

## Práctica 3: MODULACIONES LINEALES

JUAN SEBASTIAN AVILA DIAZ - 2200524  
JOSE EDUARDO BELTRÁN GÓMEZ - 2184677

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

7 de noviembre de 2023

### Resumen

En esta práctica se estudio y demostró la modulación de amplitud (AM), una técnica que permite transmitir información a través de ondas electromagnéticas. Se realizarán diferentes ejercicios para comprender cómo la modulación afecta o mejora la calidad de la señal y cómo se puede analizar la señal modulada en diferentes escenarios, tanto en el laboratorio como en la industria. Se aplican conceptos matemáticos para describir el comportamiento de la modulación y la sobre modulación, que ocurre cuando el índice de modulación supera el valor de 1. Se evaluaron los resultados obtenidos y se discutirán las ventajas y limitaciones de la modulación de amplitud.

**Palabras clave:** Amplitud modulada, índice de modulación, ancho de banda

### 1. Introducción

- La modulación en amplitud es una técnica muy utilizada que permite transmitir información a través de las ondas como lo vemos en los radios, este método fue uno de los primeros utilizados para enviar distintas señales como lo fue el audio el cual se transmitía a través de las líneas telefónicas ya que la calidad a la cual llegaba el mensaje era mas que aceptable, desde entonces este método a venido evolucionando al pasar los años tanto así que hoy en día es muy utilizado para el procesamiento de señales y otros fines[1].

En la practica este método fue de gran ayuda para entender el comportamiento y las aplicaciones de la modulación en amplitud ya sean sus ventajas y desventajas.

- Las ventajas de analizar las señales moduladas en la amplitud en el dominio del tiempo es que se puede

de observar el comportamiento de las señales y de su variación en amplitud debido a la información que transmite, lo cual permite observar con mas facilidad el efecto que tiene la modulación en la onda, esto también ayuda a ver posibles anomalías o distorsiones que estén afectando la onda.

Para este método se fortalecerá el desarrollo del conocimiento y manipulación del osciloscopio y analizador de espectros ya que estos son fundamentales para el análisis y entendimiento de lo que sucede en la señal, cuando se esta modulando o sobre modulación. Para tener buenos resultados se deben tener ciertos parámetros como lo son, la frecuencia portadora y amplitud del mensaje modulante.

- Los parámetros se pueden obtenerse o medirse en cuestión del tiempo se puede medir la amplitud de la señal modulada la cual es proporcional a la señal moduladora, frecuencia de la señal portadora y el periodo los cuales son constantes, además de esto en el dominio del tiempo podremos calcular el índice de modulación[2].

En cuanto a la frecuencia podemos obtener parámetros como lo es el ancho de banda de la señal modulada, medir la potencia de la señal y aparte de esto podemos identificar el espectro de la onda modulada.

- Las ventajas de analizar las señales moduladas en amplitud en el dominio de la frecuencia es que podemos observar las diferentes distribuciones de frecuencia que nos muestra el analizador de espectro con ellos nos permite identificar la frecuencia portadora, las bandas laterales, ancho de banda, índice de modulación, etc.

El análisis de las señales moduladas se pueden observar con mayor facilidad y exactitud en el analizador de espectro debido a esto se deben tener conocimientos básicos de su uso para medir señales moduladas en amplitud, en esta practica se desarrollo una gran habilidad con el analizador debido a que fue el equipo de mayor importancia para esta practica

- El observar señales moduladas en el analizador de espectro requiere de algunas condiciones para que dicho equipo entregue una imagen y medida con mayor exactitud, algunos de estos parámetros son esenciales siempre que se desea facilitar el entendimiento de la onda como lo es el ajuste de la frecuencia central esto debido a la portadora. El SPAN debe ser un parámetro que se debe ajustar ya que este nos permite visualizar el rango de la frecuencia de la señal moduladora.

Por ultimo tener presente que se debe ajustar el nivel de referencia y el ancho de banda los cuales nos permitirán tener una sintonización de los componentes espectrales de la señal, lo cual permite distinguir las ondas sin distorsión.

## 2. Procedimiento

- Para medir el índice de modulación de manera experimental gracias al uso del analizador de espectros se requería construir el diagrama de flujo planteado para el laboratorio y simularlo gracias a GNU radio, después del paso anterior se variaban los parámetros correspondientes a la amplitud del mensaje y el coeficiente de sensibilidad AM con la finalidad de analizar los cambios en el equipo a dichas variaciones. Después de ajustar la frecuencia central del analizador al mismo valor que la portadora, se colocó un marcador sobre esta y otros sobre el espectro correspondiente a la banda lateral superior y banda lateral inferior respectivamente, si dichos marcadores se tomaban en modo (D) diferencial estos nos reflejaban una medida muy importante llamada NdB, la cual se puede expresar como:

$$NdB = 20 \log_{10}(m/2)$$

Donde m es el índice de modulación y este es igual a  $K_a * A_m$ , gracias a estas relaciones y la fórmula matemática mencionada anteriormente resulta posible el cálculo experimental de este índice gracias al analizador de espectros.

- Para medir el índice de modulación en el dominio del tiempo gracias al osciloscopio se tomaron tres casos específicos: ( $k_a * A_m = 1$ ), ( $k_a * A_m > 1$ ) y ( $k_a * A_m < 1$ ), teniendo previamente conectado el equipo de medición se procedía a simular el diagrama planteado para el laboratorio gracias a GNURADIO, posteriormente se ajustaban las escalas y se configuraba el osciloscopio para medir los picos de la señal, como consecuencia del proceso anterior se pudo observar una señal modulada en amplitud a la cual gracias a cursores de voltaje se le midió el valor correspondiente al pico máximo y a su valle, donde:

$$V_p - V_v = 2 * A_c * K_a * A_m$$

A partir de la ecuación anterior teniendo en cuenta que  $A_c = 250$  mV, es posible calcular el índice de modulación de manera experimental analizando las gráficas que proporcionadas por el equipo de medición en el dominio del tiempo.

- Analizando los parámetros que tiene una señal AM y teniendo en cuenta la práctica realizada en el laboratorio se puede decir con certeza que las variables  $K_a$  y  $A_m$  afectan de una manera directamente proporcional al índice de modulación, la amplitud de la portadora  $A_c$  tiene una relación inversamente proporcional aunque por motivos de la práctica este parámetro se tomó como un valor constante. Cuando se desea aplicar una señal de tipo continuo (Offset) es importante tener en cuenta que la magnitud correspondiente a la señal portadora sufre un cambio, lo cual representa un aumento en el uso de energía del sistema, para el caso del laboratorio esta componente era igual a 0, a continuación se presentan los datos obtenidos en la práctica:

Ac(mV)	Ka	Am	Offset	u	PT(uW)	PC(uW)
0,250	1	1	0	1.01	24,66	8,23
0,250	1,5	1	0	1,4911	34,78	8,19
0,250	0,5	1	0	0.517	16,4	8,19
0,250	2	1	0	1.9862	48	7,99

- Analizando los resultados obtenidos en el laboratorio se puede decir que la modulación SSB, es una técnica que tiene como principales ventajas el echo de tener una mayor eficiencia en lo que se refiere al ancho de banda y a la potencia, como podemos apreciar en la figura 1.

Para justificar lo anterior, podemos tomar el caso en el que el cambio de banda tomaba el va-

lor de 1 y la portadora estaba habilitada, para estos valores en específico se puede notar que la modulación SSB es mucho mas eficiente en términos de potencia que la modulación AM, en el analizador de espectros podemos observar que la potencia solo va a estar en la banda lateral superior y por tanto el ancho de banda disminuye[3].

Una de las limitaciones mas importantes que puede tener la modulación SSB es el factor económico, al ser un método mas complejo que la modulación AM claramente va a representar mayores costos para su implementación, sumado a lo anterior es muy pobre en lo que respecta a la calidad de sonido debido a que es muy susceptible a que señales se superpongan en la banda deseada que contiene la información. Para finalizar las limitaciones de este método, se puede agregar a lo mencionado el hecho de que se requiere una buena sincronización para tener una demodulación eficiente entre la señal portadora, el receptor y el emisor (lo cual claramente es uno de los factores para los costos elevados).

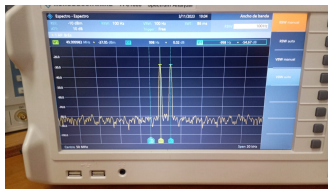


Fig. 1: Modulación cuadrada SSB



Fig. 2: Modulación cuadrada SSB

- Para el caso seleccionado se tomo un audio como mensaje de entrada, para este audio se calculo el valor máximo con el fin de poder aplicar la siguiente ecuación:

$$\mu(+) = Ka * \max(m(t))$$

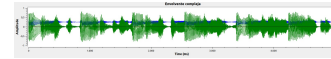


Fig. 3: Mensaje de audio(valor máximo)

Analizando la simulación del audio en el dominio del tiempo como se aprecia en la figura3, se puede decir que el valor máximo que toma esta señal es de 0.8860V. Por lo cual el analisis principal que se puede tener para esto resultados es el hecho de decir que si se quiere tener un  $\mu+$  de 100 %, el valor de  $Ka = 1.1229$ .

Por lo tanto tenemos que la ecuación y los parámetros que representa el caso anterior están dados por:

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

donde  $A_c = 250mV$ ,  $A_m(\max) = 0,8860V$ ,  $k_a = 1,1229$ ,  $f_c = 50$  [MHz].

- Para este enunciado analizaremos el comportamiento en el espectro a medida que se varia el  $Ka$  para el mismo audio del enunciado anterior, los resultados obtenidos se presentan a continuación:

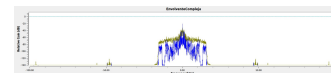


Fig. 4: Ka=1

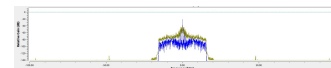


Fig. 5: Ka=0.5

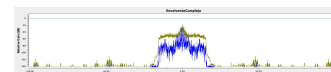


Fig. 6: Ka=2

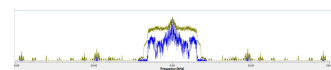


Fig. 7: Ka=10

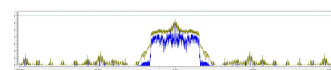


Fig. 8: Ka=20

Como se aprecia en las figuras anteriores se nota como a medida que se aumenta el valor correspondiente a  $K_a$ , también aumenta el valor de la ganancia relativa en el espectro.

- Transmitir la portadora en las modulaciones lineales es algo de suma importancia, ya que gracias a esta el receptor puede demodular la señal para recuperar la información original, otro de los factores importantes es que funciona como un medio para separar en frecuencia, evitando así posibles interferencias y superposiciones de señales que se encuentren presentes en un mismo canal de comunicación[4].

Debido a lo anterior se puede decir que la importancia de transmitir la portadora radica en el hecho de asegurar que la comunicación que se desea entablar sea eficiente y de alta calidad, ya que gracias a esta se puede recuperar la señal original y se tiene una separación de frecuencias que evita interferencias en un canal, además se cuenta con una excelente eficiencia espectral y una sincronización adecuada en el receptor.

- Primero que nada se debe tener en cuenta que los tipos de modulaciones que se trabajaron en el laboratorio fueron la modulación en amplitud(AM) Y la modulación de banda lateral única(SSB)[5]:

Ventajas de la modulación AM respecto a la SSB:

Se tiene que la modulación AM es mucho mas sencilla de implementar que la SSB, lo cual tiene relación directa con los costos de implementación lo anterior se debe a que el proceso que se requiere para eliminar alguna de las bandas laterales resulta ser muy complejo.

Otra de las ventajas que se obtiene al aplicar una modulación AM es el hecho de que se obtiene una señal de mayor calidad que por el método SSB, lo mencionado anteriormente toma un revuelo importante cuando se busca realizar transiciones de radio y música.

Cuando se realiza una modulación del tipo AM, se tiene que el proceso para la recepción es mucho mas sencillo que necesario para el método SSB, de lo anterior se puede decir que al necesitarse receptores mas simples se requieren menos costos, lo cual hace que la modulación AM sea mucho mas accesible.

Tomando en cuenta que la modulación AM cuenta con un ancho de banda mas amplio se puede afirmar que es menos susceptible a sufrir interferen-

cias, mientras que para el caso de SSB en el cual el ancho de banda es mas pequeño se tiene un mayor riesgo de que existan interferencias en la banda lateral de interés, lo cual vuelve mas difícil el proceso de demodulación.

Ventajas de la modulación SSB respecto a la AM:

En el laboratorio se noto que la modulación del tipo SSB cuenta con un ancho de banda mucho mas pequeño que el que se obtiene con la AM( en la AM se transmite tanto banda lateral inferior como banda lateral superior, mientras que en la SSB solo se transmite una de las dos bandas y la portadora). Tomando en cuenta lo anterior se puede concluir que este método va a tener una mayor eficiencia en el espectro.

Anteriormente se menciono que en SSB el ancho de banda es menor que en AM, debido a lo anterior se puede decir que en este método se requiere menos potencia para transmitir la misma información en comparación con AM, lo cual juega un papel importante cuando se quiere trasladar información a larga distancia(comunicaciones de onda corta por ejemplo).

### 3. Conclusiones

- Es importante transmitir la señal portadora en la modulación AM, debido a que gracias a esta el receptor puede recuperar la información y en el espectro se garantiza que no se interfieran señales que comparten un mismo canal de comunicación.
- Recuperar una señal modulada en SSB es un proceso muy complejo y costoso.
- En la modulación AM se puede observar que cuando se aumentaba el índice de modulación también se tenía un incremento en la potencia correspondiente a las bandas laterales (cuando el índice de modulación tomaba un valor de dos estas potencias eran muy aproximadas a la de la frecuencia portadora).
- En la modulación SSB se tiene un menor ancho de banda que en la AM, lo cual en el espectro representa una mayor eficiencia en los términos de potencia, ya que en esta se puede transmitir la misma información consumiendo una menor energía que en el método AM.
- Cuando se quiere analizar el comportamiento de una señal modulada en el analizador de espectros

es importante ajustar la frecuencia central del instrumento para que coincida con la frecuencia de la portadora, además de lo anterior para una correcta representación también es importante ajustar de manera correcta los parámetros RWB y el SPAN. Teniendo en cuenta que los datos mencionados anteriormente son los correctos para el caso de un audio se podrá realizar la demodulación de la señal gracias a un marcador predeterminado logrando así escuchar el mensaje(audio) en el equipo.

## Referencias

- [1] Licha, “Modulación de amplitud (AM),” 4 2023. [Online]. Available: <https://techlib.net/techedu/modulacion-de-amplitud-am/>
- [2] Admin, “Introducción a la modulación AM,” 11 2021. [Online]. Available: <https://aprendiendotelecom.com/2021/11/03/modulacion-am/>
- [3] “SSB - Wikiversidad.” [Online]. Available: [https://es.wikiversity.org/wiki/SSB#Representaci%C3%B3n\\_en\\_tiempo\\_y\\_frecuencia](https://es.wikiversity.org/wiki/SSB#Representaci%C3%B3n_en_tiempo_y_frecuencia)
- [4] S. M. N. S. Du, Ke-Lin. Cambridge University Press, 2010. [Online]. Available: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWCSFRFS2/wireless-communication/wireless-communication>
- [5] “Modulación de banda lateral.” [Online]. Available: <https://tutoriales.edu.lat/pub/principles-of-communication/principles-of-communication-sideband-modulation/modulacion-de-banda-lateral>