

# Práctica 3: MODULACIONES LINEALES

ANGIE TATIANA CHAPARRO  
BLANCO - 2184212

JOSÉ DAVID FLOREZ RAMOS -  
2174241

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

07 de noviembre de 2023

## Resumen

La modulación de amplitud, históricamente crucial en telecomunicaciones, permitió la transmisión confiable de señales de audio en la radio. El análisis de señales AM en el dominio del tiempo con un osciloscopio es fundamental para comprender forma de onda, frecuencia y amplitud, así como resolver problemas en circuitos de modulación. Se miden parámetros como amplitud, frecuencia y relación señal-ruido. El análisis en el dominio de la frecuencia con un analizador de espectro identifica componentes y garantiza la calidad de la señal en radiodifusión y comunicaciones. La configuración precisa de instrumentos es esencial para mediciones efectivas y evaluación en un rango de frecuencias.

**Palabras clave:** *modulación, señales AM, amplitud, frecuencia, relación señal-ruido.*

## 1. Introducción

Históricamente, la modulación de amplitud ha sido importante en las telecomunicaciones porque permite una transmisión de información eficiente y confiable. Al principio, la AM (modulación de amplitud) se utilizaba en la radio para permitir la transmisión de señales de audio de alta calidad a largas distancias.

El análisis de señales AM en el dominio del tiempo con un osciloscopio ayuda a comprender la forma de onda, la frecuencia y la amplitud de la señal, lo cual es fundamental para solucionar problemas y evaluar la calidad de la señal. Además, el uso de un osciloscopio ayuda a desarrollar habilidades en el diagnóstico y resolución de problemas de circuitos de modulación.

Para medir señales AM en el dominio del tiempo, se

pueden obtener parámetros tales como la amplitud de las señales portadoras y de modulación, la frecuencia de las señales portadoras y de modulación, y la relación señal-ruido. En el dominio de la frecuencia, un analizador de espectro puede observar la distribución espectral de una señal, lo que facilita la detección de componentes o interferencias no deseadas.

El análisis de señales AM en un rango de frecuencias con un analizador de espectro es útil para identificar y cuantificar componentes armónicos y otras características espectrales. Esto es muy importante en aplicaciones como radiodifusión y comunicaciones, donde es necesario garantizar que la señal esté dentro del ancho de banda permitido y libre de interferencias. Con un analizador de espectro, puede adquirir las habilidades para monitorear y gestionar eficazmente el espectro electromagnético.

Para observar señales moduladas en un analizador de espectro, se deben considerar factores como la selección de un rango de frecuencia apropiado, la configuración del ancho de banda del analizador y la calibración del instrumento. También es importante considerar la frecuencia central y el nivel de referencia adecuados para representar mejor la señal. Estas consideraciones son esenciales para una medición precisa y una evaluación eficiente de señales moduladas en un rango de frecuencias.

## 2. Procedimiento

- Lo principal para desarrollar esta práctica de manera

efectiva es saber cómo medir el índice de modulación experimentalmente en el analizador de espectros, para ello podemos seguir los siguientes pasos:

1. Después de crear el diagrama de bloques en GNURadio y cargar el programa en el radio, se procede a hacer la conexión entre el radio y el analizador de espectros.
2. Se debe ajustar el analizador de espectros para que nos muestre la señal en el dominio de la frecuencia.
3. Viendo la señal en el analizador se deben identificar la frecuencia portadora y la frecuencia de las bandas laterales.
4. Con ayuda del analizador de espectro medimos la amplitud de la portadora y de las bandas laterales.
5. Calculamos el índice de modulación aplicando la fórmula:

$$\text{Índice de modulación} = K_a * A_m$$

El índice de modulación es una medida de la cantidad de modulación presente en una señal modulada. Si el índice de modulación es demasiado alto, la señal puede distorsionarse y ser difícil de recuperar.

- De igual manera podemos observar la señal y medir el índice de modulación en un osciloscopio y para ello se realizan los mismos pasos que anteriormente realizamos en el analizador de espectros, solo que ahora la conexión será entre el radio y el osciloscopio.
- Al variar los diferentes parámetros de la señal AM ¿Cuáles parámetros afectan el índice de modulación y de qué manera (proporcional, inversamente proporcional, etc.)? complete la siguiente tabla.

PARÁMETRO	Afecta el índice de modulación ( $\mu$ )	Relación con el índice de modulación
<b>Ac</b> (Amplitud Portadora)	SI	$\mu$ es directamente proporcional a Ac. A medida que Ac aumenta, $\mu$ aumenta.

<b>Ka</b> (índice de modulación)	SI	$\mu$ es igual a ka. Aumentar ka aumenta $\mu$ .
<b>Am</b> (Amplitud de la señal modulante)	SI	$\mu$ es directamente proporcional a Am. A medida que Am aumenta, $\mu$ aumenta.
<b>Offset</b> (Desplazamiento de la señal)	NO	El offset no afecta directamente $\mu$ .
<b>Pt</b> (Potencia total de la señal modulada)	SI	$\mu$ está relacionado con Pt. Aumentar Pt puede aumentar $\mu$ .
<b>Pc</b> (Potencia de la portadora)	SI	$\mu$ está relacionado con Pc. Aumentar Pc puede aumentar $\mu$ .
<b><math>\eta</math></b> (Eficiencia de la modulación)	SI	$\mu$ está relacionado con $\eta$ . Aumentar $\eta$ puede aumentar $\mu$ .

**Tabla 1.** Parámetros AM.

El índice de modulación ( $\mu$ ) en una señal AM se calcula como la razón entre la amplitud de la señal modulante ( $A_m$ ) y la amplitud de la portadora ( $A_c$ ). Por lo tanto, cualquier cambio en estos parámetros afectará al índice de modulación. Además, la potencia total de la señal modulada ( $P_t$ ) y la potencia de la portadora ( $P_c$ ) también pueden influir en  $\mu$  y en la eficiencia de la modulación ( $\eta$ ), especialmente en aplicaciones de transmisión de potencia.

- ¿Qué limitaciones tiene la de la modulación SSB?

La modulación de banda lateral única (SSB) es una técnica que se usa en transmisión de señales de radio. Esta tiene ventajas sobre la modulación de amplitud (AM) como mayor eficiencia espectral y una mayor capacidad de transmisión de información. Pero también tiene algunas

desventajas que veremos a continuación:

### Limitaciones:

1. La SSB es más susceptible a la interferencia de la señal debido a su ancho de banda reducido.
2. La SSB requiere una mayor precisión en la sintonización de la frecuencia para lograr una buena calidad de audio.

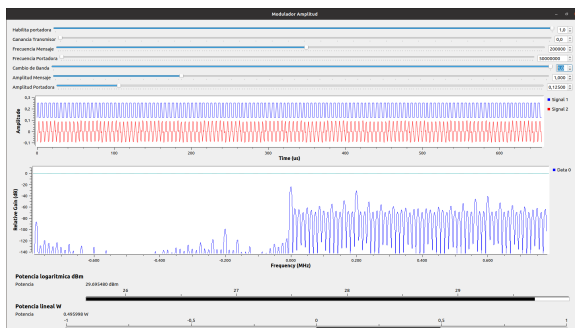
### Ventajas:

1. La SSB es más eficiente en términos de uso del espectro que la AM, ya que solo transmite una de las bandas laterales y la portadora.
2. La SSB tiene una mayor capacidad de transmisión de información que la AM.
3. La SSB es más adecuada para la transmisión de señales de voz que la AM



*imagen 1. Señal SSB*

- Inserte una captura de pantalla UNO de los casos de cada tipo de modulación lineal usando mensajes de audio y acompáñela de su expresión analítica y los parámetros de la señal. Explique brevemente cómo encontrar el índice de modulación en cada caso.



*imagen 2. Señal AM modulada GNU Radio.*

$$s_{AM}(t) = A_c(1 + k_a m(t)) \cos \omega_c t,$$

$$A_c = 0.125$$

$$A_m = 1$$

$$k_a = 0.778$$

$$f_c = 50 \text{ [MHz]}.$$

La modulación AM implica variar la amplitud de una señal portadora con una señal modulante. Aquí tienes un ejemplo de una señal AM y su expresión analítica:

Expresión analítica:

$$s_{AM}(t) = A_c(1 + k_a m(t)) \cos(\omega_c t)$$

Donde:

**s<sub>AM</sub>(t)**: Señal modulada AM resultante

**A<sub>c</sub>**: Amplitud de la portadora

**k<sub>a</sub>**: Índice de modulación

**m(t)**: Señal modulante (en este caso, un mensaje de audio)

**ω<sub>c</sub>**: Frecuencia de la portadora

Para encontrar el índice de modulación (k<sub>a</sub>) en este caso, sigue estos pasos:

- Calcular la amplitud máxima de la señal modulante (Amplitud\_max) en tu mensaje de audio m(t).
- Calcular la amplitud máxima de la señal AM (Amplitud\_max\_AM) resultante.

Utiliza la fórmula del índice de modulación (k<sub>a</sub>):

$$k_a = (A_{\text{Amplitud\_max}} - A_c) / (A_{\text{Amplitud\_max}} + A_c)$$

- Repita el procedimiento anterior apoyado en las características de la señal modulada medida en el analizador de espectro.

Para poder medir el índice de modulación de una señal AM usando el analizador de espectros seguimos los pasos:

1. ya conectada la señal modulada S(f) a nuestro analizador de espectros.
2. Ajustamos el analizador de espectros en la frecuencia de la portadora para poder visualizar la señal modulada, además del SPAN.
3. Observamos que en el analizador de espectros nos muestra la portadora y las bandas laterales las cuales están separadas por la frecuencia de la señal modulante.
4. Tomamos medida de la amplitud de portadora y la amplitud de las bandas laterales superior e inferior con los marcadores.
5. El índice de modulación usamos la siguiente fórmula:

$$K_a = (A_{\text{sup}}/A_c)$$

- ¿Por qué es importante transmitir la portadora en las modulaciones lineales?

La portadora es una señal sinusoidal de alta frecuencia que se utiliza como base para la modulación de una señal de información. En las modulaciones lineales, la portadora se modula directamente con la señal de información, lo que resulta en una señal modulada que se puede transmitir a través de un canal de comunicación. La portadora es importante en las modulaciones lineales porque permite que la señal modulada se transporte a largas distancias sin sufrir una degradación significativa de la calidad de la señal. Además, la portadora también se utiliza en el proceso de demodulación para recuperar la señal original de información.

- Los dos tipos de modulación que vimos en el laboratorio fueron la SSB portadora suprimida y la SSB full carrier (AM), a continuación las ventajas y desventajas de cada una:

#### SSB portadora suprimida

##### Ventajas:

1. La supresión de la portadora permite una transmisión más eficiente de la señal modulada, ya que la potencia transmitida se utiliza únicamente en las bandas laterales, y también permite al receptor recuperar la señal modulada de manera más eficiente y precisa.
2. El ancho de banda o el espacio de espectro ocupado es menor que las señales AM y DSB.
3. Se permite la transmisión de más señales.
4. Se ahorra energía.
5. Hay menos ruido presente.
6. Es menos probable que se produzca un desvanecimiento de la señal.

##### Desventajas:

1. La SSB es más susceptible a la interferencia de la señal debido a su ancho de banda reducido.
2. La SSB requiere una mayor precisión en la sintonización de la frecuencia para lograr una buena calidad de audio.

#### SSB full carrier (AM)

##### Ventajas:

1. La SSB full carrier es más fácil de implementar que la SSB portadora suprimida y es menos susceptible a la interferencia de la señal que la SSB portadora suprimida.

##### Desventajas:

1. La SSB full carrier es menos eficiente en términos de uso del espectro que la SSB portadora suprimida, ya que transmite la portadora y una de las bandas laterales.
2. Tiene una capacidad de transmisión de información menor que la SSB portadora suprimida.

### 3. Conclusiones

- La modulación de amplitud fue esencial en el mundo de las telecomunicaciones en el pasado y en la actualidad. Esta tecnología nos permite transmitir señales sonoras a largas distancias y todavía se utiliza en aplicaciones modernas, destacando su importancia histórica y actual.
- Utilizando un osciloscopio, aprendimos a analizar señales AM en el dominio del tiempo. Esta herramienta nos ayudó a estimar la forma de onda, la frecuencia, la amplitud y la relación señal-ruido de la señal modulada. Esto es fundamental para comprender el comportamiento de las señales en esta zona.
- Mediante un analizador de espectro logramos observar la distribución espectral de la señal modulada y detectar componentes no deseados. Esto nos mostró la importancia de estimar el ancho de banda ocupado por una señal, especialmente en aplicaciones de transmisión y comunicaciones.
- Comprendimos que se deben considerar factores como la selección del rango de frecuencia apropiado y la configuración del ancho de banda al usar un analizador de espectro. Esto proporciona mediciones precisas y una evaluación eficiente de señales moduladas en el rango de frecuencia.

### Referencias

- [1] "Entendiendo el funcionamiento básico del analizador de espectro." [Online]. Available: [https://www.rohde-schwarz.com/lat/productos/prueba-y-medicion/essentials-test-equipment/spectrum-analyzers/entendiendo-el-funcionamiento-basico-del-analizador-de-espectro\\_256005.html](https://www.rohde-schwarz.com/lat/productos/prueba-y-medicion/essentials-test-equipment/spectrum-analyzers/entendiendo-el-funcionamiento-basico-del-analizador-de-espectro_256005.html).
- [2] "Capítulo 8: Sistemas de Modulación de Portadora Analógica. - studylib.es." [Online] Available: <https://studylib.es/doc/6270071/capitulo-8--sistemas-de-modulacion-de-portadora-analogica>.
- [3] "Modulación de amplitud (AM) y sus variantes - Medium." [Online] Available:

<https://medium.com/modulaci%C3%B3n-por-amplitud-am-y-sus-variantes/modulaci%C3%B3n-de-amplitud-am-y-sus-variantes-6b7d575d2698>.

- [4] “DSB-SC: La modulación de doble banda lateral con portadora suprimida.” [Online] Available: <https://polaridad.es/dsb-sc-la-modulacion-de-doble-banda-lateral-con-portadora-suprimida/>.
- [5] “Modulación de banda lateral.” [Online] Available: <https://tutoriales.edu.lat/pub/principles-of-communication/principles-of-communication-sideband-modulation/modulacion-de-banda-lateral>.
- [6] “Modulación de banda lateral única - Wikipedia, la enciclopedia libre.” [Online] Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_de\\_banda\\_lateral\\_%C3%BAnica](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_banda_lateral_%C3%BAnica).
- [7] “DSB-SC vs SSB-SC | Diferencia entre DSB-SC y SSB-SC - FMUSER.” [Online] Available: <https://es.fmuser.net/wap/content/?7522.html>.