

Práctica 4: MODULACIONES ANGULARES

Juan José Morales Hernandez - 2191572

Fabian Yesid Moreno Blanco - 2191469

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

3 de diciembre de 2023

Resumen

El siguiente informe de laboratorio se centró en el uso de GNU Radio para demodular señales de FM. En la primera parte del experimento, se implementó un flujo de señal en GNU Radio para recibir y demodular señales FM, utilizando bloques específicos para la demodulación.

En la segunda parte, se exploró la aproximación a los coeficientes de Bessel para calcular el coeficiente de modulación beta en la señal FM. Este enfoque permitió obtener una estimación precisa del coeficiente de modulación (β), fundamental para comprender la amplitud con la que la señal moduladora afecta a la portadora en la modulación de frecuencia.

Palabras clave: GNURADIO, demodulación FM, bandabase, modulación angular.

1. Introducción

Realizar mediciones de emisoras desde un laboratorio de comunicaciones es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo y la conformidad con estándares establecidos en las transmisiones de radio. Estas mediciones proporcionan información crucial sobre la calidad de la señal, la eficiencia del sistema y la conformidad con las normativas regulatorias.

Durante esta práctica se adquirieron conocimientos en lo que respecta la medición del ancho de banda de señales de emisoras comerciales, que se encontraran al alcance del laboratorio de comunicaciones, asimismo, como se podrá notar más adelante en este documento, se analizan estas señales que cuentan con los componentes de frecuencia [Figura 1] que debería contar una señal de este tipo, tales como la señal L+R, la señal piloto, la señal L-R, entre otras. A su vez esto nos permitió evidenciar cuáles de las señales cumplen con los estándares establecidos.

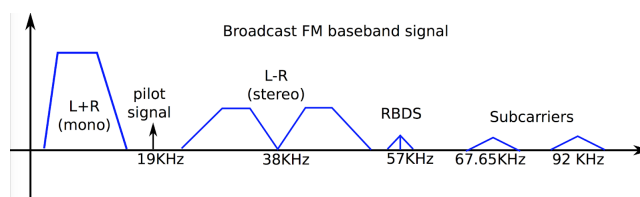


Figura 1. Señal de bandabase FM de radiodifusión.

Estos conocimientos adquiridos pueden ser aplicados en sistemas de transmisión basados en la radio definida por software, para optimizar el rendimiento del sistema, ya que permite evaluar la calidad de la señal, identificar posibles interferencias, mediante la medición de las componentes de frecuencia ya mencionadas, asimismo, se puede validar que cumpla con la conformidad normativa, protocolos y adicionalmente la calidad del servicio, establecidas por las autoridades competentes.

Dentro de las modulaciones de señales podemos distinguir dos grandes grupos, como lo son las modulaciones angulares y las modulaciones lineales, las cuales difieren en ciertas características, generando que algunas de ellas presenten ventajas y desventajas la una sobre la otra, a continuación veremos qué ventajas y desventajas ofrece cada una, especialmente en el contexto de banda estrecha.

- **Eficiencia Espectral:** La modulación angular tiende a ser más eficiente en términos espectrales que las modulaciones lineales, esto significa que ocupan menos ancho de banda para transmitir la misma información, lo cual es crítico en sistemas de banda estrecha donde el espectro disponible es limitado.
- **Inmunidad al Ruido:** En entornos con baja relación señal-ruido, las modulaciones angulares tienden a ser más robustas que las modulaciones lineales. La FM, por ejemplo, puede resistir mejor el ruido en comparación con la AM, lo que es beneficioso en



situaciones donde la calidad de la señal es crucial.

- **Mayor Tolerancia a Distorsiones No Lineales:** Las modulaciones angulares, en particular la PM, tienden a ser más tolerantes a las distorsiones no lineales en comparación con las modulaciones lineales. Esto puede ser beneficioso en situaciones donde el canal de transmisión introduce no linealidades.
- **Mejor Calidad de Audio:** En aplicaciones de audio, la modulación angular, como la FM, puede proporcionar una mejor calidad de audio en comparación con la AM, ya que es menos susceptible a interferencias y atenuaciones.
- **Simplicidad del Detector en el Receptor:** En algunos casos, los receptores de modulación angular pueden ser más simples y eficientes, ya que los demoduladores para FM y PM pueden ser menos complejos en comparación con los utilizados en modulaciones lineales como la AM. Esto a su vez puede reducir considerablemente los costos debido a su complejidad, o en su defecto, simplicidad.

Al medir las modulaciones angulares, que generalmente son modulaciones FM o PM, debemos tener en cuenta unas mínimas consideraciones para obtener mediciones precisas y significativas tanto en el osciloscopio como en el analizador de espectros.

Generalmente tanto para realizar una medición en el osciloscopio como en el analizador de espectros se debe tener en cuenta el ancho de banda del instrumento, y la frecuencia de muestreo. En el caso del ancho de banda debemos asegurarnos que la banda en donde vayamos a ajustar los instrumentos sea la adecuada para capturar la información relevante de la señal modulada, cabe resaltar que las modulaciones de banda ancha pueden requerir instrumento con capacidades de ancho de banda más altas. Por el lado de la frecuencia de muestreo del instrumento, debemos ajustarla de acuerdo a la frecuencia de la señal modulada para evitar el aliasing y capturar correctamente la señal. Ahora bien, también es necesario ajustar correctamente el nivel de potencia para evitar que los instrumentos se saturen y no se pueda evidenciar correctamente la potencia de la señal.

Al generar señales moduladas angulares de banda ancha utilizando un Sistema de Radio Definida por Software (SDR), es importante tener en cuenta varias consideraciones para asegurar una transmisión exitosa y de calidad, dentro de los cuales encontramos lo siguiente: Inicialmente debemos seleccionar entre los dos tipos de

modulación angular más conocidos, FM o PM, luego debemos escoger los parámetros de modulación, como lo son las desviaciones de frecuencia, o en su defecto, desviación de fase, ya que estos parámetros afectan la amplitud y frecuencia de la señal modulada.

2. Procedimiento

Al sintonizar las emisoras se hace con un proceso de bloques [Figura 2], lo primero que se hace al adquirir la señal es pasarla por un filtro pasabajas ya que son señales bandabase y se encuentran en frecuencia bajas, luego se pasa por un bloque llamado WBFM recieve el cual demodula de señal FM de radio difusión, el bloque FM preemphasis aumenta la amplitud de las frecuencias más altas de la señal de audio antes de la modulación, y luego se utiliza un filtro de desénfasis en el receptor para restaurar la señal a su forma original, este bloque no es necesario para la demodulación de este tipo de señales, pero es una ayuda para un mejor tratamiento.

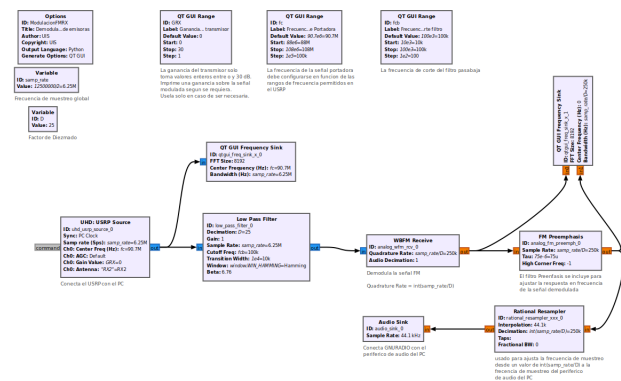


Figura 2. Diagrama de bloques de GNURADIO.

En el laboratorio se utilizó el analizador de espectros para ciertas señales de radio en FM [Figura 3], para estimar su ancho de banda, principalmente se usaron 2 criterios dando resultados bastante similares, siendo estos el criterio de los -20dB y el criterio de piso de ruido, nos sentimos mas cómodos y confiados del primer criterio, ya que es mas facil ver el corte de la grafica con los 20dB que aproximar en donde se encuentra el ruido.

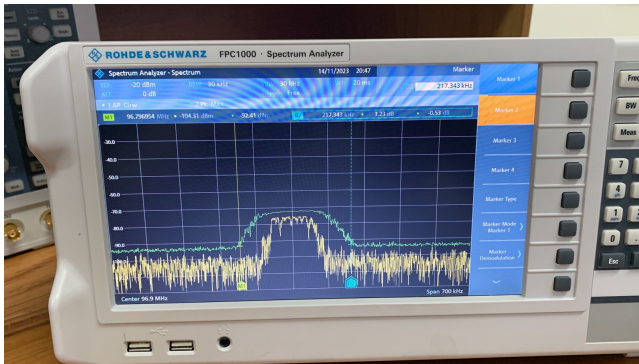


Figura 3. Espectro de W Radio en el analizador de espectros.

Los servicios técnicos que pueden tener las emisoras varían según la capacidad y la configuración de cada estación de radio, y su disponibilidad puede depender del equipo y la tecnología utilizada por la emisora. Donde los principales y estudiados [Figura 4] en este laboratorio fueron los siguientes:

- Estéreo: La transmisión estéreo permite la reproducción de audio en dos canales separados, lo que crea una experiencia de sonido más inmersiva para el oyente.
- Mono: Algunas emisoras también pueden transmitir en mono (un solo canal de audio) en lugar de estéreo. Esto puede ser útil en situaciones donde la calidad de la señal estéreo no es necesaria o para alcanzar un mayor alcance de la señal.
- RBDS (Sistema de Datos de Radio): El RDS es un sistema que permite a las emisoras de radio transmitir datos digitales junto con la señal de audio. Se utiliza para mostrar información en la pantalla de radios compatibles, como el nombre de la emisora, información sobre la canción actual, noticias, etc.
- Piloto: Es una señal en la transmisión de FM que permite a los receptores sintonizar con mayor precisión la frecuencia de la emisora.

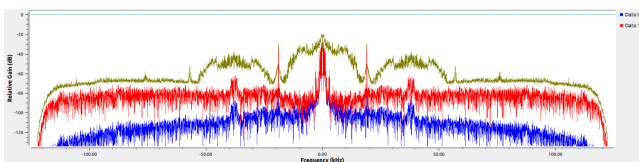


Figura 4. Espectro de una señal bandabase con los servicios técnicos.

Durante el desarrollo de esta práctica encontramos múltiples emisoras que NO se encontraban registradas en el MINTIC, este fue el caso de 9 emisoras, dentro de las cuales se encuentran UIS FM (emisora de nuestra universidad), Olímpica Estéreo, Caracol Radio, entre otras.

Sin embargo, la mayoría de estas emisoras cumplen correctamente con los parámetros técnicos, como lo es el caso de UIS FM, la cual tiene una frecuencia de operación de 96.9 MHz, cuenta con un ancho de banda de 230kHz, y contiene todas las señales, L+R, la señal piloto, L-R y la señal RBDS. La siguiente figura corresponde al espectro de la emisora UIS FM, en ella se puede apreciar que la emisora cumple con los parámetros técnicos y las señales mencionadas.

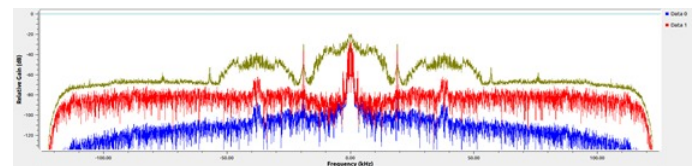


Figura 5. Espectro Emisora UIS FM

Cabe aclarar que no todas las señales cumplían con los parámetros técnicos establecidos, sin embargo la mayoría de las señales captadas NO registradas en el MINTIC, efectivamente cumplían con los parámetros técnicos.

En este tipo de modulaciones encontramos una gran importancia en la envolvente compleja, ya que esta es útil en diversas aplicaciones, tales como la demodulación de señales angulares, el análisis de señales de radar y otras áreas donde la información de amplitud es crítica.

En la siguiente imagen [Figura 6] se puede observar la envolvente compleja de una señal FM, y a diferencia de una envolvente de una señal AM, su amplitud se mantiene constante, mientras su frecuencia va variando con una relación directa a la frecuencia del mensaje.

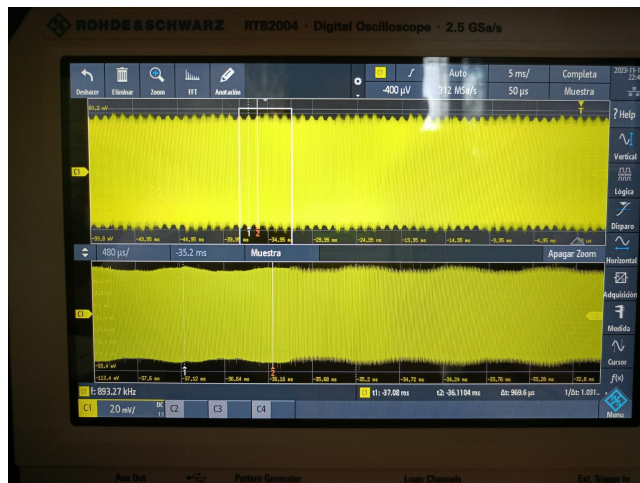


Figura 6. Envolvente señal FM.

Otra medida de gran importancia en las comunicaciones y el tratamiento de señales es el índice de modulación, que es bastante importante, especialmente en la modulación angular. En señales de banda ancha, medir el índice de modulación experimentalmente puede requerir métodos específicos.

Uno de los dos métodos más conocidos son el método de desviación máxima, utilizado principalmente para modulaciones de frecuencia, pero que puede ser adaptado para modulaciones de fase y consiste en:

- Generar una señal modulada FM o PM y alimentar la señal al analizador de espectro.
- Medir la desviación de frecuencia, ajustando la frecuencia central del analizador de espectro, para que coincida con la frecuencia de la señal sin moduladora y medir la desviación máxima de la frecuencia de la señal modulada con respecto a la frecuencia de la señal no modulada, observando el punto mínimo y máximo en la pantalla del analizador de espectros.
- Calcular el índice de modulación mediante la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (1)$$

donde β es el índice de modulación,
 Δf es la desviación máxima de frecuencia,
 f_m es la frecuencia de la señal moduladora.

El segundo método corresponde al método de la envolvente, el cual consiste en:

- Generar la señal modulada y alimentar la señal al analizador de espectro.
- Analizar la envolvente, utilizando el analizador de espectro, ajustando correctamente los parámetros en el mismo.
- Identificar los picos de la envolvente en el analizador de espectro.
- Calcular el índice de modulación mediante la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{\text{Separación Picos Envolvente}}{f_m} \quad (2)$$

donde f_m es la frecuencia de la señal moduladora.

En la figura a continuación se puede apreciar una gráfica con un método de medida del índice de modulación:

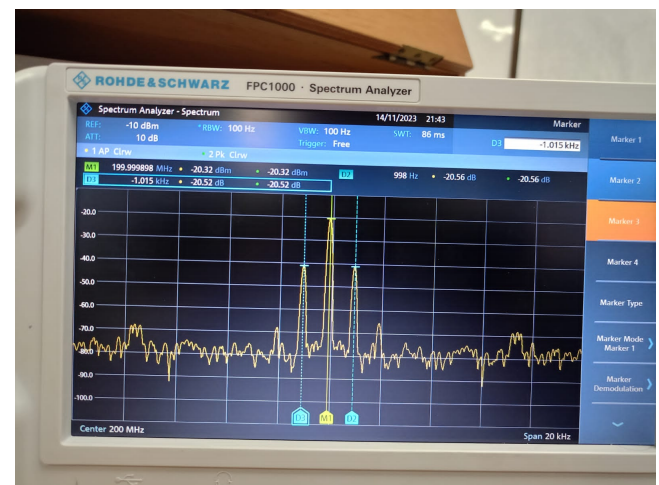


Figura 7. Medición del Índice de Modulación.

En el osciloscopio también es posible medir distintos parámetros para modulaciones PM que suelen ser importantes en el gremio de las comunicaciones, tales como el índice de modulación β , la desviación de fase (midiendo la amplitud de los cambios de fase), la frecuencia de la señal moduladora, analizar la forma de onda de la señal modulada, entre otras mediciones.

Al variar diferentes parámetros tales como la amplitud del mensaje (A_m), frecuencia del mensaje (f_m), coeficiente de sensibilidad (k_p) y amplitud de portadora (A_c), notamos que afecta el índice de modulación, y por ende, la forma en que la señal portadora es modulada en fase por la señal de mensaje.

A continuación se mostrará cómo puede afectar cada parámetro el comportamiento de la señal:

- **Amplitud del mensaje (A_m):**
Puede aumentar la desviación máxima de frecuencia, esto puede resultar en cambios de fase pronunciados en la señal portadora.
Asimismo, umenar la amplitud del mensaje, tiende a aumentar, directamente proporcional el índice de modulación de la señal.
- **Frecuencia del mensaje (f_m):**
Este afecta la rapidez con la que cambia la señal de mensaje. A su vez, a mayores frecuencias, los cambios de fase en la señal portadora ocurren más rápidamente. Por otro lado puede variar el índice de modulación, sin embargo este, por el contrario de la amplitud del mensaje, es inversamente proporcional.
- **Coefficiente de Sensibilidad (k_p):**
Este afecta cuánto cambia la frecuencia de la portadora en respuesta a un cambio en la fase del mensaje. A su vez es directamente proporcional al índice de modulación.
- **Amplitud de la portadora (A_C):**
Este afecta directamente la amplitud de los cambios de fase inducidos por la señal de mensaje. A su vez es inversamente proporcional al índice de modulación.

Por otro lado, introducir una componente de continua (offset) puede tener varios efectos en el proceso de modulación, especialmente en sistemas de modulación de fase (PM). Tales como los que se describen a continuación:

- **Cambios en la desviación de fase:** Un offset en la señal de mensaje afectará directamente el nivel de desviación de fase de la señal modulada en fase (PM). A su vez, el offset contribuirá a un cambio constante en la fase de la portadora.
- **Desplazamiento en la Frecuencia de la Portadora:** La presencia de un offset introducirá un cambio constante en la frecuencia de la portadora. Este desplazamiento puede considerarse una modulación de frecuencia (FM) adicional a la modulación de fase original.
- **Cambios en el Índice de Modulación:** Puede haber una relación no lineal entre el offset y el índice de modulación debido a la interacción con otros parámetros.
- **Ancho de Banda Aumentado:** La presencia de un componente de continua en el mensaje, especialmente si es significativo, aumentará el ancho de

banda ocupado por la señal modulada. Esto se debe a que el componente de continua contribuirá a frecuencias más bajas que la frecuencia de la portadora.

Controlar la amplitud, el nivel de continua y el ancho de banda de los mensajes es esencial en las modulaciones angulares, como la modulación de fase (PM) y la modulación de frecuencia (FM), por varias razones importantes, tales como evitar la saturación del amplificador, cumplir con límites de potencia, minimizar el consumo de ancho de banda, preservar la señal SNR, facilitar la demodulación y cumplir con estándares de calidad

3. Conclusiones

Al considerar la importancia de controlar la amplitud, el nivel de continua y el ancho de banda en las modulaciones angulares, como la modulación de fase (PM) y la modulación de frecuencia (FM), podemos llegar a varias conclusiones significativas:

- **Optimización del Espectro:**
Controlar el ancho de banda ayuda a optimizar el uso del espectro de frecuencias, permitiendo una transmisión más eficiente y evitando interferencias con otras señales en el mismo medio.
- **Cumplimiento Normativo:**
Ajustar la amplitud y el nivel de continua asegura que la señal transmitida cumpla con las normativas y regulaciones locales (MINTIC en este caso) en cuanto a potencia y niveles de señal permitidos.
- **Evitar Distorsiones y Saturación:**
Mantener la amplitud del mensaje bajo control evita la saturación del amplificador y reduce distorsiones no lineales, contribuyendo a una modulación más fiel y a la calidad de la señal.
- **Eficiencia Espectral y Coexistencia Armónica:**
Minimizar el ancho de banda no solo optimiza el espectro sino que también facilita la coexistencia armónica con otras señales en el mismo entorno, mejorando la eficiencia espectral global.

Referencias

- 1 . Rodger E. Ziemer, William H. Tranter, Principles of Communication Systems, Seventh Edition. Printed in the United states of America: Wiley, 2014.



2 . Theodore S. Rappaport, Wireless Communica-
tions: Principales and Practice, Second Edition.

Prentice Hall Communications Engineering and
Emerging Technologies Series, 1995.