

Lab 4: La modulación de M-PSK

Duvan Nicolas Gomez Diaz - 2202786

Erwin Mauricio Blanco Otero - 2184673

Camilo Andrés Barreto Jimenez - 2184260

https://github.com/duvangomez30/Com2_B1_G6

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

3 de Mayo del 2025

Abstract

In this laboratory practice, the M-ary Phase Shift Keying (M-PSK) modulation technique is implemented and analyzed using GNU Radio under a software-defined radio (SDR) paradigm. M-PSK is a digital modulation scheme widely used in modern communication systems due to its spectral efficiency and robustness in noisy environments. The experiment includes generating modulated signals through Voltage-Controlled Oscillators (VCO) and truth tables, visualizing constellation diagrams, and evaluating parameters such as bandwidth and symbol rate. The performance of QPSK and custom constellations are also compared to evaluate modulation efficiency and signal integrity. This work provides a practical foundation for understanding phase-based digital modulation and its role in wireless communication systems.

1. Introducción

La modulación por desplazamiento de fase en M niveles (M-PSK) es una técnica fundamental en los sistemas modernos de comunicaciones digitales, utilizada en aplicaciones como la telefonía móvil, las redes satelitales y las transmisiones por fibra óptica. Esta técnica codifica información digital mediante la variación discreta de la fase de una portadora sinusoidal, lo que permite una transmisión eficiente y robusta frente al ruido. En el contexto del paradigma de radio definida por software (SDR), esta práctica se enfoca en la implementación y análisis de modulaciones M-PSK y QPSK utilizando GNU Radio, sin necesidad de hardware físico, pero simulando la envolvente compleja del canal de radio. A través de la generación de señales moduladas mediante VCO y vectores de constelación, el análisis espectral de la se-

ñal y la visualización de diagramas de constelación, se exploran conceptos clave como la eficiencia espectral, la tasa de símbolos y la integridad de la señal en presencia de ruido. La práctica también contempla el diseño de constelaciones personalizadas, promoviendo el entendimiento profundo del impacto de la codificación de fase sobre el rendimiento del sistema.

2. Metodología

2.1. Diagrama y análisis de bloques

A través del diagrama mostrado en la Figura 1, se representa un sistema diseñado en el software GNU Radio mostrado en el material de referencia [1] el cual nos permite realizar modulaciones M-PSK usando los métodos VCO y tablas de verdad.

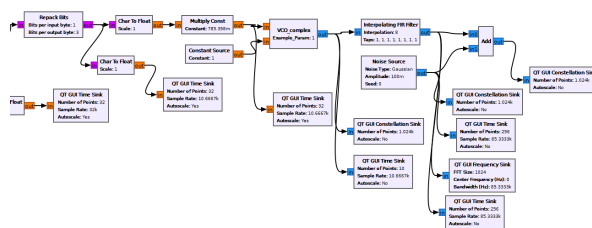


Figura 1. Diagrama de bloques para modulación M-PSK.

2.2. M-PSK

■ Envolvente compleja.

En la Figura 2, se muestra la densidad espectral de potencia (PSD) de la envolvente compleja de una señal modulada M-PSK.

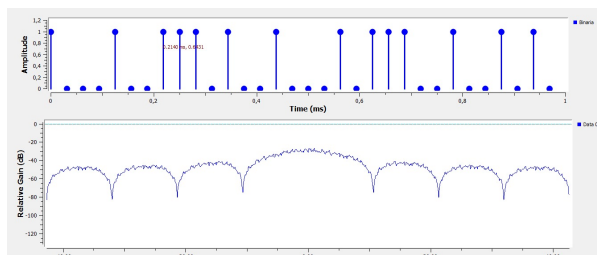


Figura 2. Densidad espectral de potencia señal modulada. .

A partir del gráfico de densidad espectral de potencia (PSD), se observa que la señal modulada presenta un espectro centrado en 0 Hz, con caídas pronunciadas alrededor de ± 12 kHz. Por tanto, se puede determinar que el ancho de banda total de la envolvente compleja es de aproximadamente 24 kHz. Esto concuerda con el uso de una tasa de símbolos (R_s 10.66 kHz) y un filtro interpolador que introduce un exceso de ancho de banda debido a su respuesta no ideal.

- El espectro pasa por cero en aproximadamente ± 12.01 kHz, como se aprecia en la Figura 2. Esta ubicación de los nulos espectrales representa los límites de la banda ocupada por la señal modulada.

La relación con la tasa de símbolos es directa:

$$BW \approx (1 + \alpha) \cdot R_s$$

donde α es el exceso de ancho de banda introducido por el filtro (en este caso, un FIR interpolador con taps planos). Así, si $R_s \approx 10,66$ kHz y 0.5, se obtiene un ancho de banda cercano a 16 kHz–24 kHz, lo cual coincide con lo observado.

- En la Figura 3 se muestra el diagrama de constelaciones de la modulación M-PSK

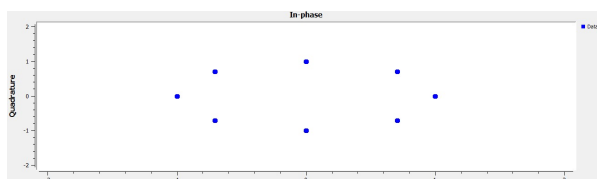


Figura 3. Diagrama de constelaciones de señal modulada. .

el que se ingresaron los puntos de constelación correspondientes a cada símbolo binario. Estos puntos se definieron respetando el orden de la secuencia binaria para asegurar la correcta correspondencia con la constelación de 8-PSK. Por ejemplo, el primer símbolo (000) se asoció al valor complejo $-0,77 - 0,77i$, seguido del símbolo 001 con $-1 + 0i$, y así sucesivamente. En la Tabla 1 se muestra la tabla de verdad completa.

Bits	Decimal	Fase (rad)	Fase (°)	Valor complejo (aproximado)
000	0	$\frac{5\pi}{4}$	225°	$-0.707 - 0.707j$
001	1	π	180°	$-1 + 0j$
010	2	$\frac{3\pi}{4}$	355°	$0.707 + 0j$
011	3	$\frac{\pi}{4}$	90°	$0 + 0j$
100	4	$\frac{1}{4}$	0°	$0.707 + 0.707j$
105	5	$\frac{1}{4}$	355°	$0,707 + 0,707j$
111	7	$\frac{370}{20}$	270°	$0 - 1j$

Tabla 1. Tabla de verdad 8-PSK.

Con esta tabla de verdad reconstruimos la señal modulada como se muestra en la Figura 4

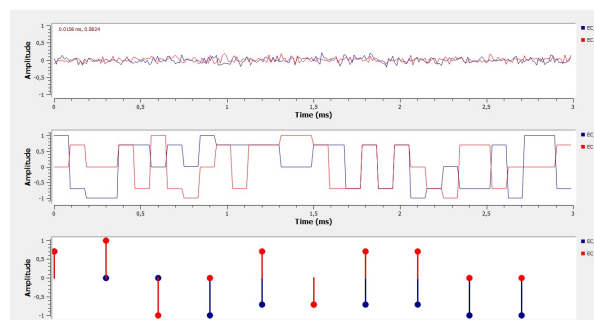


Figura 4. Señal reconstruida.

2.3. Q-PSK

- Para verificar la generación de la señal envolvente compleja en GNU Radio, se reprogramó la tabla de verdad utilizando un bloque *Vector Source*, en

El flujograma fue reconfigurado conforme a las indicaciones de la guía, en la Figura 5 se muestra el nuevo flujograma.



- Finalmente, se concluye que, aunque las modulaciones de orden superior como 8-PSK incrementan la eficiencia espectral al transmitir más bits por símbolo, también demandan mayor precisión en la sincronización y son más sensibles a degradaciones en el canal, lo que debe ser considerado en el diseño de sistemas de comunicación robustos.

Referencias

- [1] H. O. Boada and O. M. R. T. , *Comunicaciones Digitales basadas en radio definida por software. Volumen I.* ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES– E3T UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS.