

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INFORMÁTICA



Laboratorio 2

Integrantes: Gonzalo Cuevas
Sofia Castro
Curso: Redes de computadores
Profesor: Carlos González
Ayudante: Nicole Reyes

10 de Enero de 2022

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Marco Teórico	2
3. Desarrollo de la experiencia	5
3.1. Señal inicial	5
3.2. Modulación AM	6
3.3. Modulación FM	8
3.4. Demodulación AM	10
3.5. Demodulación FM	12
4. Análisis de resultados	14
4.1. Señal inicial	14
4.2. Modulación y demodulación AM	14
4.2.1. Preguntas	14
4.3. Modulación y demodulación FM	15
4.3.1. Preguntas	16
4.4. Análisis general	16
5. Conclusión	17
Bibliografía	18

1. Introducción

En el presente documento se implementa el laboratorio 2 de la asignatura Redes de computadores, con el objetivo de ahondar en los conceptos de modulación análoga, para la transmisión de señales por un canal de comunicación y la importancia de esta técnica en el ámbito de las telecomunicaciones (9).

Las telecomunicaciones abarcan todo formato de comunicación del ser humano a distancia, tales como, telefonía, la radio, la televisión y la transmisión de datos, también se puede definir como la transmisión de palabras, sonidos, imágenes o datos en forma de impulsos o señales electrónicas o electromagnéticas (3).

Uno de los métodos empleados para la transportación de información, corresponde a la modulación, este consiste en transportar la información mediante una onda portadora, variando una o más características de la onda portadora de acuerdo a la señal mensajera. Este procedimiento se lleva a cabo con el fin de sobreponer señales en las ondas portadoras para adaptar su transmisión al medio (9).

2. Marco Teórico

A continuación se exponen definiciones básicas sobre todos los temas y tópicos tratados en la actividad.

1. Señal:

Variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información (6). También se define como onda electromagnética (rango de frecuencias) propagada a través de un medio de transmisión (GAMBOA).

2. Señal portadora:

Es un circuito oscilador que genera una onda de mayor frecuencia que el de la señal proveniente de la fuente de información, la cual es utilizada para transportar la información original. Para la modulación analógica es de forma senoidal (10).

3. Ancho de banda:

Es la cantidad de datos que pueden enviarse y recibirse en el marco de una comunicación, se puede expresar en bits por segundo o en múltiplos de esta unidad (21).

4. Transformada de Fourier:

Es un método utilizado para traspasar las señales en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. (5)

5. Modulación AM:

Proceso que consiste en cambiar la amplitud de una portadora de frecuencias relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información), con esto, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios de amplitud (Rojas)

6. Modulación FM:

Es el sistema de transmisión de radio en el que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida, una de sus ventajas es su resistencia a interferencias de distinto origen (17). La amplitud de onda modulada es constante e igual a la amplitud de la onda portadora, por lo que es la frecuencia de la portadora la que varía de acuerdo a la onda moduladora aplicada (15).

7. Demodulación AM:

Consiste en el proceso inverso con respecto a los moduladores, básicamente es una conversión de señal modulada en AM a señal de fuente u original. Teniendo como finalidad, recuperar todas las frecuencias de la información fuente u original contenidas en la señal modulada.(10)

8. Demodulación FM:

La demodulación en frecuencia es el proceso que permite recuperar la señal moduladora a partir de la señal FM.La salida del demodulador va a ser proporcional a la frecuencia instantánea de la señal a la entrada (15).

9. Python:

Es un lenguaje de programación que permite al usuario trabajar de manera eficiente y a integrarse a sus sistemas de manera efectiva (PYTHON).

10. Transformada de Hilbert:

Es la convolución entre la función a ser estudiada con el inverso del tiempo. La Transformada de Hilbert se utiliza principalmente para construir la señal analítica, donde esta señal analítica es una señal compleja cuyo espectro de frecuencias es nulo para frecuencias negativas, y cuya parte real es igual a la señal original (18)

11. Numpy:

Biblioteca utilizada en el lenguaje de programación Python enfocada en el cálculo numérico y el análisis de datos, especialmente para un gran volumen de datos, permitiendo principalmente trabajar con vectores y matrices multidimensionales, así como también aportar una gran variedad de funciones matemáticas.

12. Matplotlib:

Biblioteca utilizada para generar gráficos a partir de la información contenida en arreglos o listas a través del lenguaje de programación Python y su extensión Numpy.

13. Scipy:

Biblioteca de código abierto para Python. Contiene módulos que permiten trabajar con el procesamiento de señales, realizar integración, interpolación, operaciones algebraicas, entre otros.

14. **Spyder:**

Es un entorno científico gratuito y de código abierto escrito en Python, para Python, y diseñado por y para científicos, ingenieros y analistas de datos (20).

3. Desarrollo de la experiencia

En esta sección se efectúa la explicación del trabajo realizado, exponiendo la señal creada originalmente, todas las modulaciones realizadas, la demodulación correspondiente y todos los resultados obtenidos.

3.1. Señal inicial

Utilizando el audio handel.wav, se obtienen los datos que representarán la señal inicial juntos con su frecuencia de muestreo. Este proceso es llevado a cabo mediante la función `wavfile.read()` perteneciente a la biblioteca **Scipy**, almacenando en la variable `signal_handel` un array con los datos de la señal y en `fr_handel` la frecuencia de muestreo de la misma. Posteriormente se grafica la señal obtenida en el dominio del tiempo, representada por la Figura 1, así como también es generada su Transformada de Fourier utilizando la función `fft()` de la biblioteca **Scipy** con el fin de generar su espectro de frecuencias, visible en la Figura 2.

Por último, en este bloque son definidos los índices de modulación con los que se trabajará en el transcurso del proyecto, tanto para la modulación AM como FM, siendo estos 1 y 1,25 .

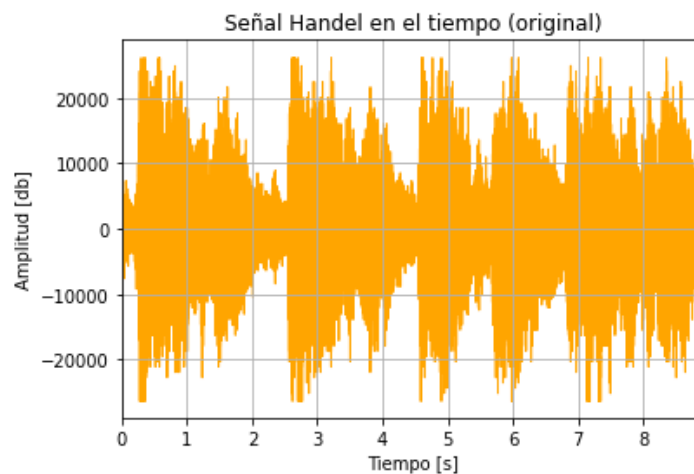


Figura 1: Señal original

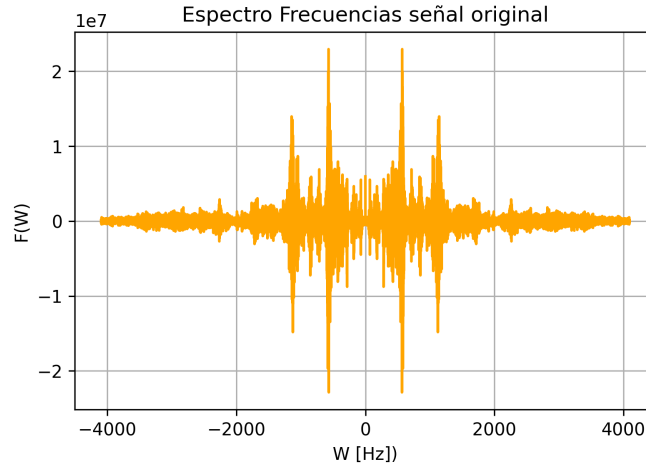


Figura 2: Señal original

3.2. Modulación AM

Mediante la definición de modulación AM descrita por la ecuación:

$$y(t) = k \cdot m(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

Donde k representa el índice de modulación. Se genera un modulador de este tipo, el cual consiste en multiplicar la señal inicial por un índice de modulación y una señal portadora, donde esta última posee una frecuencia de 20000 [Hz]. Este proceso de modulación es realizado una vez por cada índice, graficando cada resultado en el dominio del tiempo, representados por las Figuras 3 y 4.

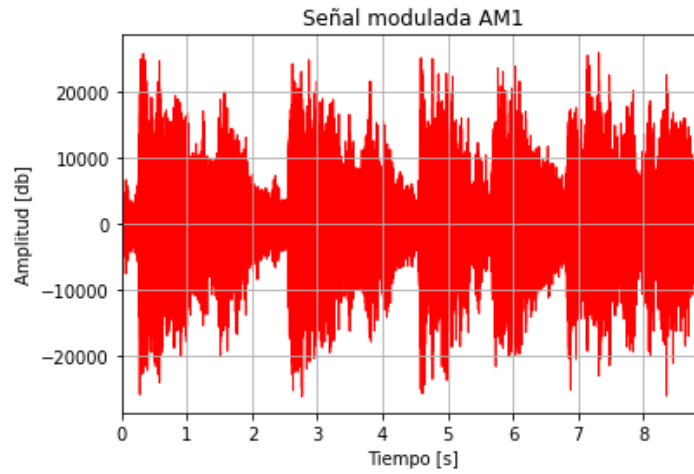


Figura 3: Modulación AM ($k=1$)

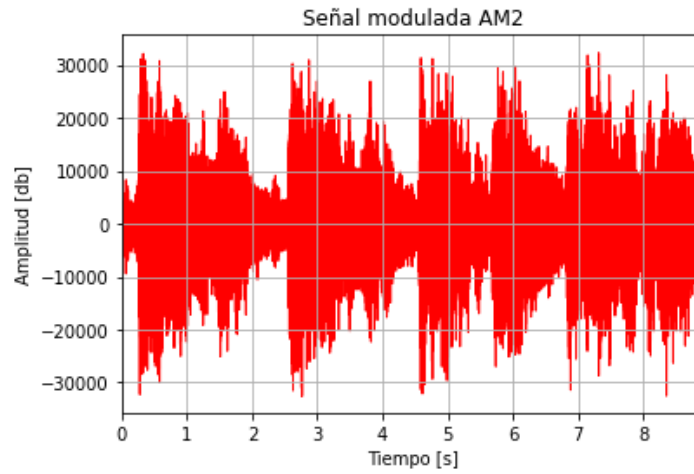


Figura 4: Modulación AM ($k=1.25$)

Del mismo modo, para cada modulación es generada su Transformada de Fourier junto con su espectro de frecuencias, visibles en las Figuras 5 y 6.

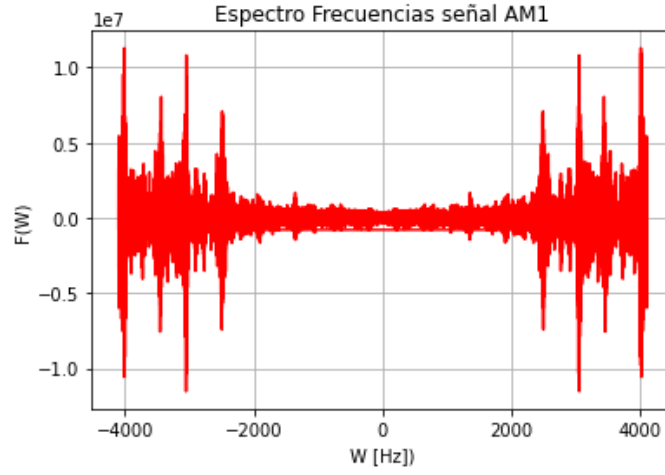


Figura 5: Espectro de frecuencias (AM k=1)

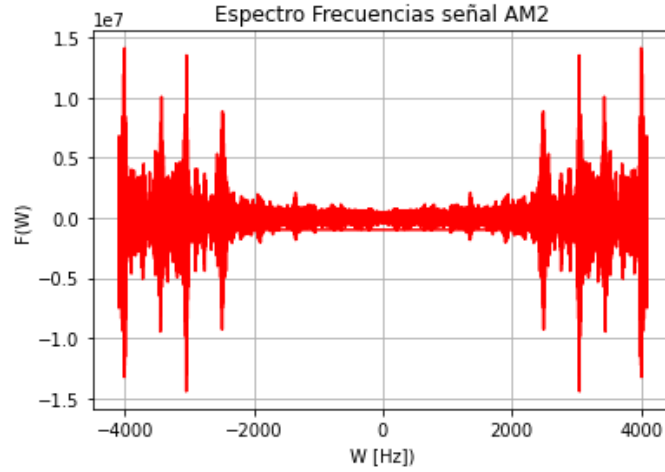


Figura 6: Espectro de frecuencias (AM k=1.25)

3.3. Modulación FM

En este método se implementa la ecuación definida por:

$$y(t) = \cos(2\pi f_c t + k \cdot \int_0^t m(\tau) d\tau) \quad (2)$$

Donde la parte de la integral de 0 a t se calcula con la función **cumtrapz** y la función a integrar corresponde a la señal inicial (mensaje), luego el valor obtenido se multiplica con el índice de modulación para ser sumado con la multiplicación de W_c (valores

de la señal portadora) con x , donde x representa los valores de $[0, t]$ empleados en la integral. Finalmente, se aplica coseno al resultado obtenido, así adquiriendo la señal modulada FM para cada índice de modulación visible en la Figura 7 y Figura 8.

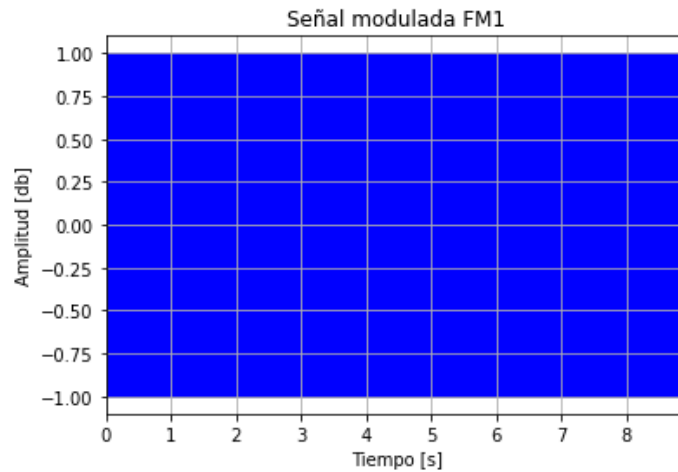


Figura 7: Señal modulada FM (índice modulación igual a 1)

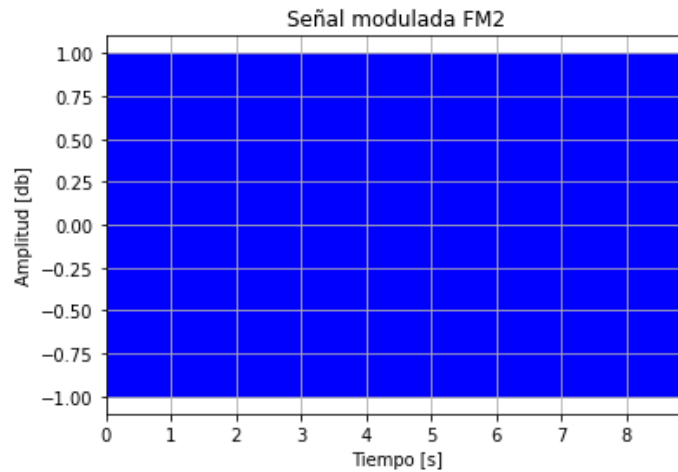


Figura 8: Señal modulada FM (índice modulación igual a 1.25)

Una vez obtenida la señal modulada, se gráfica el espectro de frecuencias de las dos señales moduladas según su índice de modulación, esto se debe a la función **fft()** que computa la Transformada de Fourier y **fftfreq()** que calcula las frecuencias de la señal, para luego aplicar la función **plot()** de Python que permite graficar las frecuencias y transformada

en los ejes x e y respectivamente. La Figura 9 representa la señal modulada con índice de modulación (k) 1 y la Figura 10 con un índice (k) equivalente a 1,25.

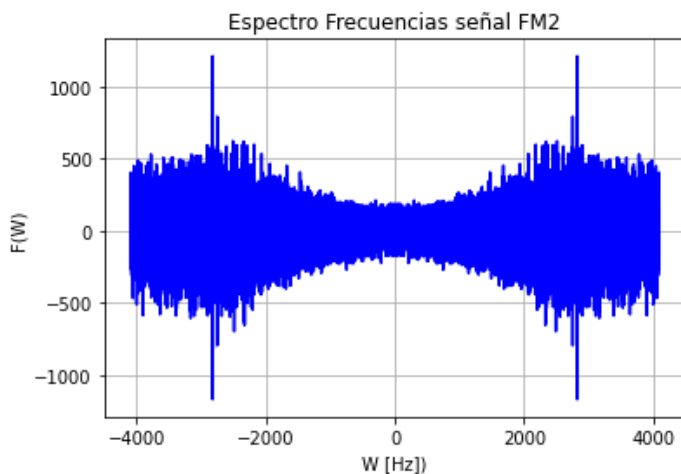


Figura 9: Espectro de frecuencias FM (FM $k=1$)

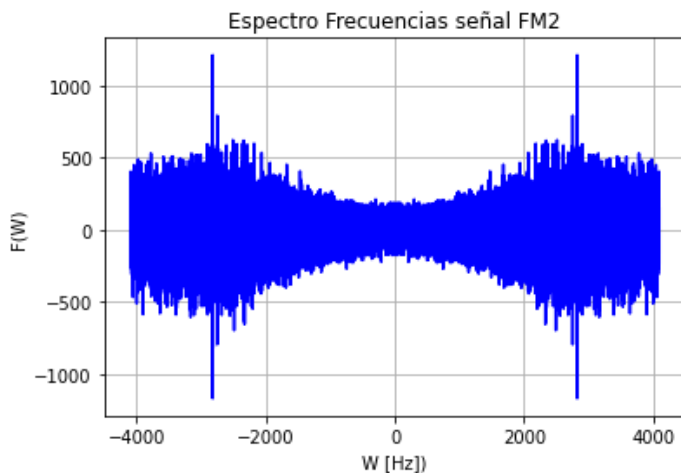


Figura 10: Espectro de frecuencias (FM $k=1.25$)

El computo de el ancho de banda corresponde a ..., el cual se consigue a partir de

.....

3.4. Demodulación AM

Con el fin de recuperar la información transmitida por la señal portadora se aplica el procedimiento de demodulación AM, como se ha visto en cátedra, se debe realizar el

siguiente procedimiento:

$$\begin{aligned}
 y(t) &= x(t) \cos(2\pi f_c t) \\
 z(t) &= y(t) \cos(2\pi f_c t) \\
 z(t) &= x(t) \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) \\
 z(t) &= x(t) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\pi f_c t) \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Al aplicar un filtro de paso bajo a la función \mathbf{z} resultante se puede obtener la señal $m(t)$, representada por $x(t)$ en la formula (3). y la expuesta a continuación:

$$z(t) = x(t) \left(\frac{1}{2} \right) \tag{4}$$

En el laboratorio, $\mathbf{y(t)}$ es representada por la señal modulada AM y $\cos(2\pi f_c t)$ por la señal portadora, finalmente, se pasa por un filtro de paso bajo con frecuencia de corte equivalente a 3900[Hz], resultando para el índice de modulación 1 (Figura 11) en una señal similar a la original y para el índice de modulación 1.25 (Figura 12) un leve variación con la señal original. El valor escogido en la frecuencia de corte se debe a que este se encuentra dentro del rango de frecuencias que alcanza el espectro de la señal original.

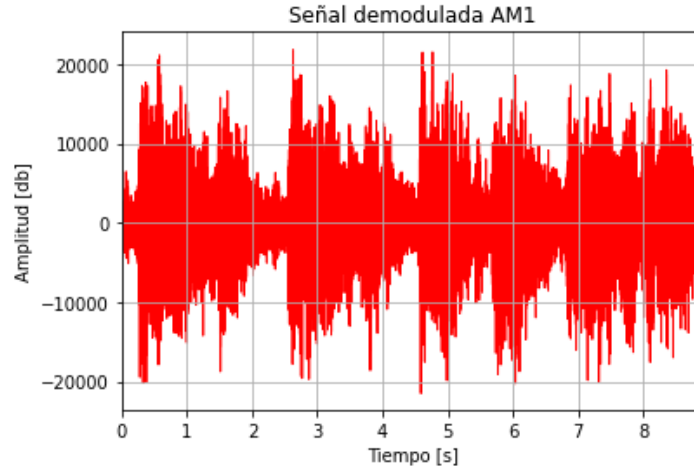


Figura 11: Demodulación AM (k=1)

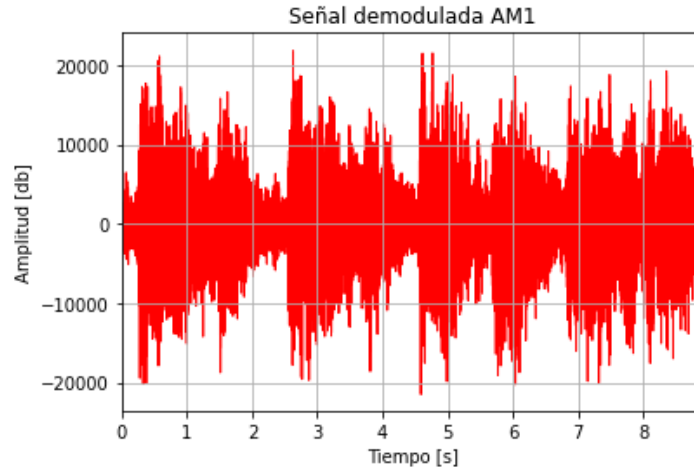


Figura 12: Demodulación AM ($k=1.25$)

3.5. Demodulación FM

Para esta sección, se diseña una función que realiza la demodulación FM. Esta consiste en derivar la señal modulada y luego detectar la envolvente de este resultado aplicando la Transformada de Hilbert. La demodulación es aplicada tanto para la señal modulada en FM con índice 1 como para la de índice 1,25 y sus gráficas en el dominio del tiempo pueden verse en las Figuras 13 y 14.

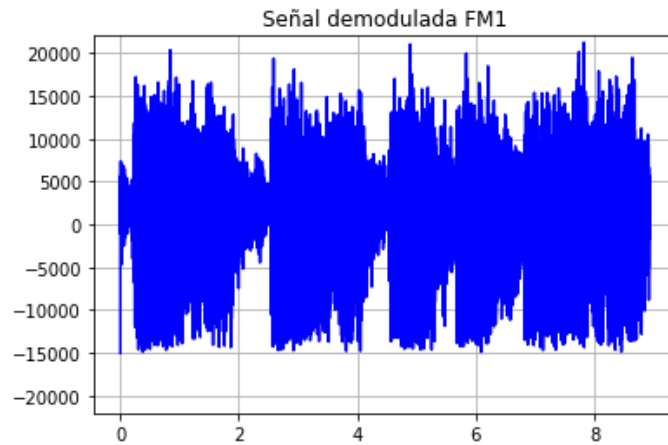


Figura 13: Demodulación FM ($k=1$)

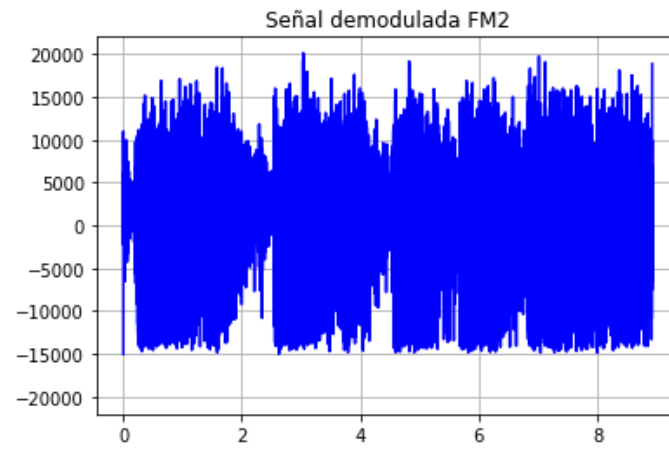


Figura 14: Demodulación FM ($k=1.25$)

4. Análisis de resultados

4.1. Señal inicial

Al graficar la señal inicial en el dominio del tiempo, podemos apreciar que esta contempla amplitudes superiores a los 20000[db], adicionalmente, al realizar la Transformada de Fourier de la señal, se aprecia que su espectro de frecuencias se encuentra dentro del rango de -4000[Hz] a 4000[Hz].

4.2. Modulación y demodulación AM

En la experiencia, se aprecia que al modular las señales con los índices 1 y 1.25, estas ven variada su amplitud en el dominio del tiempo, mientras que en el dominio de las frecuencias, se aprecia que para ambas, el espectro se encuentra desplazado de su posición original, lo cual estaría de acuerdo con lo expuesto en la teoría, pues al multiplicar la señal inicial por una señal sinusoidal, el impacto que esta genera es desplazar el espectro de frecuencias. Esto se puede apreciar al comparar espectro de la señal inicial en la Figura 2 con los espectros desplazados de las figuras 5 y 6. Al demodular la señal, es posible recuperar casi por completo la señal original, sin embargo, esta presenta ligeras variaciones en su amplitud. En concreto, con el índice de modulación de 1.25 se obtiene una señal con mayor amplitud que la original, mientras que con el índice de 1, pareciera ser similar.

4.2.1. Preguntas

1. ¿Cuáles son los principales usos para la modulación AM? ¿Por qué?

Los principales usos para la modulación AM son la radio-difusión de la señal con información, es utilizada en las comunicaciones radiales entre los aviones y las torres de control de los aeropuertos (4), esto se debe a que el alcance de la señal AM es mayor que la FM dado el ancho de banda que posee, por lo que sus señales son más grandes en tamaño y alcance (8).

2. ¿Qué sucede con la señal modulada AM al utilizar un índice de modulación mayor a 1?

Al utilizar un índice de modulación mayor 1 afecta en la magnitud de su amplitud, siendo visualizado en los gráficos de la señal y sus espectros (Figuras 2,3,4 y 5), donde la amplitud de la señal con índice de modulación equivalente a 1,0 es menor a la amplitud de la señal con índice de modulación igual a 1,25. La razón de este efecto, es causa del origen del índice de modulación, pues este representa la relación entre las amplitudes de las ondas moduladora y la portadora, si la amplitud de la moduladora es mayor que la portadora, entonces existirá sobremodulación y esto originará pérdida de información audible, trayendo como consecuencia distorsión y aumento de la amplitud de la señal modulada, de lo contrario la señal será inframodulada, por lo que al tener un índice de modulación equivalente a 1, significa que la amplitud de la señal moduladora y portadora son iguales, correspondiendo al mayor valor del índice permitido (8).

3. ¿Es posible recuperar la señal original independiente del índice de modulación utilizado?

Si es posible recuperar la señal original independiente del índice de modulación al aplicar el procedimiento en la formula 3, siendo visualizado en las figuras 11 y 12, donde ambas son similares a la original en el tiempo y en la amplitud.

4.3. Modulación y demodulación FM

Al modular mediante FM, se aprecia que la amplitud de la señal ha cambiado a la amplitud de la portadora para ambos índices de modulación, adicionalmente, las ondas que son generadas para representar la señal tienen un período tan pequeño, que parecieran no distinguirse unas de otras como se aprecia en las figuras 7 y 8, donde solo se ve un bloque azul que representa la señal, por lo que sería necesario realizar un acercamiento para observar como estas van variando. A pesar de esto, al calcular la transformada de Fourier de las señales, podemos distinguir que en el dominio de las frecuencias se generan dos espectros similares reflejados desde la frecuencia 0 [Hz], esto debido a que la portadora es del tipo sinusoidal. Al aplicar la demodulación FM, la señal obtenida tiende a parecerse a la señal original, sin embargo, no fue posible recuperarla en su totalidad, pues posee variaciones de amplitud que no estaban consideradas dentro de la señal inicial.

4.3.1. Preguntas

1. ¿Cuáles son los principales usos para la modulación FM? ¿Por qué?

La frecuencia modulada es usada comúnmente en las radiofrecuencias de muy alta frecuencia por la alta fidelidad de la radiodifusión de la música y el habla, esto se conoce coloquialmente como Radio-FM, los sistemas de vídeo analógico también utilizan las frecuencias intermedias, como el VHS. Por otro lado, mantiene la cinta en el nivel de saturación, actuando como una forma de reducción de ruido del audio. La mayoría de las aplicaciones mencionadas se debe a la mayor insensibilidad ante las interferencias y mayor resistencia al efecto del desvanecimiento (1).

2. ¿Qué parámetros se deben considerar al implementar el demodulador FM?

El parámetro que se debe considerar al implementar un demodulador FM es la señal modulada en FM, pues se requiere para la derivada y luego su resultado se utiliza en el detector de envolvente.

4.4. Análisis general

1. ¿Cuál es el costo, en términos de ancho de banda, de modular una señal?

Al modular una señal, indiscutiblemente su ancho de banda aumentará, esto debido a que al utilizar una señal portadora, su espectro de frecuencias se ve desplazado, causando que el ancho de banda de la señal modulada sea mayor que el de la señal original. Esto puede implicar un aumento en la cantidad de información para transmitir, en consecuencia el almacenamiento también aumenta y el tiempo en procesar la modulación aumenta, recayendo en un alto costo computacional y temporal para el usuario.

2. ¿Qué problemas pueden ocurrir al demodular una señal?

El problema presente al demodular una señal es la pérdida de información que se desea transmitir, como sucedió en el caso de la demodulación AM y FM para el laboratorio, pues la señal recuperada no es la misma que la original, perdiendo así sus valores equivalentes a la información.

5. Conclusión

En general, gracias a la aplicación practica de la modulación AM y FM, se pudo comprender como es que son transmitidas las señales de audio en la vida cotidiana, a través de la experimentación con una señal cualquiera, permitiendo aplicar la teoría de estos conceptos.

En cuanto los resultados obtenidos con ambas modulaciones, Se considera que la experimentación realizada a través de la modulación AM fue un éxito, pues se pudo visualizar correctamente como esta era aplicada sobre una señal, además de poder obtener una señal similar a la original luego de demodularla.

Por otro lado, la comprensión del procedimiento que realiza una modulación FM y su realización resultó ser un poco mas complejo de lo esperado, pero gracias a la experimentación fue posible dilucidar su funcionamiento.

Pese a ello, se considera que la demodularon de la señal FM no cumple con lo esperado en su totalidad, pues se estimó que luego de realizar esta, se podría recuperar la señal original, mas el resultado obtenido solo logró ser una aproximación de ella por lo que podría ser necesario comprobar con otro tipo de demodulador FM.

Con esto, se espera indagar más el cómo implementar correctamente un demodulador FM e identificar cuáles fueron las falencias que evitaron que se pudiera recuperar la señal original en esta instancia, aun así, la experimentación realizada logra su objetivo de ahondar en los conceptos de modulación de una señal y permite dar el pie para su aplicación en futuras entregas o experiencias donde deban ser utilizados estos fundamentos.

Bibliografía

- [1] (2009). Sistemas de modulación. <https://www.analfatecnicos.net/archivos/15.SistemasModulacionWikipedia.pdf>.
- [2] (2021). Amplitud modulada. https://www.ecured.cu/index.php?title=Amplitud_modulada&action=history.
- [3] Angel (2019). Telecomunicaciones. <https://www.ecured.cu/Telecomunicaciones>.
- [4] Bellorin, R. (2009). Amplitud modulada (am). <https://sites.google.com/site/senalesg/system/app/pages/recentChanges>.
- [5] Bobadilla, J., Gómez, P., and Bernal, J. (1999). La transformada de fourier. una visión pedagógica. *Estudios de fonética experimental*, pages 41–74.
- [6] ESPAÑOLA, R. A. (2021). Señal. <https://www.dle.rae.es/se~nal>.
- [GAMBOA] GAMBOA, M. D. F. V. (-). Ingeniería en sistemas computacionales. [https://www.itmerida.mx/panel/posgrado/archivos/mi/Fundamentos%20de%20Telecomunicaciones%20Unidad%201%20\(1\).pdf](https://www.itmerida.mx/panel/posgrado/archivos/mi/Fundamentos%20de%20Telecomunicaciones%20Unidad%201%20(1).pdf).
- [8] Garduño, M. (2021). 6 diferencias entre la radio am y fm. <https://radionotas.com/2021/06/10/6-diferencias-entre-la-radio-am-y-fm/>.
- [9] González, C. (2022). Laboratorio 2: ModulaciÓn analÓgica. <https://classroom.google.com/u/1/c/MzKxNzk4Nzc2ODc2/a/MzKxNzk4Nzc2OTc5/details>.
- [10] Gutierrez Gutierrez, F. H. (2019). Modulaci3n y demodulaci3n de am.
- [11] Li, J. and Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling Software*, 53:173–189. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>.
- [12] Menafoglio, A., Gaetani, G., and Secchi, P. (2018). Random domain decompositions for object-oriented kriging over complex domains. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(12):3421–3437. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1596-z>.

- [13] Moyano, J. M. D. (2005). Instrumentación electrónica de computadores. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>.
- [14] Network, P. N. S. (desc.). What is a spectrogram? <https://pnsn.org/spectrograms/what-is-a-spectrogram>.
- [15] Perna González, A. J. (2010). Modulación y demodulación en frecuencia: diseño y construcción de módulos de entrenamiento para fm.
- [PYTHON] PYTHON (-). Ancho de banda. <https://www.python.org/about/>.
- [17] PYTHON (2000). Frecuencia modulada. <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-95376.html>.
- [18] Ramírez-Castro, R. I. and Montejo, L. A. (2011). Transformada de hilbert, descomposición modal empírica y sus aplicaciones en el análisis de vibraciones libres. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil [citado: 23.3. 2015]*, 11(2).
- [Rojas] Rojas, P. C. P. *Modulación AM*. Paulo Picado Rojas.
- [20] Spyder (desc.). Overview. <https://www.spyder-ide.org>.
- [21] y María Merino, J. P. P. (2017). Ancho de banda. <https://definicion.de/ancho-de-banda/>.