

## Práctica 3: MODULACIONES LINEALES

Daniel Gutierrez  
Juan Cardona

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

15 de diciembre de 2022

### Resumen

En el informe de laboratorio que se presenta a continuación, se hablará sobre el estudio de distintos tipos de modulación lineal, haciendo énfasis en las modulaciones AM y DSB. La práctica realizada se divide en dos partes, primeramente se miden los coeficientes de la señal modulada a partir del máximo y el mínimo de su envolvente para de esta manera calcular la potencia de la misma, en segundo lugar, se realiza el estudio de la modulación en banda lateral única (SSB), para lo cual se ejecutan análisis tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia.

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

### 1. Introducción

Cree un párrafo donde se responda las siguientes preguntas. Desde su experiencia describa:

Una modulación lineal se define como la relación que existe entre el mensaje que se transmite y un parámetro de la señal portadora del mismo, su nombre se debe a que el espectro producido se relaciona linealmente con el espectro del mensaje, dicho de otro modo es la modificación de algún parámetro en la onda portadora del mensaje gracias a una señal moduladora la cual se desea transmitir con la finalidad de optimizar el aprovechamiento del canal de comunicación. Existen distintos tipos de modulación, como AM, VSB, DSB y SSB.

La modulación AM: En este tipo de modulación, se ven involucradas dos señales;  $m(t)$  que es la señal mensaje y la señal portadora trabajada de manera senoidal y la cual es utilizada para evitar pérdidas de información del mensaje que podrían generarse a través del medio transmisor. Este proceso se basa en realizar variaciones en la amplitud de la

señal portadora de acuerdo a los requerimientos necesarios, al tener definidas estas dos señales, la modulación de amplitud mencionada previamente puede ser definida como un proceso en el cual la amplitud de la señal portadora  $c(t)$  del mensaje se varía con respecto al valor medio linealmente con la señal banda - base  $m(t)$ .

Modulación VSB o modulación de banda vestigial lateral: En este tipo de modulación se realiza un filtrado parcial de una de las bandas laterales, en donde la banda que se filtra parcialmente es un rastro de la banda original, esto mejora la relación SNR en las bajas frecuencias de la señal moduladora. Por este motivo, este tipo de modulación es una solución para cuando lo que se desea es ahorrar ancho de banda; aunque la modulación SSB pareciera ser la opción más adecuada, se debe tener en cuenta que se tiene el problema de la eliminación exacta de la banda indeseada por lo que es difícil tanto crearla como detectarla, dado que este esquema produce una ineficaz reproducción de bajas frecuencias.

La modulación DSB o modulación de doble banda lateral: En este tipo de modulación lineal se busca realizar modificaciones de la amplitud de la señal portadora del mensaje en función de las variaciones de la señal moduladora, existe una clara diferencia con la modulación AM y es que en la modulación DSB se anula la señal portadora del mensaje con la finalidad de optimizar la potencia, únicamente se transmiten la banda lateral inferior y la banda lateral superior.

La modulación SSB o modulación de banda lateral única: En este tipo de modulación las bandas laterales tienen la misma información, por este

motivo se anula una de ellas junto con la señal portadora, es por ello que este tipo de modulación también se conoce como modulación AM especial, la diferencia con la modulación AM original es que la modulación SSB tiene un valor más bajo de BW, haciendo así que la señal ocupe menos espectro, lo cual es un factor beneficioso. Un aspecto en común, es que todos buscan modular la señal portadora del mensaje para optimizar el aprovechamiento del canal de comunicación, se puede analizar que todos estos tipos de modulación parten de la modulación AM, pero cada uno optimiza distintos factores como ancho de banda o potencia de la señal, en otras palabras, se complementan al ser uno la solución del otro, la utilización del tipo de modulación que implementemos, depende de qué problema queremos solucionar. Sea cual sea el tipo de modulación, tenemos que en general el mensaje se presenta como una señal senoidal de la forma  $x(t) = A_m \cos(\omega_m t)$ .

**El índice de modulación:** Se trata de un parámetro el cual indica la variación que se introduce por parte de la modulación con respecto a la señal original, por ejemplo, si hablamos del índice de modulación AM, decimos que expresa la relación que existe entre la amplitud de la banda lateral y la amplitud de la señal portadora del mensaje, esta relación se expresa como un porcentaje y de aquí proviene su importancia, ya que toma valores entre cero y uno, los cuales indican la cantidad de modulación permitida, cada que el índice de modulación aumenta, lo hace a su vez la distancia entre el máximo y mínimo de la envolvente. Cuando  $m > 1$  se le conoce como sobre modulación, lo cual indica que la señal ha dejado de corresponder a la señal en banda base, es por esto que la señal detectada se encuentra distorsionada, debido a que presenta inversiones de 180 grados en donde la envolvente se cruza con el punto cero, lo cual es indeseable pues podría causarse interferencia.

**Información que puede obtenerse de las señales moduladas:** Si realizamos el análisis en el dominio del tiempo, podemos observar la frecuencia en la que se encuentran ubicadas tanto la señal portadora del mensaje como las bandas laterales, también se puede observar la amplitud en voltaje de la señal modulada, puesto que con esto se pueden calcular los valores de máximo y mínimo, también podemos hallar el coeficiente de modulación y la manera en la cual afecta la forma original de la

onda. Con respecto al análisis en el dominio de la frecuencia, podemos observar las potencias de la señal portadora del mensaje y sus bandas laterales, todas en forma de pulsos, también podemos hallar el coeficiente de modulación y ver la manera como afecta las bandas laterales, ya que entre mayor sea dicho coeficiente, mayor será la potencia que tendrán las bandas incluso cercana al nivel de la portadora de la señal en el momento en que  $m$  se acerca a uno.

**Consideraciones para observar las señales moduladas linealmente:** Con respecto al analizador de espectros se debe tomar en cuenta el hecho de establecer una frecuencia central adecuada para poder observar la señal portadora del mensaje, también establecer una frecuencia del mensaje la cual sea mayor o igual a 10K [Hz], con la finalidad de que pueda observarse de una manera detallada, también se debe tener en cuenta que no se vaya a presentar sobremodulación con relación a la amplitud de los picos de las bandas laterales, Con respecto al osciloscopio, la señal del mensaje es de gran importancia, así como lo es la definición de una referencia y span correctos.

## 2. Procedimiento

- A continuación se mencionan dos métodos para realizar la medición del índice de modulación  $m$ , estas se darán tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia, con respecto al dominio del tiempo, consiste en hacer la toma de medidas de  $A_c$  (promedio entre máximo y mínimo) y  $A_m$  (voltaje entre máximo o mínimo) del osciloscopio, matemáticamente se tiene que  $m = A_m/A_c$  por lo cual el coeficiente de modulación es sencillamente el promedio entre  $A_m$  y  $A_c$ . Con respecto al dominio de la frecuencia, tenemos tres pulsos los cuales representan las bandas laterales y la banda de la señal portadora del mensaje, el coeficiente de modulación es la diferencia de potencial existente entre la señal portadora del mensaje y una de las bandas laterales, teniendo matemáticamente que  $N_dB = 20 \log(m/2)$ .

El índice de modulación puede ser encontrado en la modulaciones FM, en las cuales es utilizado para describir la profundidad de la modulación obtenida para una señal que se modula en amplitudes y en frecuencias determinadas, por lo cual podemos afirmar que dicho índice de modulación no es ex-

clusivo de 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.

- El índice de modulación  $m$  se ve afectado por diferentes parámetros ya sea en el dominio del tiempo o la frecuencia, esto se ve relacionado directamente con la amplitud de la señal portadora del mensaje y la señal moduladora. El coeficiente de modulación es proporcional a la amplitud de la envolvente, debido a que entre más distancia haya entre el máximo y mínimo de esta señal, será mayor la diferencia de potencial, lo cual arroja como resultado un coeficiente de mayor valor. Tal y como se dijo previamente, idealmente el coeficiente de modulación debe pertenecer al rango de valores entre cero y uno ya que si  $m > 1$  da paso al efecto de la sobremodulación. Cuando introducimos una componente de offset en el mensaje, logramos que ocurra una disminución de la potencia en las señales, debido a que hay una relación inversamente proporcional, ya que entre mayor sea la componente continua, mayor será la disminución de potencias.

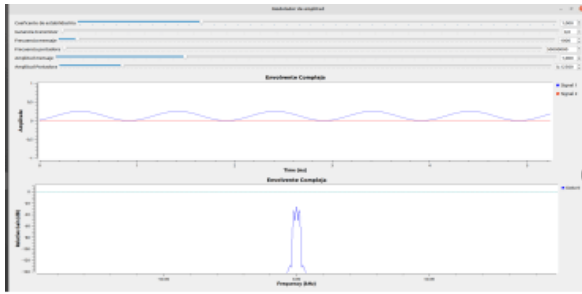


- Al hablar de señal portadora, podemos decir que es aquella señal a la cual se le han modificado sus parámetros de amplitud y frecuencia de acuerdo a las variaciones dadas por la señal moduladora, todo esto con la finalidad de realizar transmisión

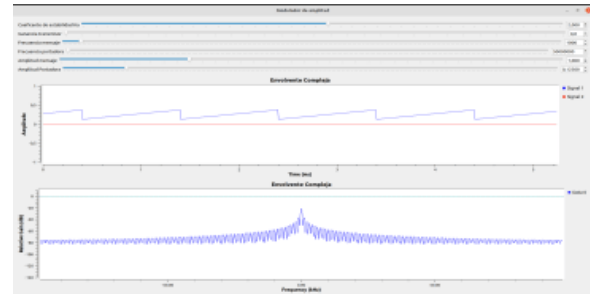
de la información. Para que la modulación pueda ser llevada a cabo, es necesaria una señal senoidal con frecuencia mayor a la señal moduladora, ya que una vez se mezclan estas dos señales. Se produce una señal con parámetros variables. Para la modificación del modulador Am de tal manera que se genere DSB-SC, se toma como referencia la señal modulada en DSB  $S(t) = A_c[1 - K_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$ , pero la señal mensaje es reemplazada por  $m(t) = -(1/K_a)[1 - m(t)]$ , de modo que el mensaje será igual a  $-(1/K_a) + (1/K_a)m(t)$ , reemplazando en la ecuación anterior se obtiene que  $S(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$ . Lo cual indica que ahora el mensaje presenta un factor de escalamiento y un offset con igual magnitud pero distinto signo, de forma que es posible generar DSB-SC utilizando el modulador AM sin hacer modificaciones.



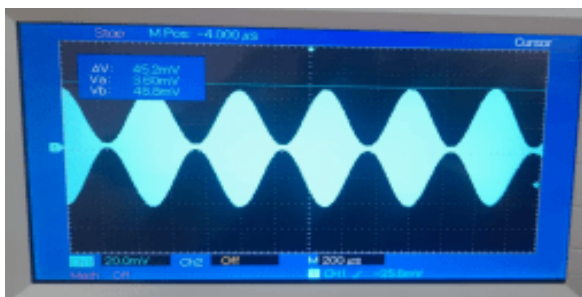
- A la hora de realizar implementaciones de modulación SSB, nos encontramos con ciertas limitaciones, como hemos venido diciendo, la modulación de banda lateral única tiene el principal beneficio de que la señal que produce ocupa menos espectro y genera ahorro de ancho de banda, más sin embargo tiene algunas desventajas, por ejemplo su elevado costo y su complejidad, ya que para anular una de las bandas laterales se utiliza el método de fase o el método de filtrado, por este motivo se hace más difícil el proceso de suprimir exactamente la banda indeseada y más difícil aún con la existencia de offset. El tipo de modulación implementado en esta práctica fue la modulación AM, a continuación se muestran las respectivas evidencias.



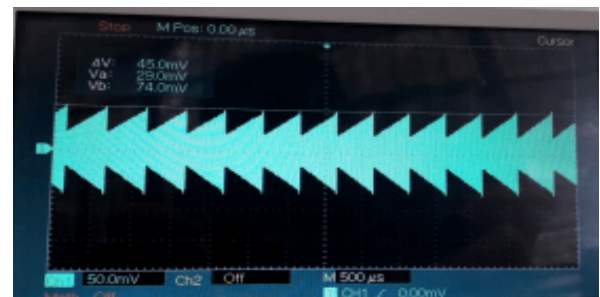
Modulación AM para una señal senoidal



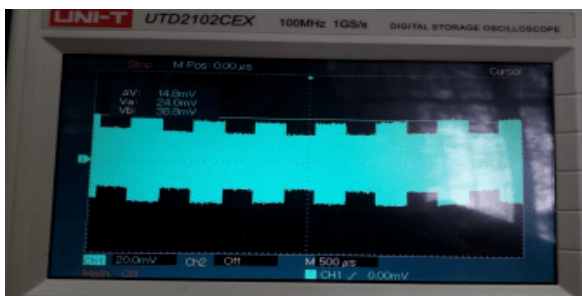
Modulación AM para una señal dientes de sierra en el osciloscopio



Modulación AM para una señal senoidal en el osciloscopio



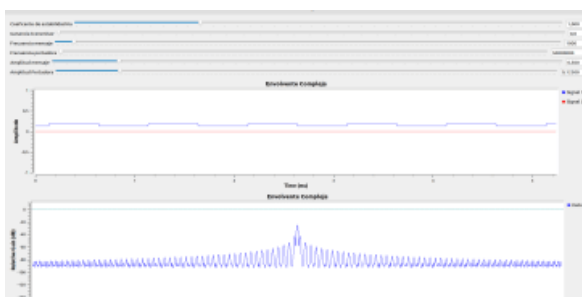
Modulación AM para una señal dientes de sierra en el osciloscopio



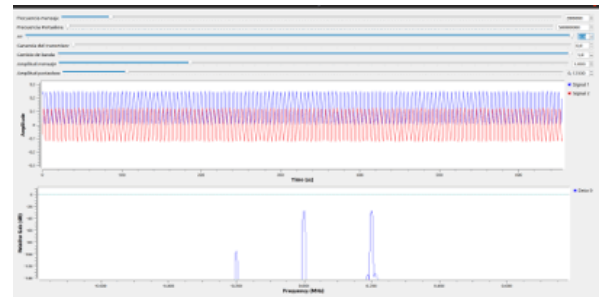
Modulación AM para una señal cuadrada en el osciloscopio

- La sección 3.2 trata de la modulación SSB, a continuación se muestran las respectivas evidencias de la práctica de laboratorio, las cuales describen el proceso realizado en donde el osciloscopio se utiliza para el análisis en el dominio del tiempo y el analizador de espectros para el análisis en el dominio de la frecuencia.

Banda Superior con portadora (GNU / Dominio del tiempo / Dominio de la frecuencia):  $S(t) = [A_c + (1/2)*m(t)]\cos(2\pi f_c t) + (1/2)*m(t)\sin(2\pi f_c t)$ , donde  $A_c = 0.125$ ;  $f_c = 50\text{M [Hz]}$  y  $A_m = 1$

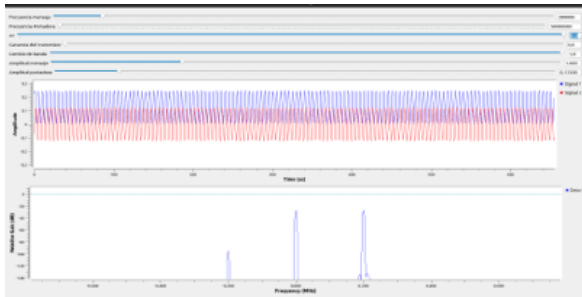


Modulación AM para una señal cuadrada

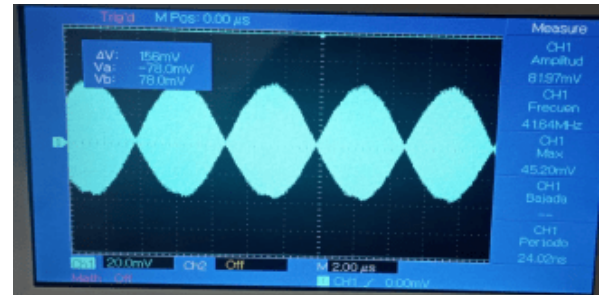


Banda superior con portadora

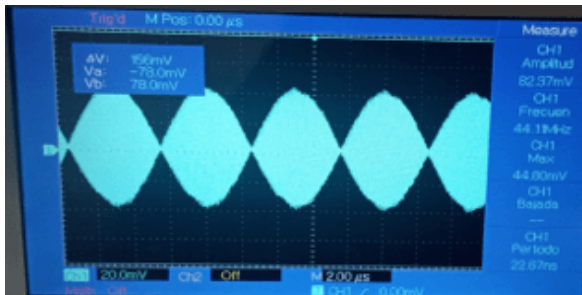




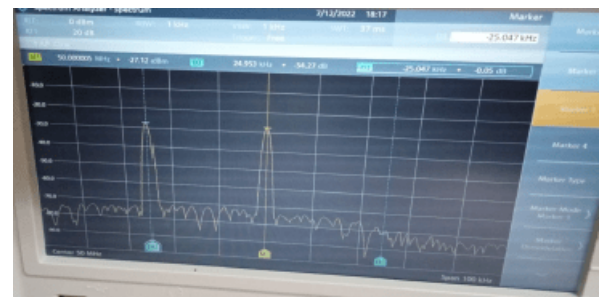
Banda superior con portadora en GNU radio



Banda inferior con portadora



Banda superior con portadora

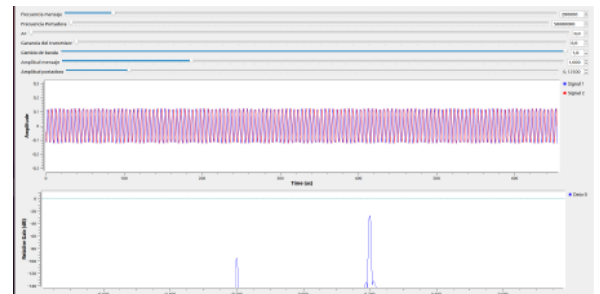


Banda inferior con portadora en el analizador de espectros

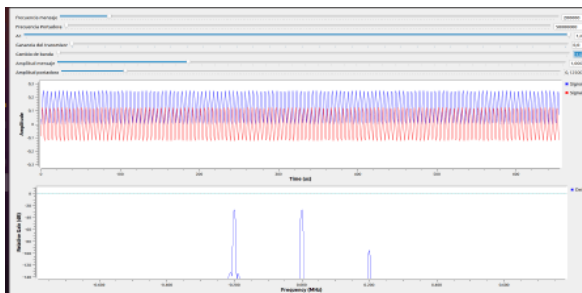


Banda superior con portadora en analizador de espectro

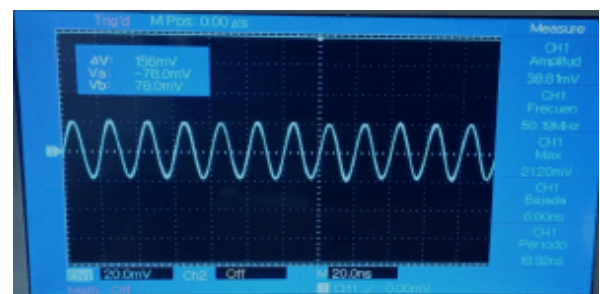
- Banda inferior con portadora (GNU / Dominio del tiempo/ Dominio de la frecuencia):  $S(t) = [A_c + (1/2)m(t)]\cos(2\pi f_c t)(1/2)*m(t)\sin(2\pi f_c t)$ , donde  $A_c = 0, 125$ ;  $f_c = 50$ , MHz y  $A_m = 1$



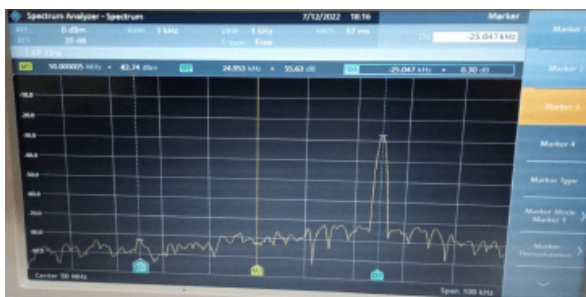
Banda superior sin portadora en GNU radio



Banda inferior con portadora en GNU radio

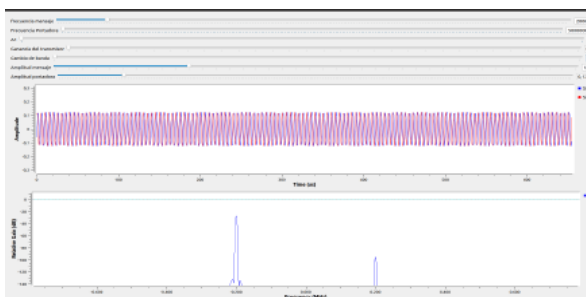


Banda superior sin portadora

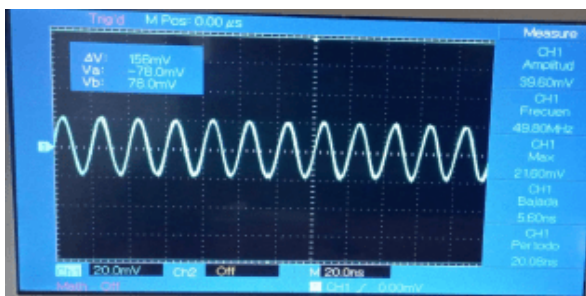


Banda superior sin portadora en el analizador de espectro

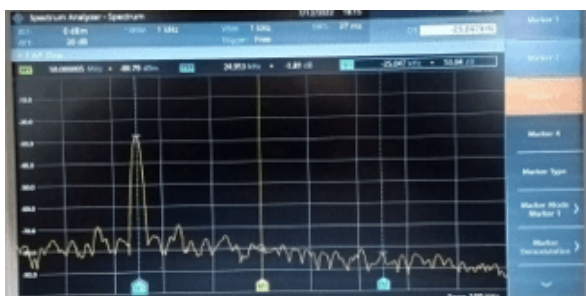
- Banda inferior sin portadora (GNU / Dominio del tiempo/ Dominio de la frecuencia):  $S(t) = A_c/2m(t)\cos(2\pi f_c t) + A_c/2m(t)\sin(2\pi f_c t)$ , donde  $A_c = 0, 125$ ;  $f_c = 50 \text{ MHz}$ ;  $A_m = 1$



Banda inferior sin portadora en GNU radio



Banda inferior sin portadora



Banda inferior sin portadora en el analizador de espectro

### 3. Conclusiones

De la práctica de laboratorio presentada previamente se puede concluir que:

– Todas las modulaciones vistas en la práctica presentada anteriormente parten principalmente de la modulación AM.

– Las bandas laterales poseen siempre la misma información, por ello realizar la transmisión de ambas al tiempo resulta ser una redundancia.

– En el proceso realizado, se determinó que el osciloscopio se utiliza para el análisis en el dominio del tiempo y el analizador de espectros para el análisis en el dominio de la frecuencia.

– Con la modulación SSB se anula una de las bandas laterales ya sea la superior o la inferior, debido a que ambas llevan la misma información.

– La señal SSB tiene un menor valor de BW comparada con la señal AM, lo cual indica que esta ocupa menos espectro siendo este un factor beneficioso.

– La sobre modulación se da en el momento en que el coeficiente de modulación sobrepasa el 100 por ciento, lo cual trae interferencias y es por ello que resulta un efecto indeseado.

### 4. Referencias

“Wikipedia contributors. (s/f). modulación en banda lateral vestigial.

Metodología de análisis por medio de simulación de la modulación M-QAM sobre un canal afectado por desvanecimiento y efecto Doppler / <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4991539.pdf>

Amplitud modulada ,wikipedia /[https://es.wikipedia.org/wiki/Amplitud\\_modulada](https://es.wikipedia.org/wiki/Amplitud_modulada)