

Práctica 3: MODULACIONES LINEALES

JUAN MANUEL CARDONA ERAZO – 2195551
JUAN CAMILO TIBADUIZA ACEVEDO – 2192303

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

12 de noviembre de 2023

Resumen

En el siguiente informe de laboratorio, se abordará el análisis de diversos tipos de modulación lineal, con especial atención a las modulaciones AM [1] y DSB [2]. La práctica experimental se estructura en dos partes fundamentales. En la primera fase, se procede a medir los coeficientes de la señal modulada mediante la identificación de los puntos máximo y mínimo de su envolvente. Este enfoque proporciona la base para el cálculo preciso de la potencia de la señal. En la segunda parte, se centra en el estudio de la modulación en banda lateral única (SSB) [3], empleando análisis tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Este enfoque integral ofrece una comprensión completa de las características temporales y espectrales de las señales moduladas, contribuyendo a un análisis exhaustivo de los sistemas de comunicación.

Palabras clave: Modulación, ancho de banda, envolvente compleja.

1. INTRODUCCION

La modulación en amplitud (AM) desempeña un papel crucial en las comunicaciones, y su análisis detallado en el dominio del tiempo proporciona ventajas significativas. Al utilizar el osciloscopio para examinar señales moduladas en amplitud en el dominio temporal, se adquieren habilidades esenciales para comprender la dinámica de la señal. La visualización directa de la forma de onda temporal en el osciloscopio permite observar la amplitud, frecuencia y forma de la señal AM. Este análisis revela características temporales específicas, como la modulación de amplitud y los ciclos de la portadora [4], facilitando la identificación de posibles problemas, como distorsiones o sobre modulación. Las habilidades adquiridas incluyen la capacidad para interpretar formas de onda temporales, realizar análisis detallados, medir parámetros temporales clave y comprender la dinámica temporal de las señales moduladas en amplitud.

En el dominio temporal, varios parámetros pueden obtenerse o medirse de las señales moduladas linealmente. La frecuencia en la que se encuentran ubicadas tanto la señal portadora como las bandas laterales puede observarse claramente. Además, la amplitud en voltaje de la señal modulada es fácilmente discernible, permitiendo calcular los valores de máximo y mínimo de la envolvente. Asimismo, es posible hallar el coeficiente de modulación, proporcionando información valiosa sobre cómo afecta la señal original.

Pasando al dominio de la frecuencia, la ventaja de analizar las señales moduladas en amplitud utilizando un analizador de espectro radica en la obtención de información detallada sobre la distribución de energía en diferentes componentes de frecuencia. Este enfoque revela las frecuencias de la portadora y las bandas laterales, así como posibles interferencias o distorsiones. La interpretación del espectro de frecuencia desarrolla habilidades para identificar el ancho de banda, evaluar la calidad de la modulación y detectar problemas potenciales en la señal. Además, al analizar el dominio de la frecuencia, se puede medir el coeficiente de modulación y comprender cómo afecta las bandas laterales.

Para observar señales moduladas linealmente en el analizador de espectro, se deben considerar ciertos aspectos mínimos. Es esencial establecer una frecuencia central adecuada para visualizar la señal portadora, y la frecuencia del mensaje debe ser mayor o igual a 10K [Hz] para un análisis detallado. Además, se debe evitar la sobre modulación en relación con la amplitud de los picos de las bandas laterales. En este contexto, el analizador de espectro se convierte en una herramienta invaluable para el análisis y la optimización de sistemas de comunicación, proporcionando una comprensión completa y detallada de las señales moduladas en amplitud.

2. PROCEDIMIENTO

Aquí se exponen dos enfoques para medir el índice de modulación m , aplicables tanto al dominio del tiempo como al de la frecuencia. En el contexto temporal, se realiza la toma de medidas de A_c (promedio entre máximo y mínimo) y A_m (voltaje entre máximo o mínimo) utilizando un osciloscopio. Matemáticamente, el índice de modulación [5] se calcula como $m = A_m/A_c$, lo que significa que el coeficiente de modulación es simplemente el promedio entre A_m y A_c . En cuanto al dominio de la frecuencia, se observan tres pulsos que representan las bandas laterales y la banda de la señal portadora del mensaje. El coeficiente de modulación se determina como la diferencia de potencial entre la señal portadora del mensaje y una de las bandas laterales, expresándose matemáticamente como $NdB = 20 \cdot \log(m/2)$.

Es relevante señalar que el índice de modulación no es exclusivo de las señales de amplitud modulada (AM). De hecho, este parámetro también se encuentra en las modulaciones de frecuencia (FM), donde describe la profundidad de la modulación alcanzada para una señal que se modula en amplitud y frecuencia específicas. Por lo tanto, el índice de modulación es una métrica aplicable a diversos tipos de señales, extendiendo su utilidad más allá de las señales AM.

Ka	Offset	Pt [dBm]	Pc[dBm]
1	0	-39,03	-27,04
2	0,5	-42,42	-23,26
1	1	-44,97	-20,87

Tabla 1. Variación del parámetro k_a .

El índice de modulación m experimenta variaciones según diferentes parámetros, ya sea en el dominio temporal o frecuencial, y esta variación está directamente ligada a la amplitud de la señal portadora del mensaje y la señal moduladora. La proporcionalidad entre el coeficiente de modulación y la amplitud de la envolvente es evidente, ya que a medida que aumenta la separación entre el máximo y el mínimo de esta señal, la diferencia de potencial también se incrementa, resultando en un coeficiente de mayor magnitud. Como se mencionó anteriormente, es deseable que el coeficiente de modulación se encuentre en el rango de valores entre cero y uno, ya que si $m > 1$, se produce el efecto de sobre modulación. La introducción de una componente de offset en el mensaje genera una disminución en la potencia de las señales, ya que existe una relación inversamente proporcional. En otras palabras, a medida que la componente continua aumenta, la disminución de potencias se incrementa.

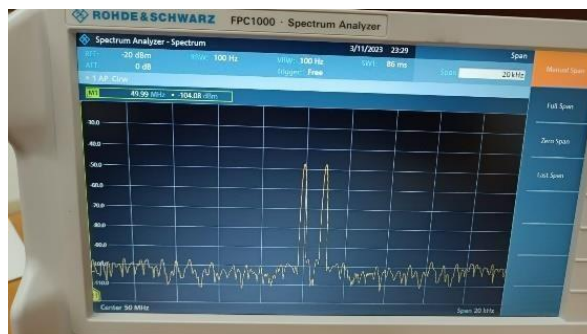


Figura 1. Portadora habilitada, banda lateral superior.

Cuando nos referimos a la señal portadora, nos estamos refiriendo a una señal cuyos parámetros de amplitud y frecuencia han sido ajustados de acuerdo con las variaciones inducidas por la señal moduladora. Todo este proceso tiene como objetivo principal la transmisión de información. Para llevar a cabo la modulación, es esencial contar con una señal senoidal cuya frecuencia sea mayor que la señal moduladora. Cuando estas dos señales se mezclan, se genera una señal con parámetros variables. En el contexto de la modificación del modulador A_m para generar DSB-SC, se utiliza como referencia la señal modulada en DSB $S(t) = A_c[1 - K_a \cdot m(t)] \cdot \cos(2\pi f_c t)$. Sin embargo, la señal mensaje se reemplaza por $m(t) = -1/K_a[1 - m(t)]$, lo que resulta en $m(t) = -1/K_a + 1/K_a \cdot m(t)$. Sustituyendo esto en la ecuación anterior, obtenemos $S(t) = A_c \cdot m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t)$. Esto indica que ahora el mensaje presenta un factor de escalamiento y un desplazamiento con igual magnitud, pero signo opuesto, lo que permite generar DSB-SC utilizando el modulador AM sin realizar modificaciones adicionales.

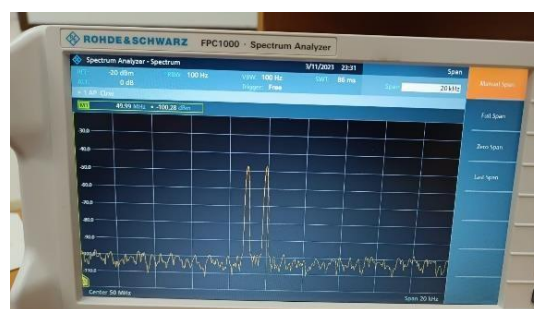


Figura 2. Portadora habilitada, banda lateral inferior.

Cuando nos enfrentamos a la tarea de llevar a cabo implementaciones de modulación SSB, nos topamos con ciertas restricciones, como ya hemos mencionado anteriormente. Aunque la modulación de banda lateral única presenta la ventaja principal de ocupar menos espectro y, por ende, ahorrar ancho de banda, conlleva algunas desventajas notables. Entre ellas se destacan el elevado costo asociado y la complejidad inherente. Esto se debe a que, para eliminar una de las bandas laterales,

se recurre al uso de métodos como el de fase o el de filtrado. Esta complejidad agrega dificultad al proceso de supresión precisa de la banda no deseada, y esta tarea se complica aún más en presencia de offset. Cabe destacar que, en la práctica que se describe, se optó por implementar la modulación AM, y a continuación se presentan las evidencias correspondientes.

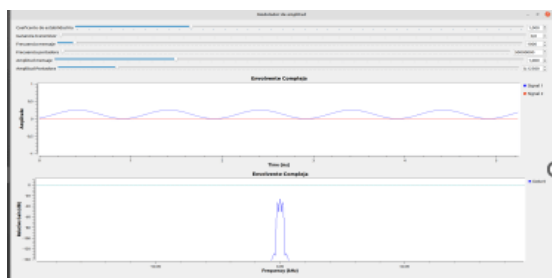


Figura 3. Modulación AM para una señal senoidal.

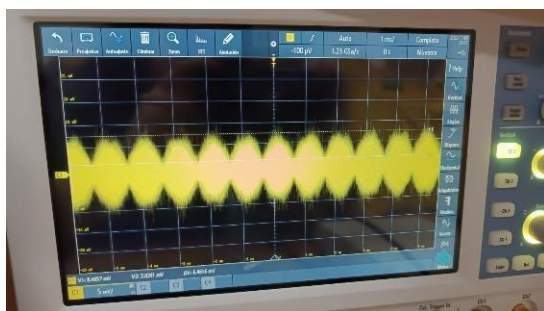


Figura 4. Portadora habilitada, señal coseno en el osciloscopio.

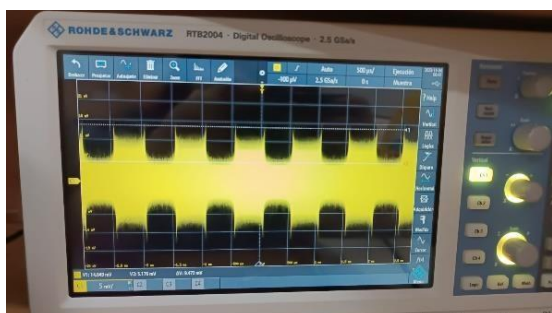


Figura 5. Señal cuadrada, portadora habilitada, banda lateral superior, osciloscopio.

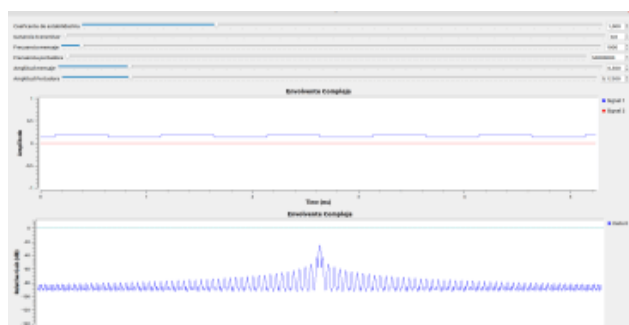


Figura 6. Modulación AM para una señal cuadrada.

La sección 3.2 aborda el tema de la modulación SSB, y a continuación se presentan las pruebas correspondientes de la práctica de laboratorio. Estas pruebas detallan el procedimiento llevado a cabo, utilizando el osciloscopio para el análisis temporal y el analizador de espectro para el análisis en el dominio de la frecuencia.

Para la Banda Superior con portadora (GNU/Dominio del tiempo/Dominio de la frecuencia), la expresión es la siguiente:

$$S(t) = [Ac + (1/2)*m(t)]*cos(2\pi f_c t) + (1/2)*m(t)*sin(2\pi f_c t),$$

donde $Ac = 0.125$, $f_c = 50$ MHz y $Am = 1$.

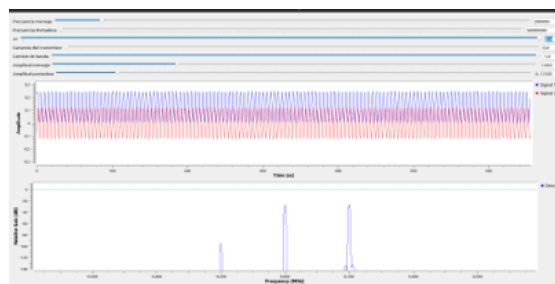


Figura 7. Banda superior con portadora.

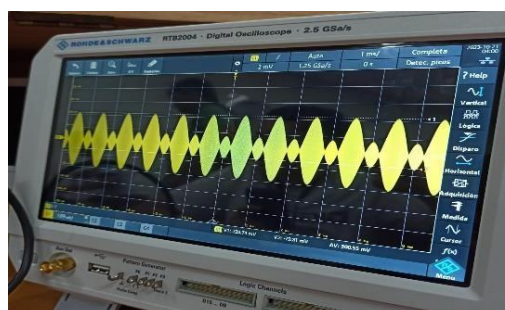


Figura 8. Banda superior con portadora.

Banda inferior con portadora (GNU / Dominio del tiempo/ Dominio de la frecuencia):

$$S(t) = [Ac + (1/2)m(t)]Cos(2\pi f_c t) - (1/2)*m(t)Sen(2\pi f_c t),$$

donde $Ac = 0,125$; $f_c = 50$, MHz y $Am = 1$.

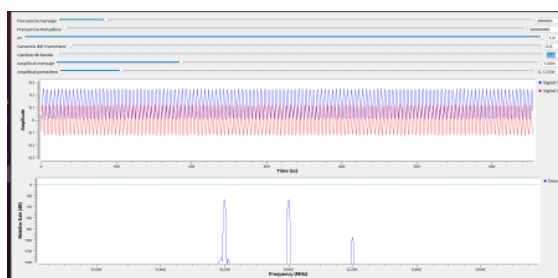


Figura 9. Banda inferior con portadora.



Figura 10. Banda inferior con portadora.

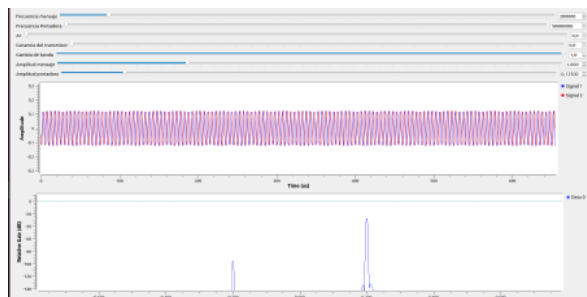


Figura 11. Banda superior sin portadora.

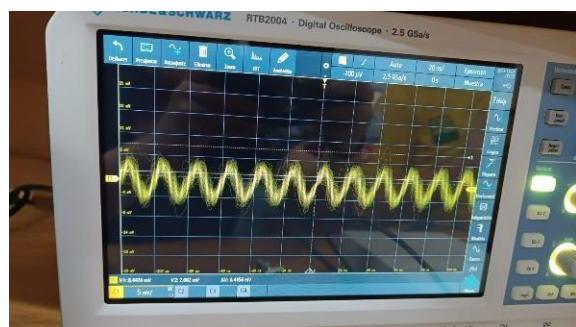


Figura 12. Banda superior sin portadora.

3. CONCLUSIONES

De acuerdo con la práctica de laboratorio presentada anteriormente, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se establece que todas las técnicas de modulación estudiadas derivan de la modulación de amplitud (AM). Esto subraya la importancia fundamental de la AM en el campo de las comunicaciones inalámbricas, sirviendo como base para el desarrollo de métodos de modulación más avanzados.
- La observación de que ambas bandas laterales en la modulación AM contienen la misma información revela una ineficiencia inherente en este tipo de modulación. Esto sugiere la posibilidad de mejorar la eficiencia de transmisión eliminando la redundancia.
- El uso diferenciado del osciloscopio para análisis temporales y el analizador de espectros para el análisis de frecuencias destaca la importancia de seleccionar herramientas adecuadas para diferentes aspectos del análisis de señales. Esto enfatiza la necesidad de comprender bien cada instrumento y su aplicación específica.
- La eliminación de una de las bandas laterales en la modulación SSB no solo reduce la redundancia sino que también disminuye el ancho de banda necesario para la transmisión. Esto tiene implicaciones significativas en términos de eficiencia espectral, lo que es especialmente valioso en entornos donde el espectro es un recurso limitado.
- La reducción del ancho de banda en SSB en comparación con AM destaca cómo diferentes técnicas de modulación pueden impactar de manera crítica en la eficiencia del uso del espectro. Esta comparación ilustra directamente los beneficios de elegir una técnica de modulación adecuada según las necesidades específicas de la aplicación.
- La identificación de la sobre modulación como un problema potencial subraya la importancia de un control cuidadoso de los parámetros de modulación. La interferencia y la distorsión resultantes de la sobre modulación resaltan la necesidad de un equilibrio preciso en el proceso de modulación para garantizar la calidad y la integridad de la señal transmitida.

Estas conclusiones brindan una comprensión más profunda y técnica de los conceptos de modulación, destacando tanto las limitaciones como las ventajas de diferentes técnicas en el contexto de las comunicaciones inalámbricas.

4. REFERENCIAS:

- [Jsgarcia, «Medium,» 12 11 2019. [En línea]. Available:
1 [https://medium.com/modulaci%C3%B3n-por-](https://medium.com/modulaci%C3%B3n-por-amplitud-am-y-sus-variantes/modulaci%C3%B3n-de-amplitud-am-y-sus-variantes-6b7d575d2698)
] [amplitud-am-y-sus-variantes/modulaci%C3%B3n-de-](https://medium.com/modulaci%C3%B3n-de-amplitud-am-y-sus-variantes-6b7d575d2698)
[amplitud-am-y-sus-variantes-6b7d575d2698](https://medium.com/modulaci%C3%B3n-de-amplitud-am-y-sus-variantes-6b7d575d2698).

- [Polaridad.es, «Polaridad.es,» 12 05 2019. [En línea].
2 Available: [https://polaridad.es/dsb-sc-la-modulacion-](https://polaridad.es/dsb-sc-la-modulacion-de-doble-banda-lateral-con-portadora-suprimida/)
] [de-doble-banda-lateral-con-portadora-suprimida/](https://polaridad.es/dsb-sc-la-modulacion-de-doble-banda-lateral-con-portadora-suprimida/).

- [M. Steer, «LibreTexts,» 2022 10 30. [En línea].
3 Available:
] [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B1o_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_(Steer)/03%3A_Transmisores_y_Receptores/3.02%3A_Modulaci%C3%B3n_de_banda_lateral_%C3%BAnica_y_doble_banda_lateral)
[1o_de_microondas_y_RF_I_-](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B1o_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_(Steer)/03%3A_Transmisores_y_Receptores/3.02%3A_Modulaci%C3%B3n_de_banda_lateral_%C3%BAnica_y_doble_banda_lateral)
[_Sistemas_de_radio_\(Steer\)/03%3A_Transmisores_y_R](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B1o_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_(Steer)/03%3A_Transmisores_y_Receptores/3.02%3A_Modulaci%C3%B3n_de_banda_lateral_%C3%BAnica_y_doble_banda_lateral)
[eceptores/3.02%3A_Modulaci%C3%B3n_de_banda_lat](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B1o_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_(Steer)/03%3A_Transmisores_y_Receptores/3.02%3A_Modulaci%C3%B3n_de_banda_lateral_%C3%BAnica_y_doble_banda_lateral)
[eral_%C3%BAnica_y_doble_banda_lateral](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Dise%C3%B1o_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_(Steer)/03%3A_Transmisores_y_Receptores/3.02%3A_Modulaci%C3%B3n_de_banda_lateral_%C3%BAnica_y_doble_banda_lateral).

- [D. O. Flores, «Cisco Community,» 01 01 2021. [En línea].
4 Available: [https://community.cisco.com/t5/blogs-](https://community.cisco.com/t5/blogs-wireless-mobility/se%C3%B1ales-portadoras-carrier-signals/ba-p/4265827)
] [wireless-mobility/se%C3%B1ales-portadoras-carrier-](https://community.cisco.com/t5/blogs-wireless-mobility/se%C3%B1ales-portadoras-carrier-signals/ba-p/4265827)
[signals/ba-p/4265827](https://community.cisco.com/t5/blogs-wireless-mobility/se%C3%B1ales-portadoras-carrier-signals/ba-p/4265827).

- [I. O. M., «Cap. 6-2.- Desviación de fase, el índice de
5 modulación y la desviación de frecuencia,» 2010.
]