cambios en la constelación afectan los niveles de la señal.

Teorema de Nyquist [1]. GNU Radio [2] Comunicaciones Digitales basadas en radio definida por software [3] [?]

Referencias

- [1] "Teorema de nyquist." [Online]. Available: <https://techlib.net/techedu/teorema-de-nyquist/>
- [2] "Gnu radio." [Online]. Available: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page
- [3] "Comunicaciones digitales basadas en radio definida por software." [Online]. Available: https://drive.google.com/file/d/1fd9M4_bIjwLOajQdkdN9ex2pLYRoXomz/view

article
hyperref