

Práctica 3

Modulaciones Lineales

Carlos Fernando Carreño Jerez - 2201729

Juan Esteban Pinto Orozco - 2215585

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Universidad Industrial de Santander

21 de Junio de 2024

abstract

The present report focuses on the analysis of linear modulations, their importance in the field of communications, and the advancements they have driven in wireless communications. The activity is divided into two parts, where modulated signals will be studied using an oscilloscope and a spectrum analyzer. These tools allow for the observation and examination of the differences between time-domain analysis and frequency-domain analysis. Additionally, various parameters relevant to signal transmission are calculated, understanding the significance of each. This practice also emphasizes the correct use of the instruments available in the laboratory, allowing for a deep understanding of the methods and their application in the field of communications.

Palabras clave: Linear modulations, Communications, Wireless advancements, Oscilloscope, Spectrum analyzer, Time-domain analysis, Frequency-domain analysis, Signal transmission, Parameters, Laboratory instruments and Method application

Resumen El presente informe se focaliza en el análisis de las modulaciones lineales, su importancia en el ámbito de las comunicaciones y los avances que han impulsado en las comunicaciones inalámbricas. La actividad se divide en dos partes, donde se estudiarán señales moduladas utilizando un osciloscopio y un analizador de espectros. Estas herramientas permiten observar y examinar las diferencias entre el análisis en el dominio del tiempo y el análisis en el dominio de la frecuencia. Además, se calculan diversos parámetros relevantes para la transmisión de señales, comprendiendo la importancia de cada uno. Esta práctica también se destaca por su enfoque en el correcto uso de los instrumentos disponibles en el laboratorio, lo que permite una comprensión profunda de los métodos y su aplicación en el ámbito de las comunicaciones.

Palabras clave: Modulaciones lineales, Comunicaciones, Avances inalámbricos, Osciloscopio, Analizador de espectros, Análisis en el dominio del tiempo, Análisis

en el dominio de la frecuencia, Transmisión de señales, Parámetros, Instrumentos de laboratorio y Aplicación de métodos

1. Introducción

En el ámbito de las comunicaciones electrónicas, la modulación desempeña un papel fundamental al permitir la transmisión de señales a través de diferentes medios. Entre las diversas técnicas de modulación, las modulaciones lineales son esenciales debido a su simplicidad y eficiencia en la transmisión de información. Este informe presenta un estudio detallado sobre las modulaciones lineales, centrándose en la creación de modelos para la envolvente compleja de modulaciones lineales específicas como la Modulación de Banda Lateral Única (Single Side Band - SSB) y la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).

El propósito principal de esta práctica es proporcionar una comprensión profunda de los principios y aplicaciones de las modulaciones lineales. Para ello, se han diseñado, analizado e implementado modelos mediante GNU Radio junto con los equipos disponibles en el laboratorio, los cuales permiten visualizar y comprender la dinámica de la envolvente compleja en estos sistemas de modulación. La envolvente compleja es una herramienta clave en el análisis de señales moduladas, ya que facilita la representación y manipulación de señales de alta frecuencia en términos de sus componentes de baja frecuencia.

La Modulación de Banda Lateral Única (Single Side Band - SSB) es una variante de la modulación AM que mejora la eficiencia del espectro al eliminar una de las bandas laterales y la portadora, permitiendo una transmisión más eficiente. Por otro lado, la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) combina dos señales moduladas en amplitud en fases ortogonales, proporcionando una mayor capacidad de transmisión de información y siendo ampliamente utilizada en sistemas de comunicación digital modernos.

Este informe está estructurado de la siguiente manera: en primer lugar, se presenta una metodología con una descripción detallada de los procedimientos experimentales, seguido se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio junto a sus debidos análisis de los modelos y simulaciones realizadas. Finalmente, se discuten las conclusiones

2. Metodología

En el marco de este laboratorio, se llevaron a cabo dos fases metodológicas, asignadas como parte A y B de dicha práctica. Estas fases se enfocaron en el estudio y análisis de la modulación lineal y la modulación en cuadratura, específicamente en señales de amplitud modulada (AM) y banda lateral única (SSB). El objetivo principal fue analizar los comportamientos y características de estas señales mediante la potencia y el tipo de modulación presente (evaluando su índice de modulación), tanto en el dominio frecuencial como en el temporal.

Actividad previa a la práctica:

Para comenzar esta práctica de laboratorio, primeramente, se realizó un análisis a detalle del material suministrado por el docente, el cual se relaciona con los siguientes temas:

Material Suministrado:

- La comprensión de la modulación de amplitud [1]
- Comprensión de la SSB o Banda lateral única[2]

Parte A: Modulaciones Lineales (Modulación de Amplitud usando GNU Radio)

1. La primera parte de esta práctica se enfocó en la creación de diferentes modelos de envoltura compleja para un modulador AM (La envoltura compleja es una representación canónica en banda base de la señal pasa banda), esto por medio del software GNU Radio y una guía realizada por el docente Efrén Acevedo.[3]

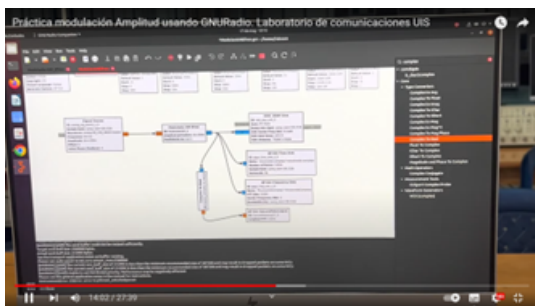


Figura 1: Guía práctica para la parte A del laboratorio.

2. Seguido al montaje, se procedió a determinar el índice de modulación en el dominio de la frecuencia para 3 casos diferentes ($k_a \cdot A_m = 1$), ($k_a \cdot A_m > 1$) y ($k_a \cdot A_m < 1$), para lo cual se calculo la potencia de la señal envoltura compleja, tanto por medio del software de GNU radio como en el analizador de espectro, esto con el fin de comparar estos valores y determinar “m” por medio de la siguiente ecuación:

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

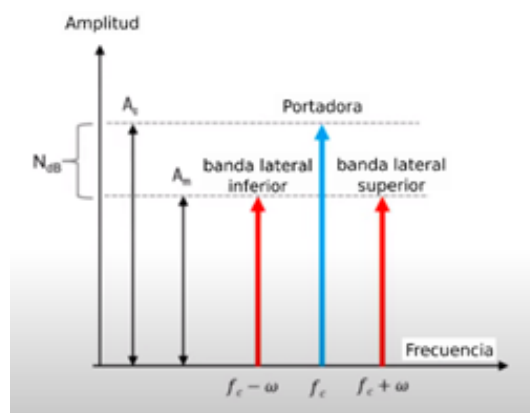


Figura 2: Esquema del análisis en frecuencia.

También se resaltan los siguientes datos en cada caso: Potencia de la señal portadora, Potencia de la banda lateral superior, Potencia de la banda lateral inferior, Índice de modulación y Frecuencia del mensaje.

3. Posteriormente se procede a calcular nuevamente el índice de modulación para los 3 casos anteriores ($k_a \cdot A_m = 1$), ($k_a \cdot A_m > 1$) y ($k_a \cdot A_m < 1$), sin embargo, enfocándonos en el dominio temporal, para esto tendremos que considerar las características de la señal envoltura compleja $g(t)$ (En el software GNU radio) y las amplitudes de la señal $s(t)$ (medida en el osciloscopio). La ecuación para dicho calculo se ilustra a continuación:

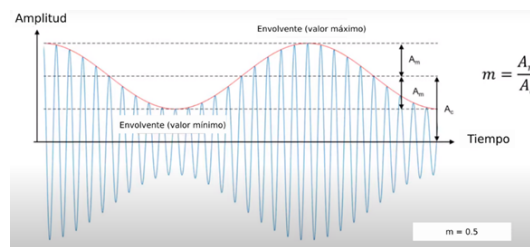


Figura 3: Esquema del análisis en el dominio del tiempo.

4. Procedemos a agregar como mensaje una señal de audio, sobre la cual analizaremos sus valores



máximos, con el fin de sacar conclusiones de su comportamiento a partir del índice de modulación, en los momentos en que este supera el 150 % y cuando se encuentra por debajo del 100 %. Finalmente, usando la opción de demodulación MKR del analizador de espectro, identificaremos aproximadamente cuándo comienza a distorsionarse dicha señal.

- Finalmente procedemos a realizar un análisis sobre una segunda envolvente, la envolvente compleja en modulador AM con Banda lateral Única (Single Side Band - SSB).

Parte B: Modulaciones Lineales en Cuadratura.

Es una técnica que transporta dos señales independientes, mediante la modulación, tanto en amplitud como en fase de una señal portadora. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada en 90°. La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en doble banda lateral con portadora suprimida. [4]

- Implementamos la envolvente compleja en GNU radio partiendo del montaje suministrado en la guía, posterior a esto, realice el análisis en el dominio del tiempo de la señal $s(t)$ (usando el osciloscopio) y frecuencia de la señal $s(t)$ (usando el analizador de espectro). Describa las características de las señales observadas en cada uno de los equipos.

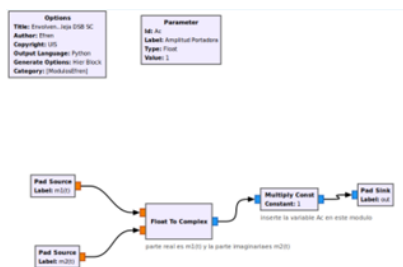


Figura 4: GNU radio Modulación de amplitud en cuadratura.

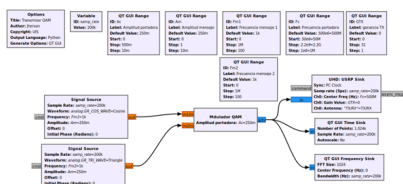


Figura 5: Esquema para el análisis en tiempo y frecuencia.

Partiendo del montaje realizado anteriormente, se introducirán dos señales $m1(t)$ y $m2(t)$, sobre las cuales se analizará su comportamiento tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia, con el fin de percibir sus características y sacar conclusiones de las mismas.

3. Resultados de la Practica

Parte A

- Realizamos la configuración de GNU Radio según como indicaba la guía que teníamos disponibles de modo que quedo de la siguiente manera:

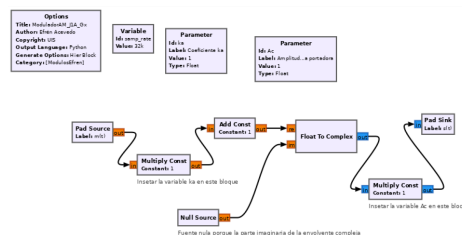


Figura 6: Visualización GNU Radio

- Una vez realizado el montaje expuesto en la guía de laboratorio, procedemos a calcular el índice de modulación utilizando el analizador de espectros. Para ello, es crucial considerar ciertos parámetros como el Span (20 kHz) y el RBW (100 Hz), ya que una configuración adecuada nos permitirá visualizar correctamente la densidad espectral de la señal. A continuación, utilizamos la función MKR en el analizador con el objetivo de colocar un marcador en cada uno de los picos mostrados: uno en el pico central, también conocido como la portadora de la señal modulada, y en los picos laterales, conocidos como bandas laterales. A continuación, se muestra la toma de las señales en el analizador de espectros, considerando cada uno de los casos: ($k_a \cdot A_m = 1$), ($k_a \cdot A_m > 1$) y ($k_a \cdot A_m < 1$).



Figura 7: Índice de modulación igual a 1.



Para el cual calculamos su potencia dando un valor de $10,05 \times 10^{-6}$ [watts].

Luego pasamos a mirar cuando $K_a \cdot a_m > 1$ para lo cual se dejo quieto K_a y se cambio a_m a un valor correspondiente de 0.5 que permitio que fuera cierta la afirmacion, obteniendo el siguiente resultado.

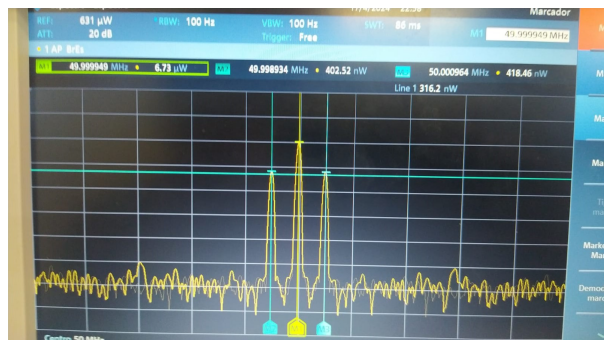


Figura 8: Índice de modulación menor a 1.

El cual tambien se le realiza el calculo de su potencia dando $7,17 \times 10^{-6}$ [watts].

Finalmente se realizo la tercer afirmacion que la cual era $K_a \cdot a_m < 1$ para el cual se dejo quieto a_m y se le asigno a k_a el valor de 1.5 volviendo verdadera la afirmacion y dando el siguiente resultado.



Figura 9: Índice de modulación mayor a 1.

para el cual tambien se miro su potencia correspondiente dando un valor de $1,406 \times 10^{-5}$ [watts].

Tras esto, procedemos a registrar los datos de potencia de la señal tanto en GNU radio, así como el valor NdB, que representa la diferencia de potencia entre el pico de la portadora y el de las bandas laterales, tal como se muestra en la figura 3. A partir de la siguiente formula podemos usar el valor de NdB para determinar el índice de modulación presente en la señal del analizador.

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

Obteniendo los resultados que se evidencian en la siguiente tabla:

Caso	NdB[dB]	m(NdB)	Am	Ka	m(GNU)	P _{GNU} [dBμ]
m = 1	-6.03	0.999	1	1	1	10.02
m < 1	-12.10	0.497	1	0.5	0.5	8.55
m > 1	-2.58	1.49	1	1.5	1.5	11.47

Figura 10: Análisis en el dominio de la frecuencia 1.

Caso	P _T [dBm]	P _c [dBm]	η
m = 1	-20.6	-21.87	25%
m < 1	-22.45	-21.75	17%
m > 1	-15.34	-21.74	77%

Figura 11: Análisis en el dominio de la frecuencia 2.

- Tras completar el análisis en el dominio de la frecuencia, se llevó a cabo un análisis en el dominio del tiempo por medio de un osciloscopio, permitiendo observar directamente el comportamiento de la señal. Para medir experimentalmente el índice de modulación en el osciloscopio, se determina los valores máximos y mínimos de la envolvente, tal como se puede ver ilustrado en la figura ???. Donde A_m corresponde a la amplitud del mensaje y A_c a la amplitud de la portadora, datos que nos permiten determinar el índice de modulación por medio la de la siguiente ecuación.

$$M = \frac{A_m}{A_c} = \frac{\delta V}{2A_c}$$

A continuación, se muestra la toma de las señales en el osciloscopio, considerando cada uno de los casos: ($k_a \cdot A_m = 1$), ($k_a \cdot A_m > 1$) y ($k_a \cdot a_m < 1$).

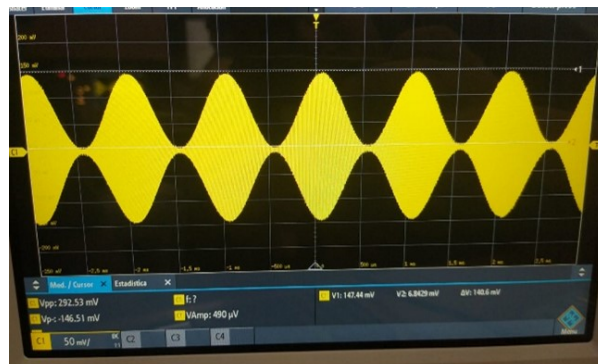


Figura 12: Índice de modulación igual a 1.



Figura 13: Índice de modulación menor a 1.



Figura 16: Modulación mayor al 150 %.



Figura 14: Índice de modulación mayor a 1.

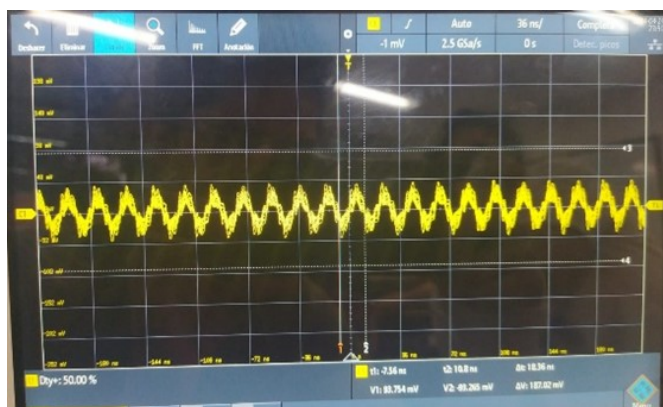


Figura 17: Modulación menor al 100 %.

Caso	Am	Ac	Am/Ac	m	Am	Ka
$m = 1$	70.3	73.25	0.96	1	1	1
$m < 1$	17.08	75.32	0.23	0.5	1	0.5
$m > 1$	87.4	72.03	1.21	1.5	1	1.5

Figura 15: Análisis en el dominio del Tiempo.

Cabe resaltar que tras dicha experimentación se puede deducir que los principales parámetros que afectan el índice de modulación corresponden a: A_c , K_a y A_m , siendo A_c (Amplitud de la portadora) un parámetro inversamente proporcional y K_a (coeficiente de sensibilidad) y A_m (Amplitud del mensaje) directamente proporcionales. Afirmación que podemos analizar observando la tabla 1 y 2.

- Se analizó una señal de audio en dos escenarios, cuando la modulación es inferior al 100 % ($m < 1$) conocido como sub-modulación y cuando la modulación supera el 150 % ($m > 1$) conocido como sobre modulación, además de demodular la señal para evidenciar cuando ocurre la distorsión.

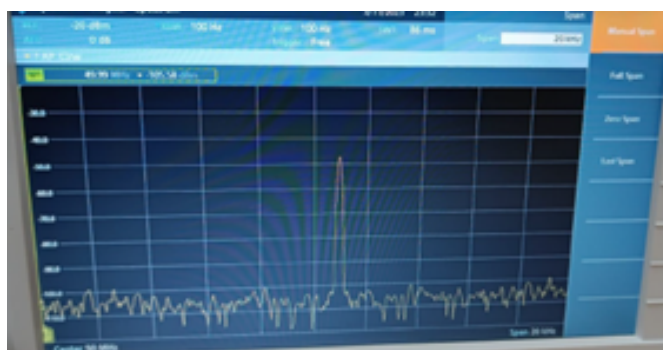


Figura 18: Señal de audio con modulación Am Osciloscopio.

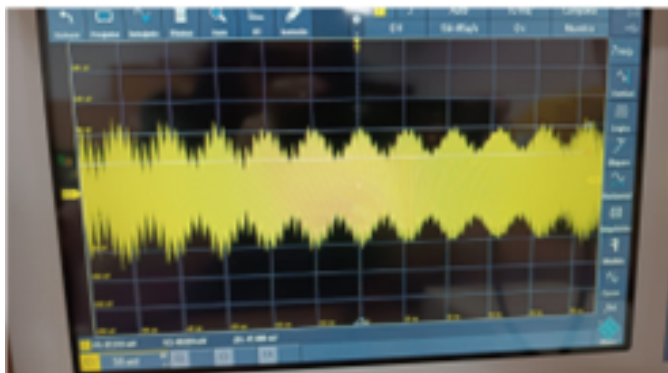


Figura 19: Análisis en el dominio del Tiempo.



Figura 22: Modulación SSB-FC banda lateral inferior.

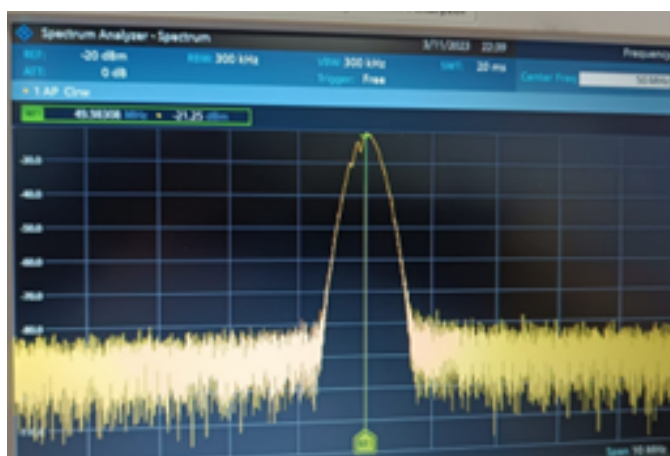


Figura 20: Señal de audio con modulación Am Analizador de Espectros.

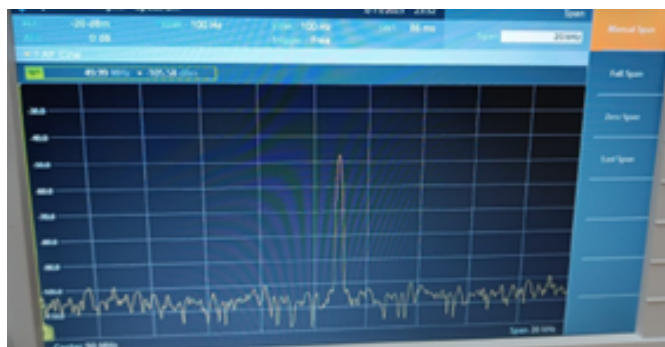


Figura 23: Modulación SSB-SC banda lateral superior.[5]

5. Envolvente compleja modulador AM Banda lateral Única (Single Side Band - SSB).



Figura 21: Modulación SSB-FC banda lateral superior.

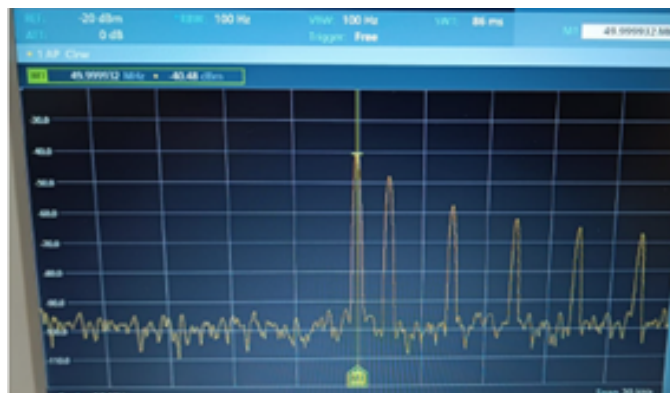


Figura 24: Modulación SSB-FC banda lateral superior de la señal cuadrada.[5]



Figura 26: Modulación QAM en el analizador de espectros.[5]

Parte B

- Después de realizar los esquemas propuestos en la guía, se definió a $m_1(t)$ y $m_2(t)$ como señal coseno y a una señal triangular respectivamente.

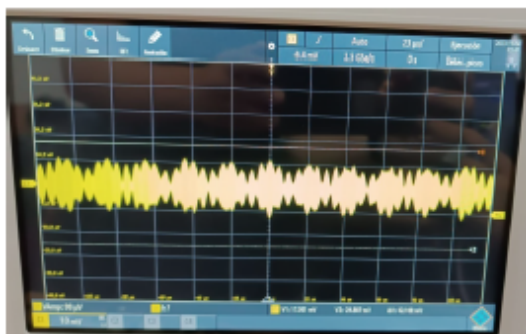


Figura 25: Modulación QAM en el osciloscopio.[5]



Figura 27: Medición de potencia de la modulación QAM.[5]

4. Análisis de Resultados

Parte A

Puntos 1

Se logro realizar correctamente el montaje gracias a la guía suministrada en la plataforma Moodle [1], montaje que fue a base para el análisis de cada uno de los casos de modulación lineal.

Puntos 2

Una vez realizado el análisis en frecuencia para cada uno de los escenarios planteados y logrando determinar tanto su potencia como índice de modulación como fue explicado y tabulado en el apartado de resultados se logró deducir que la señal trabajada en la práctica presenta 3 escenarios, los cuales no son completamente deducibles con el espectro mostrado en el analizador, sin

embargo, son diferenciables al momento de determinar el índice de modulación, clasificándose de esta manera en:

- Modulación al 100%: Este caso ocurre cuando el índice de modulación en la señal alcanza la unidad ($k_a \cdot A_m = 1$), como se observa en la señal de la figura 7, cuyo nivel de decibelios (NdB) corresponde a -6.03. Este espectro ilustra una frecuencia portadora central acompañada por dos bandas laterales simétricas. Estas bandas se sitúan exactamente a la misma frecuencia que la señal modulante, por consiguiente, es posible afirmar que dicha simetría y la amplitud igual de las bandas laterales son indicativas de una modulación eficiente.
- ub-Modulación: En el caso de la sub-modulacion se da cuando el coeficiente de la señal es inferior a la unidad ($k_a \cdot A_m < 1$), escenario ilustrado en la figura 8, a diferencia de la modulación al 100% se puede apreciar como las bandas laterales de este

espectro son menos pronunciadas en comparación, por ende, la energía de la portadora también será mayor en comparación al caso anterior, ocasionando que la señal sea mas susceptible al ruido e interferencia.

3. 3. Sobre-Modulación: Este escenario se presenta cuando el índice de modulación sobrepasa la unidad ($k_a \cdot a_m > 1$), haciendo un contraste con la modulación al 100 %, se presentan las condiciones opuestas a la sub-modulación, ya que el espectro correspondiente a sus bandas laterales sobrepasa a las de la modulación al 100 %, esto ocasionando una menor energía en la relación portadora-banda, lo cual podría ocasionar en la señal interferencia, este escenario se puede apreciar en la figura 9.

Puntos 3

Para el análisis de la modulación en el dominio del tiempo es más fácil analizar e identificar cada uno de los escenarios anteriormente descritos, ya que el osciloscopio nos permite visualizar el comportamiento de la señal según el índice de modulación que presente, índice de modulación calculado anteriormente en el apartado de resultados.

1. Modulación al 100 %: Se puede apreciar en la figura 12 como la envolvente compleja de la señal A_m coincide exactamente con la amplitud de la señal modulante, lo que permite una modulación libre de distracciones al no exceder la amplitud original, esto se percibe a simple vista ya que en el osciloscopio se ilustra como la envolvente oscila entre el pico y 0.
2. Sub-Modulación: En este caso la amplitud de la señal modulante (mensaje) es menor a la amplitud de la portadora, por lo que la envolvente en cuestión presenta una oscilación menor al caso anterior, esta señal puede ser transmitida de forma clara e incluso sin distorsión, sin embargo, la amplitud reducida no permite una transmisión tan eficaz como la modulación al 100 %. Este comportamiento se puede observar en la figura 13.
3. 3. Sobre-Modulación: Este caso se da cuando la señal modulante supera a la portadora, lo cual causa una distorsión y recorte en la envolvente de la señal, comportamiento que se puede observar en la figura 14, este tipo de modulación es bastante problemática ya que complica su demodulación debido al recorte ya mencionado, dificultando la transmisión de información.

Cabe resaltar que tras dicha experimentación se puede deducir que los principales parámetros que afectan el índice de modulación corresponden a: A_c , K_a y A_m ,

siendo A_c (Amplitud de la portadora) un parámetro inversamente proporcional y K_a (coeficiente de sensibilidad) y A_m (Amplitud del mensaje) directamente proporcionales. Afirmación que podemos analizar observando la tabla 14 y 15.

Puntos 4

Se realizó el montaje correspondiente en el software GNU radio, el cual describía una modulación AM (modulación en amplitud), en este se utilizó como base el bloque Rational Resampler, con un coeficiente con un coeficiente de sensibilidad (K_a) de 0.5, la amplitud del mensaje (A_m) es variable debido a la señal de audio, y la amplitud de la portadora (A_c). Para el caso de la cuando la modulación es inferior al 100 % ($m < 1$ conocido como sub-modulación) se logra percibir como la señal de audio presente “carecía” de sonido, es decir a pesar de que en el mensaje demodulado no se percibía interferencias o ruidos, si se dificultó su percepción ya que la señal modulada no utiliza toda la capacidad de la portadora para representar la señal modulante, lo que resulta en una reproducción de audio menos intensa. Por otra parte, la señal que fue modulada a más del 150 % ($m > 1$ conocido como sobre modulación), no se pudo escuchar su contenido ya que el audio se notaba saturado y distorsionado. En la figura 16 y 17 se puede apreciar la señal de audio en el dominio temporal (osciloscopio) y frecuencial (analizador de espectros) respectivamente. La Expresión analítica correspondiente: (Siendo $A_c = 0.25$, $k_a = 0.5$, $\omega_c = 2\pi f_c$, $f_c = 50$ [MHz].)

$$sAM(t) = A_c(1 + k_a * m(t)) * \cos(\omega_c t)$$

Donde:

- $sAM(t)$ es la señal modulada en amplitud.
- A_c es la amplitud de la portadora.
- K_a es el coeficiente de sensibilidad.
- $m(t)$ es la señal modulante, es decir, el mensaje o información que se desea transmitir.
- ω_c es la frecuencia angular de la portadora ($\omega_c = 2\pi f_c$)

Para hallar el índice de modulación en el osciloscopio, se toma medición de la amplitud máxima y mínima de la señal de audio modulada, y se sustituye en la siguiente ecuación:

$$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}}$$

A partir de los parámetros ilustrados en la figura 18, $A_{max} = 97,313$ [mV] y $A_{min} = 49,824$ [mV], se obtiene que la señal modulada tiene un índice de modulación de 0.29.

Puntos 5

Para finalizar la parte A de la práctica, correspondiente a la modulación lineal, se implementa una envolvente compleja modulador AM Banda lateral Única (Single Side Band - SSB), la cual corresponde a una variante de la modulación AM, la cual tiene como característica que suprime una de las bandas laterales.

Para el caso de la fig21 (SSB-FC Banda lateral superior) y 22 (SSB-FC Banda lateral inferior) podemos ver el espectro de una señal coseno la cual es modulada en banda lateral única, una señal coseno modulada presenta 3 picos en el espectro, correspondientes a la portadora y las bandas laterales, en este caso al modularla en SSB solamente apreciamos una de sus bandas y la portadora. La selección de la banda que se ilustra en el analizador de espectros puede ser seleccionada en el esquemático planteado en GNU radio.

Posterior a la señal coseno se realizó otra prueba para esta modulación con una señal cuadrada, la densidad espectral de potencia de dicha señal corresponde a pulsos equiespaciados que van disminuyendo en potencia desde la señal portadora hacia los laterales, como se puede evidenciar en la figura 23. A partir de esta ilustración se puede concluir que el espectro de la señal cuadrada tendría un ancho de banda muy extenso si se modularan sus 2 bandas, como suele pasar en la modulación AM.

De estos análisis se puede concluir que la modulación SSB posee grandes ventajas sobre la modulación AM convencional, ya que al suprimir una de las bandas laterales trabaja con la mitad del ancho de banda de la modulación AM, y este cambio no afecta a la información ya que cada banda contiene la misma información, además, la modulación SSB tiene una mayor eficiencia de transmisión, y una menor susceptibilidad al ruido y la interferencia (Debido al menos ancho de banda), sin embargo esta requiere receptores más complejos para su demodulación por ende requiere de una mayor inversión monetaria.

Parte B

Puntos 1 Como finalización de la práctica se aborda el tema de Modulaciones Lineales en Cuadratura, la cual es una técnica de modulación utilizada para la transmisión de datos, esta aprovecha el hecho de que se pueden enviar dos señales independientes simultáneamente mediante la alteración de la amplitud de dos ondas portadoras, una en fase y la otra en cuadratura, mientras están desfasadas 90 grados entre sí.

Una vez se realizó el montaje suministrado para la práctica B, se definieron las señales $m_1(t)$ y $m_2(t)$ para su posterior análisis, siendo estas una señal coseno y una señal triangular respectivamente, también cabe

aclarar que por medio del esquema planteado en el software GNU radio se especifico que la señal $m_1(t)$ se transmitiera en la parte real de la envolvente compleja y la señal $m_2(t)$ en la parte imaginaria de esta misma. Sus magnitudes se pueden representar en el osciloscopio, siendo este un análisis en el dominio temporal, el cual se puede observar en la figura 25, en esta se puede apreciar características de ambas señales, como las ondas de la señal coseno o las crestas de la señal triangular, sin embargo, estas crestas no siguen un comportamiento constante lo cual supondría que se esta realizando una suma de amplitudes entre las señales.

Ya en la figura 26, al realizar un análisis en el dominio frecuencial, por medio de un analizador de espectros, donde podemos apreciar una suma de las transformadas de Fourier de ambas señales, donde podemos ver las componentes correspondientes a la señal coseno (resaltadas en verde), además de los pulsos de la señal triangular (resaltadas en rojo).

Para medir la potencia de dicha señal se utilizará la función MKR en el analizador de espectro, colocando marcadores en los picos con el fin de medir cada una de las potencias individuales, tal y como se puede apreciar en la figura 27.

Concluyendo así que esta señal modulada en QAM tiene una potencia total de $4.53[\text{nW}]$, es decir $-53.43[\text{dBm}]$. A partir de todo el análisis realizado sobre la modulación en cuadratura podemos afirmar que posee una alta eficiencia espectral, ya que permite la transferencia de mayores cantidades de información en el mismo ancho de banda, además de que al contar con canales ortogonales permite que cada flujo de información se transporte de forma independiente.

5. Conclusiones

- Se confirmó que la relación entre $k_a \cdot A_m$ y la potencia de la señal envolvente compleja varía según el índice de modulación, afectando directamente la distribución espectral de la señal. Esto subraya la importancia de ajustar correctamente los parámetros de modulación para optimizar el rendimiento del sistema de comunicación.
- El análisis realizado mostró que la potencia de la señal envolvente compleja varía significativamente según el índice de modulación. Los resultados indicaron que, a medida que el índice de modulación aumenta, también lo hace la potencia de la señal, alcanzando su valor máximo en el punto de mayor modulación. Esta observación es coherente con las teorías de modulación, que predicen que un mayor índice de modulación resulta en una mayor

amplitud y, por lo tanto, en una mayor potencia de la señal.

- La potencia de una señal sobre-modulada es mayor a la potencia de una señal en el rango de porcentaje de 0-100 % de modulación, ya que cuando el índice sobrepasa el 100 % de modulación, la potencia de las bandas laterales va aumentando hasta el punto de tener la misma potencia que la portadora. 10
- La modulación SSB ofrece varias ventajas sobre la modulación AM convencional, entre ellas un mayor ancho de banda y potencia, además de una menor susceptibilidad al ruido e interferencia, sin embargo, la demodulación de esta es más compleja y por ende requiere de más recursos.
- La modulación en cuadratura es una técnica altamente eficiente en términos espectrales. Esto se evidencia en su capacidad para transmitir grandes volúmenes de datos dentro de un ancho de banda constante, ya que la presencia de canales ortogonales facilita el transporte de múltiples flujos de información de manera independiente, lo que denota su utilidad en el mejoramiento de la eficacia y calidad de las comunicaciones.
- Se puede concluir que todas las diversas técnicas de modulación aplicadas en la práctica se derivan de la modulación en amplitud (AM). Este es un indicativo de la importancia de la modulación AM en el campo de las comunicaciones inalámbricas, además de que es un punto de partida para el desarrollo de modulaciones más avanzadas.
- Por medio de la práctica se logró concluir experimentalmente que los principales parámetros que afectan el índice de modulación (m) son: A_c (Amplitud de la portadora), K_a (coeficiente de sensibilidad) y A_m (Amplitud de la señal modulante), siendo A_c un parámetro inversamente proporcional al índice de modulación y K_a y A_m directamente proporcionales.

Referencias

- [1] R. Schwarz. Understanding amplitude modulation. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=I46eP8uZh_Y
- [2] ——. Understanding single sideband. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=sv1xzlBut1I>
- [3] E. A. C. UIS. Práctica modulación amplitud usando gnuradio. laboratorio de comunicaciones uis. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=pDvTRP4NTpU>
- [4] Wikipedia. Modulación de amplitud en cuadratura. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura
- [5] J. T. C. L. F. R. R. 2191663, "Práctica 3: Modulaciones lineales," *Praticas Laboratorios Comunicaciones I E3T*, 12 de Noviembre de 2023.