

## Práctica 3: MODULACIONES LINEALES

Juan Jose Morales Hernandez - 2191572

Fabian Yesid Moreno BLanco -2191469

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

7 de noviembre de 2023

### Resumen

En el siguiente informe se ilustra el trabajo realizado en el laboratorio con modulaciones AM, SSB y QAM. Estas modulaciones se realizaron a diferentes tipos de mensajes, como cosenos, funciones triangulares, y audios WAV. Se observó la utilidad y el modo de operación de cada una, como estas se ven en el tiempo (a través del osciloscopio) y como se aprecian en el espectro de frecuencia (analizador de espectros).

**Palabras clave:** Modulación, AM, SSB, QAM, Osciloscopio, Frecuencia.

### 1. Introducción

La modulación en amplitud (AM) ha sido históricamente importante en el campo de las comunicaciones, especialmente en la transmisión de señales de radio. La AM es un método de modulación en el que la amplitud de una portadora se varía de acuerdo con la información de la señal que se está transmitiendo.

La modulación en amplitud (AM) ha sido importante históricamente para el desarrollo de la radiodifusión, pues este es un medio de comunicación que se popularizó mucho durante el siglo XX, y en la actualidad facilita la difusión de programas de radio y noticias a un público considerablemente amplio, asimismo facilitó la transmisión de voz y música, como señales de audio, lo cual generó un gran impacto en la forma en que la información y el entretenimiento se distribuyeron a nivel nacional e internacional. También cabe mencionar que la modulación en amplitud de las señales se utilizó extensamente en las comunicaciones militares durante la segunda guerra mundial.

Ahora bien, como es conocido en el mundo del procesamiento de señales, es posible analizar las mismas de dos maneras, ya sea en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia.

Analizar las señales moduladas en amplitud en el dominio del tiempo proporciona información detallada sobre

la variación de la amplitud de la señal a lo largo del tiempo. Al utilizar un osciloscopio es posible analizar las señales moduladas en amplitud en el dominio del tiempo y nos permite visualizar la forma de la onda, lo cual es esencial para comprender la información contenida en la señal modulada, asimismo, permite identificar la señal portadora y la señal moduladora, además mediante el uso de cursores es posible identificar la frecuencia de estas señales y detectar posibles distorsiones o interferencias en la señal.

Por otro lado analizar las señales moduladas en amplitud en el dominio de la frecuencia ofrece varias ventajas, tales como obtener información sobre la distribución de energía en el dominio de la frecuencia, identificar componentes espectrales (permiten identificar claramente la frecuencia de la portadora y las componentes laterales asociadas con la modulación), la medición precisa del ancho de banda y diagnosticar interferencias u otras señales no deseadas.

En el análisis de señales moduladas linealmente, ya sea en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, se pueden medir y obtener diversos parámetros que proporcionan información valiosa sobre las características y el rendimiento de la señal.

En el dominio del tiempo:

- Amplitud instantánea: La amplitud instantánea de la señal modulada en un momento específico en el tiempo.
- Fase instantánea: La fase instantánea de la señal modulada en un momento específico en el tiempo
- Frecuencia instantánea: La frecuencia instantánea de la señal modulada en un momento específico en el tiempo.
- Ancho de pulso: Si la señal es de pulsos, el ancho de pulso es la duración del pulso.



- Índice de modulación (para AM): Relación entre la amplitud de la señal moduladora y la amplitud de la portadora.
- Desviación de frecuencia (para FM): En señales de frecuencia modulada, la desviación de frecuencia es la diferencia máxima entre la frecuencia instantánea y la frecuencia no modulada (portadora).

En el dominio de la frecuencia:

- Ancho de banda: El ancho de banda de la señal modulada, que indica el rango de frecuencias ocupado por la señal.
- Frecuencia de la portadora: La frecuencia central alrededor de la cual se modula la señal.
- Frecuencia de la señal moduladora (para AM): La frecuencia de la señal moduladora que afecta a la amplitud de la portadora.
- Índice de modulación (para FM): En señales de frecuencia modulada, el índice de modulación está relacionado con la amplitud máxima de la señal moduladora y afecta la desviación de frecuencia
- Espectro de frecuencia: La representación de las componentes de frecuencia que componen la señal modulada.
- Relación señal a ruido (SNR): La relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido en la señal modulada.

## 2. Procedimiento

Las modulaciones lineales son técnicas que permiten transmitir información a través de una portadora sin distorsionar la señal original. Uno de los parámetros clave en estas técnicas es el índice de modulación, que controla la cantidad de información que se inserta en la portadora.

Para las mediciones del índice de modulación se tienen en cuenta los siguientes casos, donde experimentalmente se realizan variaciones de las variables en el programa GNU radio observando el respectivo comportamiento en el analizador de espectros:

$$(ka * Am = 1), (ka * Am > 1) y (ka * am < 1).$$

Al calcular la potencia de la señal  $s(t)$  en el analizador de espectro podemos obtener una relación entre esta medida y el índice de modulación, dada por la siguiente ecuación:

$$NdB = 20 \log_{10} \left( \frac{m}{2} \right)$$

De esta manera, podemos obtener el índice de modulación  $m$  a partir de la potencia medida en  $[dB]$ . Es importante resaltar que la señal mostrada en el dispositivo contiene la portadora y el mensaje, por lo tanto la potencia en  $[dB]$  esta dada por la resta entre el valor del pulso de la portadora menos el valor del pulso en la banda lateral.

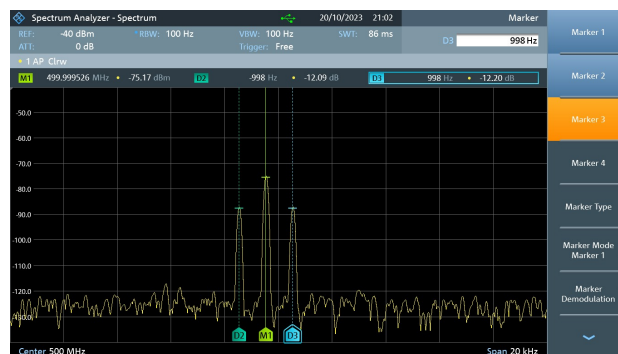


Fig 1: medidas dB en espectro

En la figura 1 se puede apreciar el comportamiento del fenómeno anterior para un índice de modulación menor a 1. Finalmente, de manera general se obtienen los valores para cada uno de los tres casos, consignados en la siguiente tabla.

NdB	m	m teórico
-6.3	0.9683	1
-12.1	0.502	0.5
3.58	3.0201	3

El cálculo del índice de modulación haciendo uso del osciloscopio se realiza de igual manera con los 3 casos de aplicación, pero ahora la señal se tiene en dominio tiempo. El efecto que se tiene sobre la portadora se puede apreciar en las figuras 2 y 3, donde se presenta una señal submodulada y sobremodulada respectivamente.

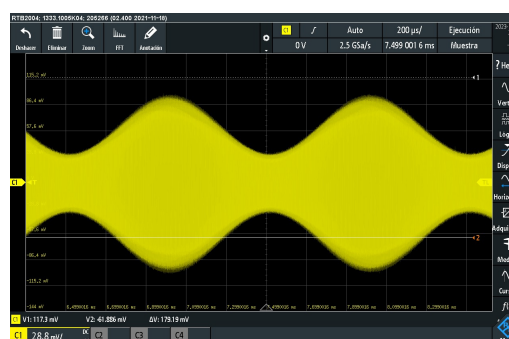


Fig 2: Señal submodulada

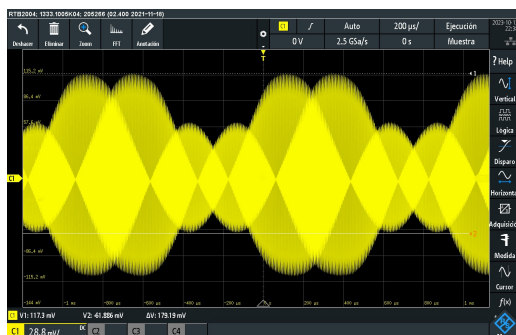


Fig 3: Señal sobremodulada

Las modulaciones en amplitud afectan a diversos parámetros, la relación de los mismos con el índice de modulación se observa en la tabla 2. Las menciones P e I.P se refieren a un comportamiento proporcional e inversamente proporcional respectivamente.

Parámetros	P	I.P
$A_c$		X
$k_a$	X	
$A_m$	X	
$\mu$	X	
$P_T$	X	
$P_c$		X
$\eta$		X

La modulación SSB es una técnica de modulación utilizada para transmitir información de una manera eficiente en términos de ancho de banda. En SSB, solo se transmite una de las dos bandas laterales (superior o inferior) y la portadora no se transmite. Esto resulta en un ahorro significativo de ancho de banda en comparación con la modulación de amplitud (AM). En la siguiente imagen se muestra el espectro con este tipo de modulación para una señal cuadrada, en donde solo se aprecia una sola banda, siendo su transformada un tren de impulsos los cuales van disminuyendo en amplitud.

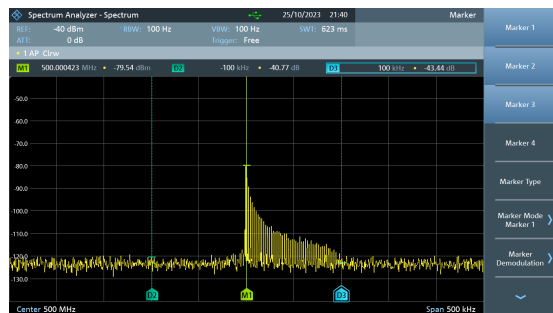


Fig 4: Señal SSB

De igual manera existen limitaciones en este tipo de modulación ya que posee una demodulación más compleja, se requiere un filtrado preciso para suprimir una de las bandas y además es más sensible a la precisión de la frecuencia de la portadora ya que cualquier desviación de frecuencia puede causar distorsiones en la señal demodulada. Esto se comprobó al tener como entrada un mensaje de audio.

En las modulaciones lineales usando mensajes de audio, es importante resaltar que no es correcto decir que el samp rate es el ancho de banda de la señal, pero si se tiene una relación entre ellos. Con el bloque rational resampler, una aproximación del ancho de banda pasa de 200kHz a 48kHz, de la señal en general, haciendo uso de los marcadores se ubica el lado derecho del ancho de banda, es decir 24kHz. La señal varía en su ancho en la parte central debido a los tonos y el sonido que presente el audio, pero contemplándose en el ancho de banda especificado. En la siguiente imagen se describe el comportamiento.

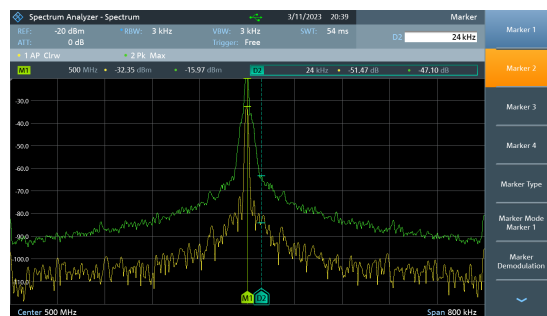


Fig 5: Modulación mensaje de audio

Transmitir la portadora en las modulaciones lineales es esencial para permitir la recuperación de la señal original, rechazar interferencias no deseadas, y garantizar una sincronización efectiva entre el transmisor y el receptor. La portadora actúa como una referencia fundamental para el proceso de demodulación y asegura que la señal se pueda recibir y reconstruir de manera precisa.

La modulación de amplitud (AM) se destaca por su simplicidad y es adecuada para transmisiones de audio, pero su eficiencia espectral es limitada. La modulación de banda lateral única (SSB) ahorra ancho de banda al eliminar una banda lateral y la portadora, pero requiere una demodulación más compleja. La modulación por amplitud en cuadratura (QAM) combina eficiencia espectral con la capacidad de transmitir datos digitales de alta velocidad, pero puede ser más compleja a medida que aumenta el orden de la modulación. El tipo de modulación a utilizar depende del enfoque en la aplicación.

### 3. Conclusiones

Las modulaciones lineales, como AM, SSB y QAM, son técnicas esenciales que permiten transmitir información a través de señales portadoras de manera eficiente y versátil.

En el analizador de espectro, se logró visualizar la transformada de la señal modulada en el dominio de la frecuencia, proporcionando una representación clara de las características y parámetros esenciales de cada tipo de modulación.

Para lograr el efecto de que dos audios se escuchen simultáneamente sin presentar ninguna distorsión entre

ellos se hace uso de los bloques USRP source, complex to float y Audio sink en GNU radio. En términos generales, se obtiene la suma de las transformadas de la señal, no se presenta alguna alteración o distorsión en cada audio de entrada.

### Referencias

- "Principles of Communications: Systems, Modulation, and Noise"(6th Edition) - Rodger E. Ziemer, William H. Tranter, D. R. Fannin
- Communication Systems Engineering John G. Proakis, Masoud Salehi