# 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 moulaciones M-PSK usando los métodos VCO y tablas de verdad.

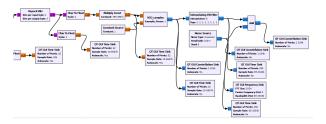


Figura 1.Diagrama de bloques para modulación M-PSK.

### 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.



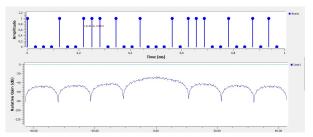


Figura 2. Densidad espectral de potencia señal modulada. .

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 (Rs 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 es el exceso de ancho de banda introducido por el filtro (en este caso, un FIR interpolador con taps planos). Así, si  $R_s \approx 10{,}66~\rm kHz$  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

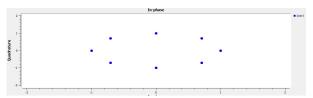


Figura 3. Diagrama de constenalciones de señal modulada. .

 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 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	$\pi$	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

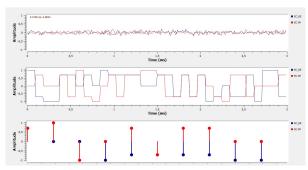


Figura 4. Señal reconstruida.

## 2.3. Q-PSK

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

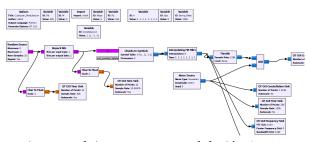


Figura 5. Flujograma para modulación Q-PSK.

- Se lleva a cabo el mismo analisis previamente realizado en las modulaciones M-PSK. Calculamos el ancho de banda de la señal modulada y lo comparamos con lo esperado teóricamente.
- Se evaluaron también constelaciones personalizadas, incluyendo una de 8 fases y otra con distribución triangular, lo que permitió analizar su comportamiento ante la presencia de ruido y su complejidad de implementación. Posteriormente, se recopilaron los resultados, se ajustaron las gráficas y se resaltó que, aunque las modulaciones más complejas ofrecen mayores tasas de transmisión, también presentan mayor susceptibilidad al ruido.

## 3. Analisis de resultados

A partir del análisis espectral realizado sobre la señal modulada M-PSK generada en GNU Radio, se verificó que el espectro se encuentra centrado en 0 Hz, con componentes significativas hasta aproximadamente  $\pm 12$  kHz, lo que indica un ancho de banda total de cerca de 24 kHz. Esta observación concuerda con la tasa de símbolos utilizada ( $R_s \approx 10,66$  kHz) y el exceso de ancho de banda introducido por el filtro interpolador.

El diagrama de constelación correspondiente a la modulación 8-PSK mostró una distribución uniforme de los símbolos en el plano complejo, confirmando la correcta codificación de la tabla de verdad. La implementación mediante el bloque *Vector Source* permitió definir manualmente los puntos de la constelación, garantizando una correspondencia precisa entre símbolos binarios y sus representaciones complejas.

Asimismo, se construyeron y analizaron constelaciones personalizadas, incluyendo una con 8 fases alternativas y otra con una geometría triangular. Estas variaciones evidenciaron cómo la forma de la constelación afecta la robustez frente al ruido: las configuraciones no simétricas mostraron una mayor dispersión en presencia de perturbaciones, lo cual compromete la integridad de la señal.

Finalmente, al comparar modulaciones como QPSK y 8-PSK, se observó que, aunque las modulaciones de mayor orden permiten aumentar la tasa de transmisión de datos, también presentan mayor vulnerabilidad al ruido y requieren una implementación más precisa. Estas observaciones permiten entender el compromiso entre eficiencia espectral y confiabilidad en el diseño de sistemas de comunicación digital. En la tabla 2 se muesta la comparación entre las modulaciones

Bits	Decimal	Fase (rad)	Fase (°)	Valor complejo (aproximado)
000	0	$\frac{5\pi}{4}$	225°	-0.707 - 0.707j
001	1	$\pi$	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 2. Tabla comparativa entre modulaciones.

### 4. Conclusiones

- Se comprobó experimentalmente que la modulación 8-PSK permite representar tres bits por símbolo mediante la ubicación de puntos equidistantes sobre el plano complejo, optimizando el uso del ancho de banda sin aumentar la frecuencia de transmisión.
- La correcta definición del vector de constelación en el bloque Vector Source de GNU Radio fue clave para asegurar la correspondencia entre la secuencia binaria de entrada y los valores complejos modulados, reflejando fielmente la tabla de verdad establecida para la modulación.
- El análisis espectral demostró que el ancho de banda ocupado por la señal modulada es coherente con la tasa de símbolos utilizada y el exceso de ancho de banda introducido por la interpolación, lo que valida la configuración de los parámetros de transmisión.
- Las constelaciones personalizadas permitieron visualizar cómo la geometría de los puntos de modulación influye directamente en la tolerancia al ruido. Se evidenció que distribuciones no simétricas o con separaciones angulares reducidas tienden a aumentar la probabilidad de error de símbolo en presencia de interferencias.



■ 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 INGENIER IAS ELECTRICA ELECTR ONICA Y TELECOMUNICACIONES—E3T UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER — UIS.