

# Práctica 4: MODULACIONES ANGULARES

FLOREZ RAMOS JOSE DAVID -  
2174241

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

02 de diciembre de 2023

## Resumen

Las modulaciones angulares de frecuencia (FM) y de fase (PM) son técnicas esenciales en las comunicaciones para transmitir información mediante señales moduladas. Ambas técnicas, FM y PM, son fundamentales en las comunicaciones modernas, extendiéndose a aplicaciones como telefonía móvil, televisión y comunicaciones por satélite. Han demostrado ser eficientes y confiables para la transmisión de información a larga distancia.

**Palabras clave:** modulaciones angulares, frecuencia, fase, comunicaciones

## 1. Introducción

Realizar mediciones de emisoras desde el laboratorio de comunicaciones es de suma importancia. Estas mediciones nos permiten evaluar y analizar el rendimiento de las emisoras en un entorno controlado, lo que garantiza resultados precisos y confiables. Además, nos brinda la oportunidad de identificar posibles problemas o interferencias que puedan afectar la calidad de la transmisión.

Los conocimientos adquiridos a partir de este trabajo en el laboratorio de comunicaciones pueden ser aplicados en otros sistemas de transmisión que utilizan la radio definida por software (SDR). La radio definida por software nos permite adaptar y configurar la modulación de la señal de acuerdo a las necesidades específicas del sistema. Al comprender las mediciones y análisis realizados en el laboratorio, podemos optimizar la configuración y mejorar el rendimiento de los sistemas de transmisión basados en SDR.

Las ventajas de la modulación angular frente a las modulaciones lineales en banda estrecha son diversas. La modulación angular, como la modulación de fase y la modulación de frecuencia, permite transmitir más información en un ancho de banda limitado. Esto se debe a que la

modulación angular utiliza cambios en la fase o frecuencia de la señal para representar los datos, lo que resulta en una mayor eficiencia espectral. Además, la modulación angular es más resistente al ruido y a las interferencias, lo que mejora la calidad de la transmisión.

Al medir las modulaciones angulares de banda ancha tanto en el analizador de espectros como en el osciloscopio, es importante tener en cuenta algunas consideraciones mínimas. En el analizador de espectros, debemos asegurarnos de que el ancho de banda del instrumento sea suficiente para capturar toda la información de la señal modulada. Además, es necesario ajustar correctamente los parámetros de resolución y escala para obtener una representación clara del espectro.

En el caso del osciloscopio, debemos configurar adecuadamente los canales y ajustar la escala vertical y horizontal para visualizar correctamente la señal modulada. También es importante tener en cuenta la frecuencia de muestreo para evitar el aliasing y garantizar una representación precisa de la señal.

Al generar señales moduladas angulares de banda ancha desde el SDR, es fundamental considerar algunos aspectos. Debemos asegurarnos de seleccionar correctamente los parámetros de modulación, como la desviación de frecuencia o fase, para obtener la señal deseada. Además, es importante verificar que el ancho de banda del SDR sea suficiente para transmitir la señal modulada sin distorsiones.

En el desarrollo de la práctica, se pueden afianzar habilidades en medición como el manejo y configuración de equipos de laboratorio, interpretación y análisis de resultados, identificación y solución de problemas técnicos, así como el desarrollo de habilidades técnicas en el uso de herramientas de medición y análisis. Estas



habilidades son fundamentales para garantizar mediciones precisas y confiables en el campo de las comunicaciones.

## 2. Procedimiento

- A partir de las mediciones de las emisoras FM sintonizadas desde el laboratorio:

Cuando una señal de una emisora FM es adquirida y demodulada en GNU Radio, el proceso implica varias etapas que transforman la señal desde su forma original hasta la reproducción de audio en el computador.

1. **Adquisición de la señal:** La señal de la emisora FM es capturada por el hardware, como un USRP, y convertida en una señal eléctrica.
2. **Filtrado y Amplificación:** La señal puede pasar por un bloque de filtro para eliminar componentes no deseados y luego amplificarse para asegurar una potencia adecuada.
3. **Demodulación de Frecuencia (FM):** En esta etapa, la señal modulada en frecuencia se demodula para recuperar la información original. Se utilizan bloques específicos de demodulación FM en GNU Radio.
4. **Decimación y Filtrado:** La señal demodulada puede pasar por etapas de decimación (reducción de la tasa de muestreo) y filtrado para ajustar la señal a una tasa de muestreo apropiada y eliminar componentes de alta frecuencia no deseados.
5. **Decodificación del Audio:** Después de la demodulación, la señal procesada se decodifica para extraer la información de audio original.
6. **Salida de Audio:** La señal de audio recuperada se envía a la salida de audio del sistema, permitiendo que sea reproducida a través de los altavoces o auriculares conectados al computador.

Es posible omitir algunos bloques dependiendo del escenario y los requisitos específicos, pero conlleva ciertos riesgos:

**Filtrado y Amplificación:** Si se omite el bloque de filtrado, pueden introducirse interferencias no deseadas en la señal, afectando la calidad del audio. La amplificación es importante para garantizar que la señal tenga la potencia adecuada para su procesamiento.

**Decimación y Filtrado:** Omitir estos bloques puede resultar en una tasa de muestreo inadecuada y en la presencia de componentes de alta frecuencia no deseados, afectando la calidad y eficiencia del procesamiento.

En general, aunque es posible omitir algunos bloques, hacerlo puede comprometer la calidad general de la señal y la experiencia de audio. La elección de omitir un bloque particular dependerá de las características específicas del sistema y los requisitos de la aplicación.

- El método utilizado para estimar el ancho de banda de las emisoras en el analizador de espectro implica identificar el rango de frecuencias ocupado por la señal de cada emisora. Para ello, se realiza una visualización gráfica en el analizador de espectro donde se muestra la amplitud de la señal en función de la frecuencia.

Para estimar el ancho de banda, se busca el punto en el cual la amplitud de la señal cae por debajo de un umbral determinado. Este umbral puede ser establecido según criterios específicos, como un cierto porcentaje de la amplitud máxima.

Una vez identificado el punto donde la amplitud cae por debajo del umbral, se toman las frecuencias correspondientes a ese punto como los límites del ancho de banda de la emisora.

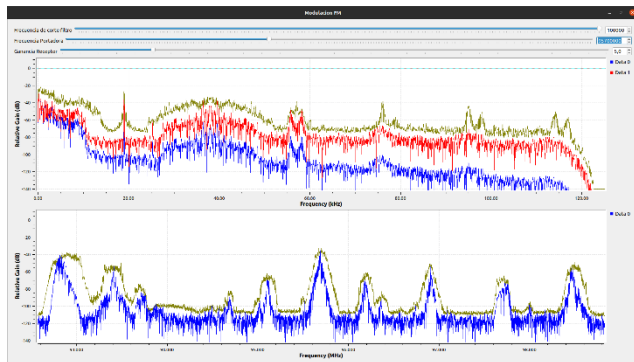
Este método se utiliza porque permite una estimación visual y rápida del ancho de banda de cada emisora en el analizador de espectro. Al resaltar en la misma gráfica el umbral utilizado y los límites del ancho de banda, se facilita la comprensión y visualización de los resultados obtenidos.



**Imagen 1.** Ancho de banda emisora 101.7Mhz.

- La imagen muestra la respuesta de frecuencia de un sistema de transmisión de radio. En el gráfico se puede observar el rango de frecuencia de 30 kHz a 500 kHz,

con la frecuencia en el eje x y la amplitud en el eje y. La curva del gráfico representa la respuesta de frecuencia del sistema, lo cual indica su rendimiento en términos de intensidad y claridad de la señal.

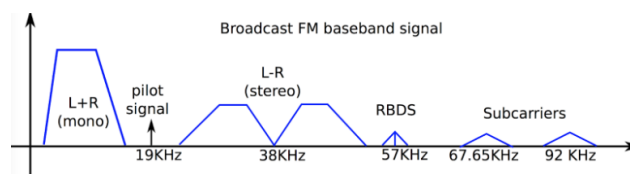


**Imagen 2.** Señal emisora TROPICANA.

En la imagen se pueden identificar los siguientes elementos:

Señal de baseband de transmisión FM: Representa la señal original que se transmite a través de las emisoras FM. Esta señal contiene información de audio y otros servicios.

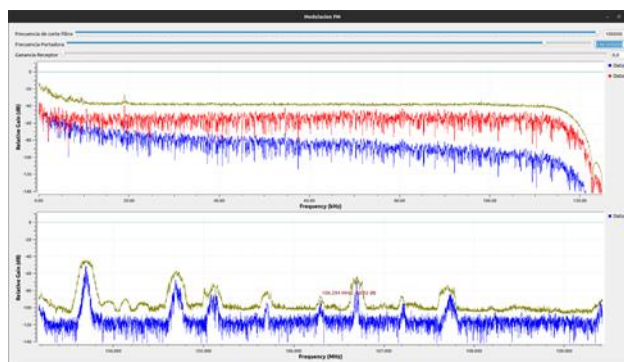
1. **Piloto:** Es una señal de referencia de 19 kHz utilizada para sincronizar los receptores y demodular correctamente la señal estéreo.
2. **L+R (mono):** Representa la señal de audio monoaural, que contiene la mezcla de los canales izquierdo y derecho.
3. **Señal (estéreo):** Representa la señal de audio estéreo, que contiene información separada para los canales izquierdo y derecho.
4. **RBDS:** Significa Radio Broadcast Data System, que es un sistema utilizado para transmitir información adicional junto con la señal de audio. Esta información puede incluir datos como el nombre de la emisora, el título de la canción, entre otros.
5. **Subportadoras:** Son señales adicionales transmitidas junto con la señal de audio principal. Estas subportadoras se utilizan para transmitir servicios como RDS, estéreo y otros datos adicionales.



### **Imagen 3.** Servicios prestados por emisoras FM.

Cada uno de estos elementos es importante dentro del sistema de transmisión de radio FM, ya que contribuyen a la calidad y funcionalidad general de la señal transmitida.

- Durante la práctica, pudimos detectar una emisora no registrada. Sin embargo, al analizar sus parámetros técnicos, determinamos que sí cumplía con el PTNRS. Esta emisora contaba únicamente con audio mono y con la señal piloto, además su potencia era bastante baja. Según nuestra clasificación, esta emisora sería considerada como una estación clase D. Adjunto una gráfica donde podemos discutir en detalle los resultados obtenidos.



**Imagen 4.** Señal demodulada emisora 106.3MHz.

A partir de las mediciones del modulador PM en el laboratorio (Parte B):

- La envolvente compleja del modulador PM es una representación gráfica que muestra cómo varía la amplitud y la fase de la señal modulada en función del tiempo. La envolvente compleja se compone de dos componentes: la parte real y la parte imaginaria.

La parte real de la envolvente compleja representa la amplitud de la señal modulada en cada instante de tiempo. Muestra cómo varía la intensidad de la señal a medida que se modula con la señal de información.

La parte imaginaria de la envolvente compleja representa la fase de la señal modulada en cada instante de tiempo. Muestra cómo cambia la posición relativa de la señal a medida que se modula con la señal de información.

En conjunto, la envolvente compleja nos brinda una representación visual de cómo se modifica la señal portadora a medida que se le aplica la modulación de fase. Esto nos permite analizar y comprender los efectos de esta modulación en la señal transmitida y

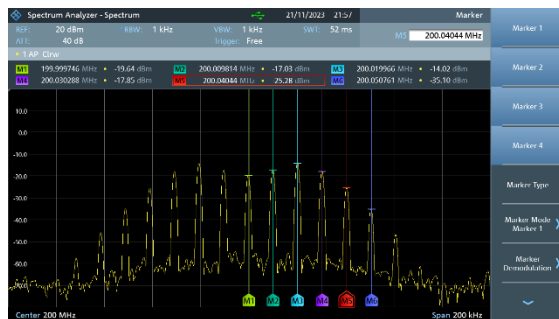


cómo se relaciona con la señal de información que se está utilizando para modularla.

- Para medir el índice de modulación experimentalmente en señales de banda ancha, podemos emplear los siguientes métodos:

1. Método Análisis Espectral:

- Captura de la señal en el analizador de espectros, para capturar la señal modulada en fase.
- En el espectro, identificar la banda laterales superiores e inferiores generadas por la modulación de fase.
- Mide la anchura total de ambas bandas laterales a un nivel específico, como a -30 dB respecto al pico de la portadora.
- Índice de modulación PM = (Ancho bandas Laterales) / (frecuencia señal moduladora).



**Imagen 5. Análisis Espectral.**

2. Método Comparación de Área:

- Utilizando un osciloscopio para capturar la señal modulada en fase.
- Identificar el pico y el valle de la señal modulada.
- Índice de modulación PM = (Amplitud pico - Amplitud valle) / (Amplitud pico + Amplitud valle)

En cuanto a si el índice de modulación solo puede medirse en señales PM, la respuesta depende del tipo de modulación. En modulación de frecuencia (FM), se utiliza el desvío metro como medida análoga al índice de modulación en PM. Por lo tanto, ambos índices pueden medirse experimentalmente en señales FM o PM.

- En el osciloscopio, es posible medir varios parámetros de una señal modulada en fase (PM), incluyendo:

**Amplitud de la señal modulada:** El osciloscopio

permite medir la amplitud máxima de la señal modulada, que corresponde a la amplitud de la envolvente compleja.

**Frecuencia de la señal modulada:** El osciloscopio puede medir la frecuencia de la señal modulada, que corresponde a la frecuencia de la portadora modulada por la señal moduladora.

**Desviación de fase:** Aunque el osciloscopio no mide directamente la desviación de fase, es posible observar cambios en la forma de onda de la señal modulada para inferir la desviación de fase.

Al variar los diferentes parámetros del sistema en un sistema de modulación de amplitud (AM), se pueden observar diferentes comportamientos:

**Amplitud del mensaje (Am):** Al aumentar la amplitud del mensaje, la amplitud de la envolvente de la señal modulada se verá afectada directamente. Un aumento en Am resultará en un aumento proporcional en la amplitud de la señal modulada.

**Frecuencia del mensaje (fm):** La frecuencia del mensaje afecta la frecuencia de variación de la señal modulada. Un aumento en la frecuencia del mensaje resultará en un aumento en la frecuencia de la señal modulada.

**Coefficiente de sensibilidad (kp):** El coeficiente de sensibilidad, también conocido como índice de modulación, afecta directamente el grado de modulación de la señal. Un aumento en el coeficiente de sensibilidad resultará en un aumento proporcional en el índice de modulación (/bether), lo que significa una mayor variación de amplitud en la señal modulada.

**Amplitud de portadora (Ac):** La amplitud de portadora afecta directamente la amplitud máxima alcanzada por la señal modulada. Un aumento en la amplitud de portadora resultará en un aumento proporcional en la amplitud máxima de la señal modulada.

En cuanto a cómo estos parámetros afectan el índice de modulación (/bether), podemos establecer las siguientes relaciones:

El índice de modulación (/bether) es **directamente proporcional** al coeficiente de sensibilidad (kp). A medida que el coeficiente de sensibilidad aumenta, el índice de modulación también aumenta.

El índice de modulación (/bether) es **inversamente proporcional** a la amplitud de portadora (Ac). A medida que la amplitud de portadora aumenta, el índice de modulación disminuye.



- Introducir una componente de continua (offset) en el mensaje puede tener varios efectos en la señal modulada, dependiendo del tipo de modulación y el sistema utilizado. Algunos de los efectos comunes son:

- Desplazamiento en la amplitud de la señal modulada: Si se introduce un offset en el mensaje, esto desplazará toda la señal modulada en amplitud hacia arriba o hacia abajo. El desplazamiento será proporcional al valor del offset.
- Distorsión de la envolvente: La introducción de un offset puede causar distorsiones en la forma de la envolvente de la señal modulada. Esto se debe a que el offset puede alterar la simetría de la señal modulada, lo que resulta en cambios en la forma de la envolvente.

**Cambios en el índice de modulación:** El offset puede afectar el índice de modulación ( $\beta$ ) de la señal modulada. Si el offset es significativo en comparación con la amplitud del mensaje, puede aumentar o disminuir el índice de modulación, lo que resulta en cambios en la variación de amplitud de la señal modulada.

- Es importante controlar la amplitud, el nivel de continua y el ancho de banda de los mensajes en las modulaciones angulares por varias razones:

**Conservación del espectro:** En las modulaciones angulares, como la modulación de fase (PM) y la modulación de frecuencia (FM), el espectro de la señal modulada se extiende alrededor de la frecuencia portadora. Controlar el ancho de banda del mensaje asegura que la señal modulada no se extienda más allá del rango deseado, evitando interferencias con otras señales cercanas en el espectro.

**Eficiencia espectral:** Al controlar el ancho de banda del mensaje, se puede lograr una mejor eficiencia espectral, utilizando el espectro disponible de manera más eficiente. Esto es especialmente importante en sistemas de comunicación donde se busca utilizar el espectro de manera óptima para transmitir múltiples señales simultáneamente.

**Evitar distorsiones:** Controlar la amplitud y el nivel de continua del mensaje ayuda a evitar distorsiones no deseadas en la señal modulada. Un exceso de amplitud o un nivel de continua incorrecto pueden causar sobre modulación o distorsión en la señal modulada, lo que puede dificultar su correcta demodulación y recuperación del mensaje original.

**Cumplimiento normativo:** En muchos sistemas de comunicación, existen regulaciones y estándares que limitan la amplitud, el nivel de continua y el ancho de banda permitidos para evitar interferencias y garantizar una operación adecuada. Controlar estos parámetros asegura el cumplimiento de los requisitos normativos y permite una comunicación confiable y sin problemas.

- La implementación de la modulación de frecuencia (FM) a partir del modulador de fase (PM) en GNU Radio tiene algunas limitaciones:

**Limitación de la desviación de frecuencia:** El modulador PM en GNU Radio está diseñado para modular la fase de una señal portadora, lo que implica una limitación en la desviación de frecuencia que se puede lograr. Esto puede restringir la capacidad de alcanzar desviaciones de frecuencia más altas en comparación con un modulador FM dedicado.

**Sensibilidad a errores de fase:** El modulador PM en GNU Radio es sensible a errores de fase en la señal moduladora. Esto puede introducir distorsiones y errores en la señal modulada FM resultante, especialmente cuando se utilizan señales moduladoras con errores de fase significativos.

**Precisión de la demodulación:** La demodulación precisa de la señal FM modulada utilizando el demodulador PM en GNU Radio puede ser un desafío. La conversión de la señal FM modulada a una señal PM equivalente puede requerir técnicas adicionales para garantizar una demodulación adecuada y una recuperación precisa del mensaje original.

**Limitaciones en la flexibilidad y configurabilidad:** La implementación de la modulación FM a partir del modulador PM en GNU Radio puede tener limitaciones en términos de flexibilidad y configurabilidad. Puede haber restricciones en la configuración precisa de los parámetros de modulación FM, como el índice de modulación o la desviación de frecuencia, debido a las características específicas del modulador PM utilizado.

### 3. Conclusiones

Después de haber realizado las preguntas sobre la modulación PM y FM, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. La modulación de fase (PM) y la modulación de frecuencia (FM), son técnicas comunes utilizadas en sistemas de comunicación para transmitir información sobre una señal portadora.

2. La modulación PM y FM son variantes de la modulación angular, donde la PM modula la fase de la señal portadora y la FM modula su frecuencia.

3. La introducción de una componente de continua (offset) en el mensaje puede afectar la amplitud y la forma de la señal modulada, así como el índice de modulación.

4. Es importante controlar la amplitud, el nivel de continua y el ancho de banda de los mensajes en las modulaciones angulares, como PM y FM, para garantizar una transmisión eficiente, evitar distorsiones y cumplir con los requisitos normativos.

Estas conclusiones resumen los conceptos clave relacionados con la modulación PM y FM, sus comportamientos al variar los parámetros del sistema y la importancia de controlar los aspectos clave de las señales moduladas.

<https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/electronicaaplicadaiii/Aplicada/Cap06FM1-1.pdf>

- [6] "GitHub - gnuradio/gr-etcetera: Additional PyBOMBS recipes that aren't in gr-recipes". GitHub. [En línea]. Disponible: <https://github.com/gnuradio/gr-etcetera>
- [7] Contributors to Sistemas de Comunicación Wiki. "Introducción a Modulación Angular". Sistemas de Comunicación Wiki. [En línea]. Disponible: [https://sistemas-de-comunicacion.fandom.com/es/wiki/Introducción\\_a\\_Modulación\\_Angular](https://sistemas-de-comunicacion.fandom.com/es/wiki/Introducción_a_Modulación_Angular)
- [8] Universitat de València. [En línea]. Disponible: <https://www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/trabajos/Tema4.pdf>
- [9] "¿Qué es la impresión offset y cómo funciona?" ProPrintweb - Imprenta Online Barata para Profesionales. [En línea]. Disponible: <https://www.proprintweb.com/blog/impresion-offset>

## Referencias

- [1] [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/5122/512261374007/html>
- [2] "Implementación de modulaciones analógicas y digitales en GNU Radio". Repositorio Principal. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/9053>
- [3] "Diseño e implementación de un módulo eficiente modulador/ Demodulador QAM para GNU radio". Dialnet. [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7595872>
- [4] "SIMULACIÓN COMPLETA CON GNU-RADIO - SDR: ejemplos prácticos de las etapas." 1Library.Co - plataforma para compartir documentos. [En línea]. Disponible: <https://1library.co/article/simulación-completa-gnu-radio-sdr-ejemplos-prácticos-etapas.zwv493gq>
- [5] Profesores. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba. [En línea]. Disponible: