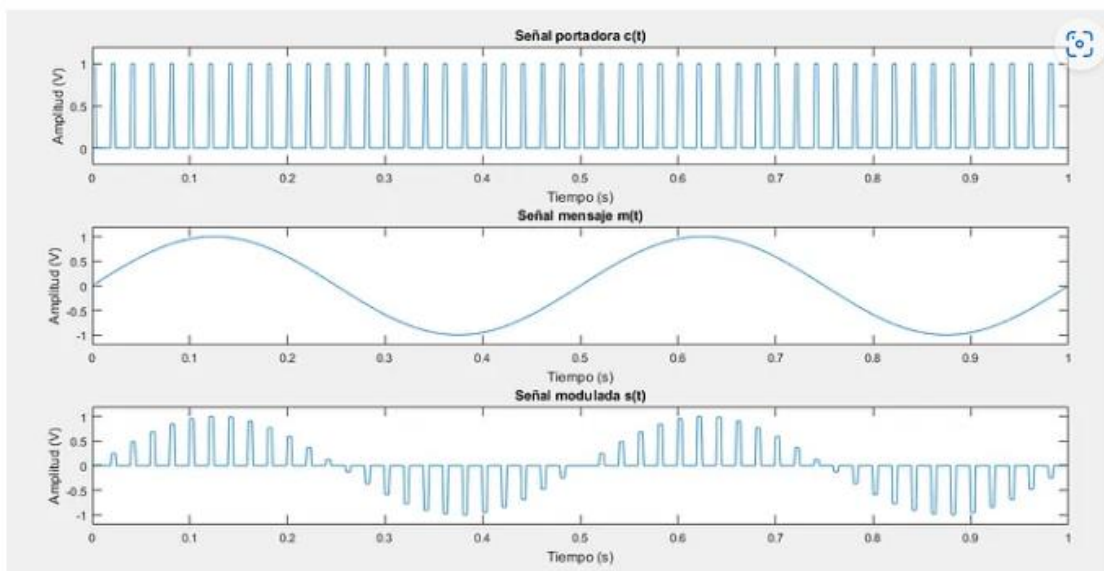


## Introducción

La modulación de señales es una técnica fundamental en las telecomunicaciones y la transmisión de datos. Consiste en modificar una señal portadora para transmitir información. Este proceso es esencial para adaptar las señales a las características del medio de transmisión y para optimizar el uso del espectro de frecuencias. Existen varios tipos de modulación, como la modulación de amplitud (AM), modulación de frecuencia (FM), modulación de fase (PM), y técnicas más avanzadas como la modulación por posición de pulso (PPM) y la modulación por ancho de pulso (PWM). Cada tipo de modulación tiene sus propias ventajas y aplicaciones específicas, desde la radiodifusión hasta las comunicaciones digitales y ópticas.

En la técnica de modulación de señal **PAM** la información a transmitir, señal de mensaje, se codifica en la amplitud de los pulsos de señal. La amplitud de la señal portadora de mayor frecuencia varía de acuerdo con la señal de información. En el proceso de demodulación de la señal, en cada período de símbolo instantáneo la señal original es obtenida del nivel de amplitud de la señal portadora.

La señal modulada PAM se da del producto de una señal analógica continua por un tren de pulsos de amplitud constante, de la cual se obtiene como resultado un tren de pulsos modulado en amplitud. En los siguientes esquemas se muestra cómo se obtiene la señal modulada PAM y el comportamiento de las respectivas señales.



Señal portadora, señal de mensaje y señal PAM modulada

Para la demodulación de una señal PAM, esta debe pasarse por un filtro pasa baja. Este filtro

elimina las señales de alta frecuencia generando así, la señal demodulada. A esta señal se le debe aplicar un amplificador inversor para aumentar el nivel de la señal y así obtener la salida demodulada con un valor de amplitud muy parecido a la señal de modulación. En el siguiente esquema se muestra cómo se agrega el LPF a la señal modulada para obtener la señal original.

### *Ventajas y desventajas*

La modulación y demodulación de una señal PAM es un proceso bastante simple comparado a otras técnicas y los circuitos utilizados para realizar ambos procesos de transmisión y recepción de la señal también lo son. Una de las características de este tipo de muestreo es que realiza la muestra de la señal de forma instantánea cada cierto intervalo de tiempo, de esta forma ese tiempo no va a ser mayor que la frecuencia de muestreo.

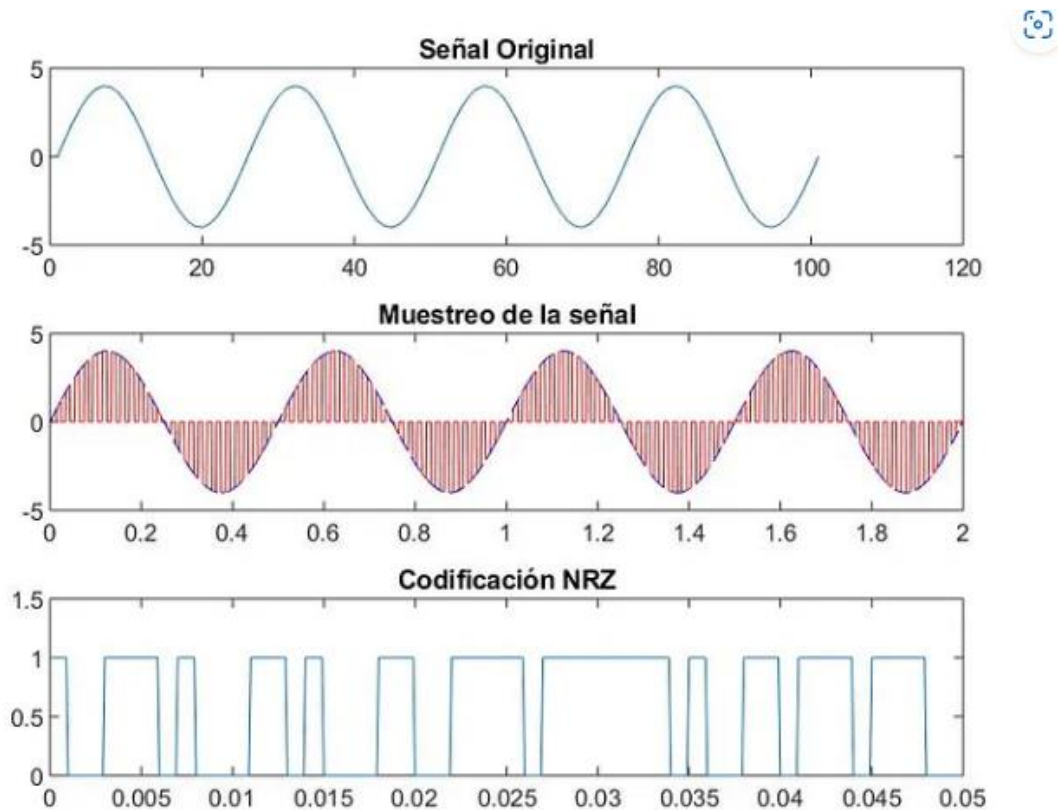
Sin embargo, debido a la naturaleza de esta modulación en la que se almacena la información en la amplitud de los pulsos generados, se presenta vulnerabilidad al ruido aditivo tanto antes de que se dé la modulación como durante su transmisión. Además, como el ancho del pulso varía durante el proceso, el uso del ancho de banda y la potencia es significativa.

La modulación por codificación de pulso (**PCM**) es uno de los métodos más utilizados para ya que gracias a este se logra transformar señales analógicas en señales digitales. Para la implementación de este método se presentan tres etapas principales: muestreo de la señal, cuantificación de la señal y codificación de la señal.

Cuando se habla de muestreo de la señal se parte de una señal analógica a la cual se adquieren los datos en distintos instantes de tiempo de manera uniforme. Para este proceso se recomienda que la frecuencia de muestreo sea el doble de la frecuencia máxima de la señal muestreada, cumpliendo con el Criterio de Nyquist.

En el proceso de cuantificación es cuando se define un rango de valores en el cual nos definirá la precisión del pulso. Estos valores de amplitud de la señal, son fijos, es decir que a medida que la señal adquiera valores cercanos al umbral definido, la señal se aproxima a un valor arriba o abajo, dependiendo de valor más cercano, esto hace que no se presenten valores intermedios.

Seguidamente para la etapa de codificación se utiliza para transmitir el mensaje de manera que la señal sea menos sensible al ruido, para esto se utilizan métodos de codificación para traducir el valor discreto de la señal en un arreglo de "1's" y "0's" al cual llamaremos códigos de línea.



### Ventajas y Desventajas

Es menos sensible al ruido o interferencia en el canal de comunicación.

Para recuperar la señal modulada es más simple en comparación con cualquier otro método de modulación.

Estos sistemas tienden a ser siempre más costosos y complejos en su implementación.

Requiere un mayor ancho de banda.

[PCM. La modulación por codificación de pulso... | by Angelica Aiza | Modulaciones de pulsos \(muestreo, PAM, PPM, PCM y Delta\) | Medium](#)

En **ASK**, los dos valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora. Es usual que una de las amplitudes sea cero, es decir, uno de los dígitos binarios se representa mediante la presencia de la portadora a amplitud constante, y el otro mediante la ausencia de la portadora. ASK es

sensible a cambios repentinos de la ganancia además de una técnica de modulación ineficaz. En líneas de calidad telefónica, ASK se usa típicamente a 1200 bps como mucho.

Ventajas:

Simplicidad: Fácil de implementar y entender.

Eficiencia espectral: Utiliza el espectro de manera eficiente en aplicaciones de baja velocidad.

Desventajas:

Susceptibilidad al ruido: Muy afectada por el ruido y la atenuación de la señal.

Distorsión: La variación en la amplitud puede causar distorsión en la señal.

En **FSK** los dos valores binarios se representan por dos frecuencias diferentes próximas a la frecuencia portadora. FSK es menos sensible a errores que ASK. Se usa en líneas telefónicas y en transmisión de radio a más altas frecuencias (desde 3 hasta 30 MHz). También se puede usar incluso a frecuencias superiores en redes de área local que utilicen cable coaxial

Ventajas:

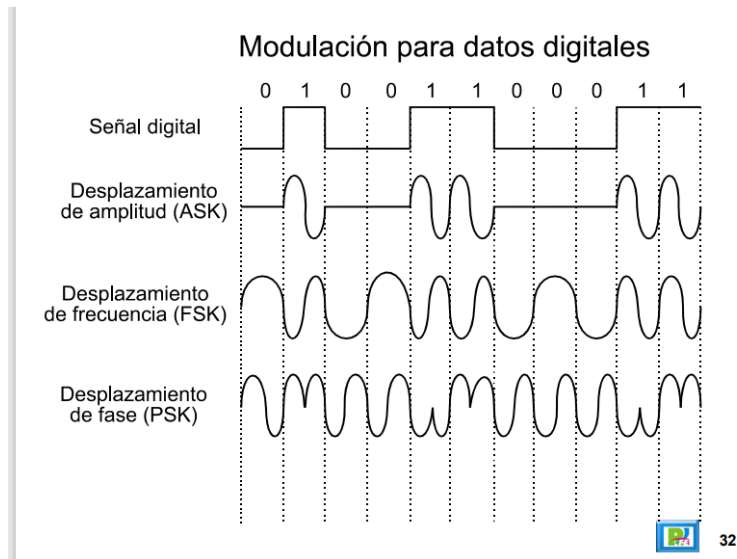
Robustez: Menos afectada por el ruido y la distorsión en comparación con ASK.

Fiabilidad: Buena para comunicaciones en entornos ruidosos.

Desventajas:

Ancho de banda: Requiere un mayor ancho de banda que ASK.

Complejidad: Más compleja de implementar y decodificar.



[Diapositiva 1 \(itmorelia.edu.mx\)](http://itmorelia.edu.mx)

**PWM**, siglas en inglés de *pulse-width modulación*) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período.

PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda dientes de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal dientes de sierra (portadora) y el ciclo de trabajo está en función de la moduladora.

#### **Ventajas:**

**Eficiencia energética:** Ideal para controlar la potencia en dispositivos como motores y luces LED.

**Simplicidad:** Fácil de implementar con microcontroladores.

**Precisión:** Permite un control preciso de la energía entregada.

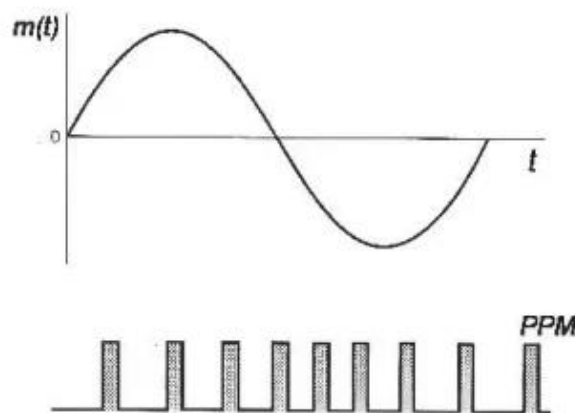
#### **Desventajas:**

**Interferencia electromagnética (EMI):** Puede generar ruido en otros dispositivos electrónicos.

**Requiere filtrado:** Para aplicaciones de audio, es necesario filtrar la señal para obtener una salida suave.

Se puede transmitir información de manera discreta de varias maneras además de la mencionada en el capítulo anterior (PAM). En las señales PAM, la información va en la amplitud de los pulsos. Si mantenemos la amplitud constante y solo variamos la posición de los pulsos en proporción a los valores de la señal a transmitir  $m(t)$  en los instantes correspondientes al muestreo figura 1 se obtiene la **modulación por posición de pulsos** o **PPM** por sus siglas en inglés.

Para generar la modulación PPM se utiliza un circuito de muestra y retención, un generador de pulsos sincrónico, un generador de diente de sierra, un comparador y un circuito monoestable. De la salida del comparador se obtienen una señal *modulada por ancho de pulso* o *PWM* de la cual se utiliza el monoestable que genera los pulsos de ancho constante de acuerdo a los flancos negativos de la señal PWM. En la siguiente figura se muestra el generador implementado en Simulink.



**Figura 1.** Señal de modulación por posición de pulsos

## **Conclusión**

En resumen, la modulación de señales es una herramienta crucial en el campo de las comunicaciones, permitiendo la transmisión eficiente y efectiva de información a través de diversos medios. La elección del tipo de modulación depende de factores como el tipo de información a transmitir, el medio de transmisión y las condiciones del entorno. Con el avance de la tecnología, las técnicas de modulación continúan evolucionando, ofreciendo soluciones cada vez más sofisticadas para satisfacer las crecientes demandas de velocidad y calidad en las comunicaciones modernas. La comprensión y aplicación adecuada de estas técnicas es esencial para el desarrollo y la optimización de sistemas de comunicación avanzados.