



Laboratorio 4: Modulación Análoga y Digital, Parte 1

Alumno: Cristóbal Becerra Fuentes
Curso: Redes de computadores
Sección A1
Profesor: Carlos González Cortés
Ayudantes: Yanira Sáez Venegas
Pablo Reyes Diaz

12 de Noviembre de 2017

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	1
2. Marco teórico	2
2.1. Conceptos	2
3. Desarrollo de la experiencia	3
3.1. Implementando funciones necesarias	3
3.2. Aplicando modulación AM	4
3.3. Aplicando modulación FM	6
3.4. Recuperando la señal original con el demodulador AM implementado	10
3.5. Obteniendo espectros de frecuencia	11
4. Análisis de los resultados	17
4.1. Análisis de la modulación AM	17
4.2. Análisis de la modulación FM	17
4.3. Análisis de los espectros de frecuencias	17
4.4. Problemas de la sobremodulación	19
4.5. Análisis del índice de modulación: ¿Por qué no modular siempre en un 100%?	20
5. Conclusiones	21
Bibliografía	22

1. Introducción

En el transcurso del siguiente laboratorio se experimentará con una señal de audio en formato wav, se programará el proceso de modulación sobre esta señal en sus variantes AM (Modulación por amplitud) y FM (Modulación por frecuencia), también se implementará un demodulador AM, el cual debería en teoría ser capaz de recuperar la señal original dada la señal modulada por el modulador AM. Una vez implementado esto se procederá a analizar el espectro de frecuencias de la señal original y modulada a modo de determinar su ancho de banda.

Para la realización de lo mencionado anteriormente es que se utilizará el lenguaje de programación Python 3.5.2 y las librerías externa scipy, numpy y matplotlib.

1.1. Objetivos

1. Investigar el concepto de modulación análoga.
2. Programar correctamente en Python los procesos de modulación AM y FM.
3. Programar correctamente en Python el proceso de demodulación AM.
4. Identificar las diferencias entre la modulación AM y FM.
5. Identificar las ventajas y desventajas de cada tipo de modulación
6. Analizar gráficamente los resultados obtenidos.
7. Analizar los resultados de la sobremodulación.

2. Marco teórico

Para contextualizar el ambiente a utilizar para la realización de este laboratorio se dispone de las definiciones de los siguientes conceptos:

2.1. Conceptos

- **Modulación:** Consiste en variar determinado aspecto de una señal denominada portadora con respecto a una segunda señal denominada señal moduladora, con el fin de transmitir información mediante la “señal modulada” correspondiente.(2)
- **Modulación por Amplitud (AM):** Modulación en la cual la característica a variar corresponde a la frecuencia, es decir, corresponde al proceso mediante el cual se varía la amplitud de la onda portadora.(1)
- **Modulación por Frecuencia (FM):** Modulación en la cual la característica a variar corresponde a la frecuencia, es decir, corresponde al proceso mediante el cual se varía la frecuencia de la onda portadora.(Techtarget)
- **Señal Portadora:** Es una señal con una amplitud y frecuencia determinada, dependiendo del tipo de modulación se busca variar alguna de estas características a modo de incluir información.(Techtarget)
- **Señal Moduladora:** Señal de entrada o mensaje original la cual se usa como parámetro para la modificación de la señal portadora.(Radio Academy)
- **Índice de Modulación:** Medida que indica cuanto puede variar la señal portadora modulada con respecto a su amplitud antes de la modulación.(Poole)

3. Desarrollo de la experiencia

3.1. Implementando funciones necesarias

El primer paso en esta experiencia es programar una función capaz de realizar la modulación AM dada una señal de entrada (moduladora) y su frecuencia, para esto se implementó la siguiente función en Python:

```
#Función que calcula la modulación AM de la señal signal, con frecuencia f e índice de modulación M
def AMmod(signal, f, M):
    M = M/100.0 #Índice de modulación
    if(M>=1): M = M-1
    if(M<1): M = M+1
    Amax = np.amax(abs(signal)) #Se guarda amplitud máxima
    Amin = np.amin(abs(signal)) #Se guarda amplitud mínima
    Ac = (Amax-Amin)/M #Amplitud portadora
    n = np.size(signal)
    T = n/f #Tiempo
    carrier, tc, fc = generateCarrier(signal, f) #Se genera la portadora
    told = np.arange(0, T, 1.0/f)
    tnew = np.arange(0, T, 1.0/(fc))
    signalInterp = np.interp(tnew, told, signal) #Se interpola la señal original
    datamod = (Ac + M*signalInterp)*carrier + Amax #Se calcula señal modulada
    return (datamod, tnew, signalInterp, carrier)
```

Figura 1: Función que implementa la modulación AM.

Luego era necesario implementar la modulación FM dada una señal de entrada (moduladora) y su frecuencia, esto se realizó de la siguiente manera en Python:

```
#Función que calcula la modulación FM de la señal signal, con frecuencia f e índice de modulación M
def FMmod(signal, f, M):
    k = M/100 #Índice de modulación
    n = np.size(signal)
    T = n/f
    fc = 4000000
    tc = np.arange(0, T, 1.0/(fc))
    carrier = np.cos(2*f*np.pi*tc)
    told = np.arange(0, T, 1.0/f)
    tnew = np.arange(0, T, 1.0/(fc))
    t = np.linspace(0, n, np.size(tc))
    signalInterp = np.interp(tnew, told, signal) #Se interpola la señal original
    integral = integrate.cumtrapz(signalInterp, tc, initial=0)
    fmMod = np.cos(2*np.pi*f*tc + k*integral) #Se calcula señal modulada
    return (fmMod, tnew, signalInterp, carrier)
```

Figura 2: Función que implementa la modulación FM.

Para esta experiencia se eligió implementar un demodulador AM, para esto se implementó la siguiente función que recupera la señal original calculando la envolvente lineal de la señal modulada:

```
#Función que realiza la demodulación de la señal s (calculando la envolvente)
def AMdemod(s):
    envolvente = np.zeros(s.shape)

    u_x = [0,]
    u_y = [s[0],]

    l_x = [0,]
    l_y = [s[0],]

    for k in range(1,len(s)-1):
        if (np.sign(s[k]-s[k-1])==1) and (np.sign(s[k]-s[k+1])==1):
            u_x.append(k)
            u_y.append(s[k])

            if (np.sign(s[k]-s[k-1])==-1) and ((np.sign(s[k]-s[k+1]))==-1):
                l_x.append(k)
                l_y.append(s[k])

    u_x.append(len(s)-1)
    u_y.append(s[-1])

    l_x.append(len(s)-1)
    l_y.append(s[-1])

    u_p = interp1d(u_x,u_y, kind = 'linear',bounds_error = False, fill_value=0.0)
    l_p = interp1d(l_x,l_y,kind = 'linear',bounds_error = False, fill_value=0.0)

    for k in range(0,len(s)):
        envolvente[k] = u_p(k)

    for k in range(0,len(s)):
        envolvente[k] = u_p(k)

    return envolvente
```

Figura 3: Función que implementa la demodulación AM.

3.2. Aplicando modulación AM

Para continuar con la experiencia se requería aplicar la modulación AM al 15 %, 100 % y 125 % de modulación, en primer lugar cabe destacar que se trabajó con un rango limitado de 100 valores de la señal original a modo de poder notar los resultados de mejor manera en los gráficos ya que al utilizar la señal completa la cantidad de muestras es demasiado grande y por tanto dificulta observar el comportamiento de la modulación y demodulación sin tener que realizar un acercamiento excesivo. En las figuras 4, 5, 6 se observan las señales moduladas resultantes de la función de la figura 1 al utilizar porcentajes de modulación del 15 %, 100 %, 125 % respectivamente.

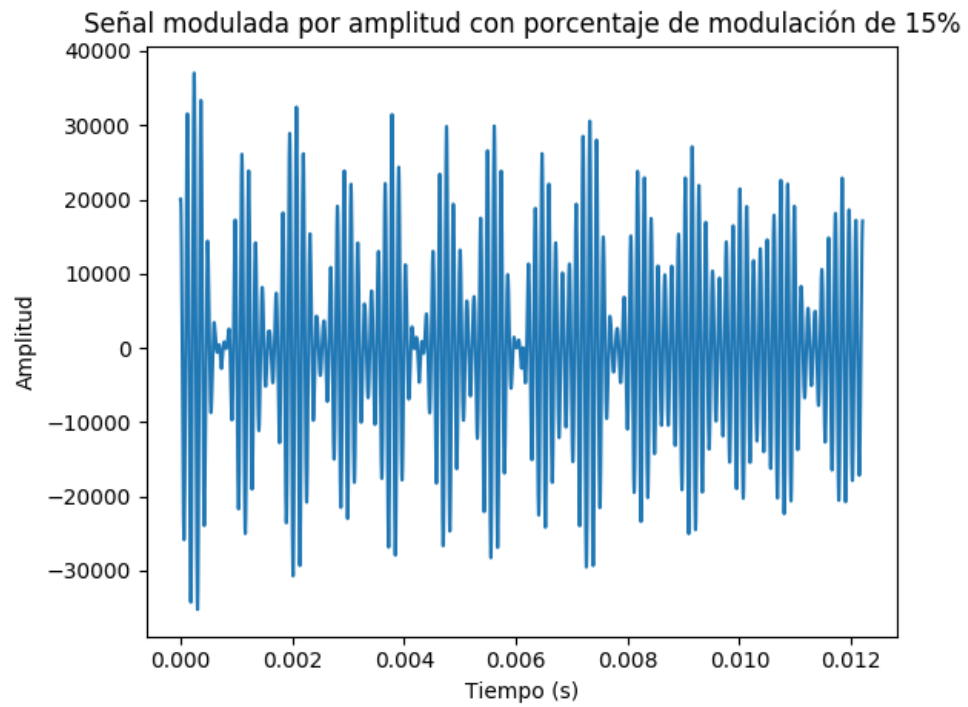


Figura 4: Señal modulada por amplitud con porcentaje de modulación del 15 %.

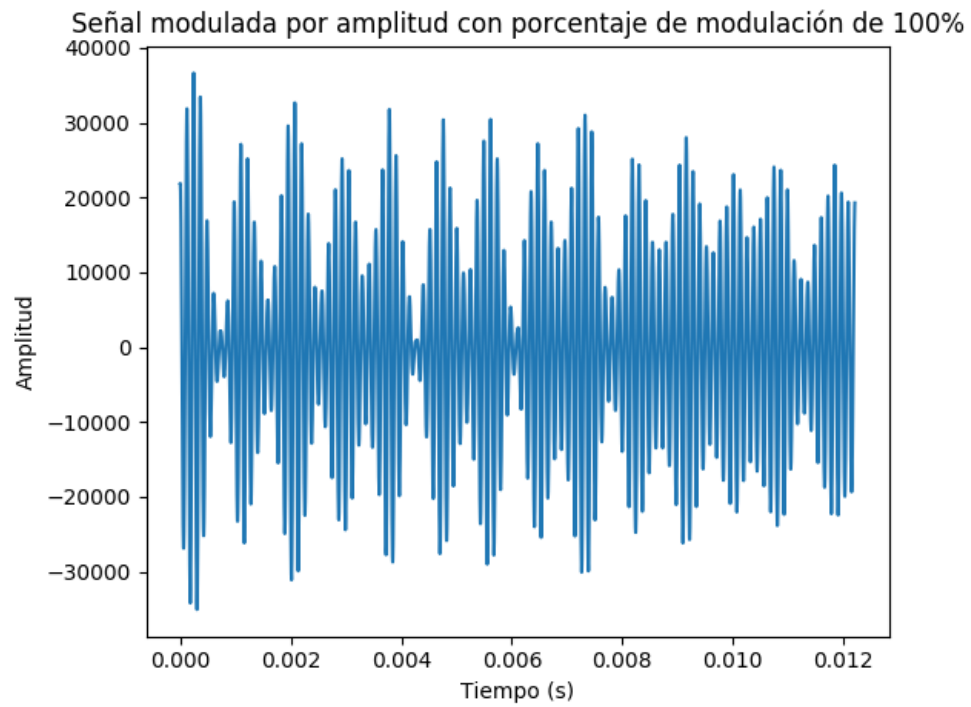


Figura 5: Señal modulada por amplitud con porcentaje de modulación del 100 %.

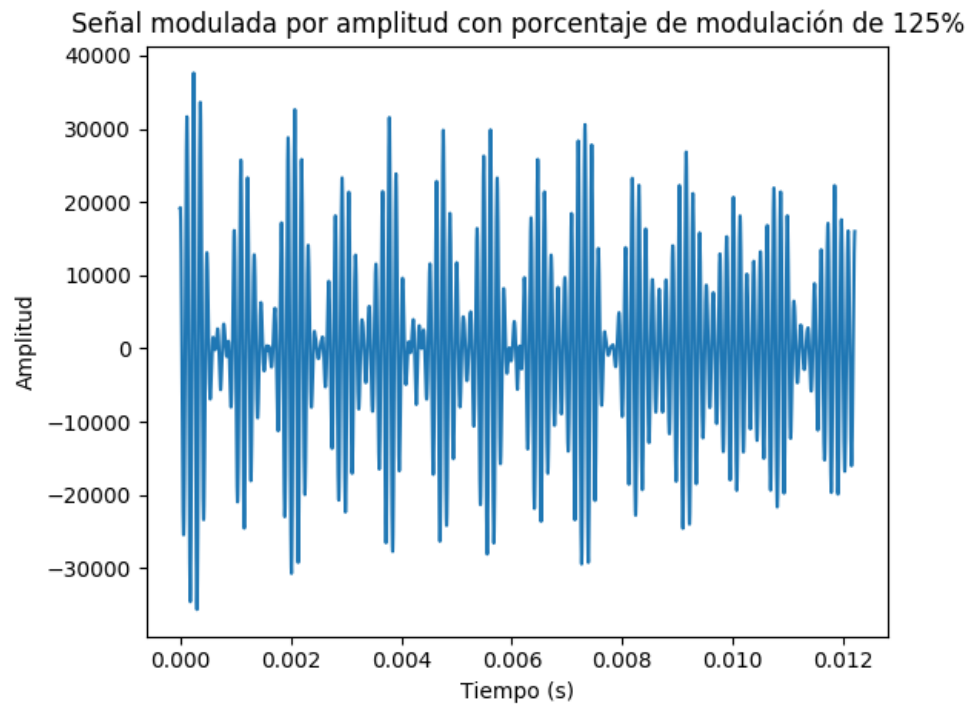


Figura 6: Señal modulada por amplitud con porcentaje de modulación del 125 %.

3.3. Aplicando modulación FM

Luego se utilizó la función de la figura 2 para obtener las señales moduladas por frecuencia con el mismo rango de valores de la señal original utilizada en la modulación AM, en las figuras 7, 8, 9 se observan los resultados obtenidos con porcentajes de modulación del 15 %, 100 %, 125 % respectivamente.

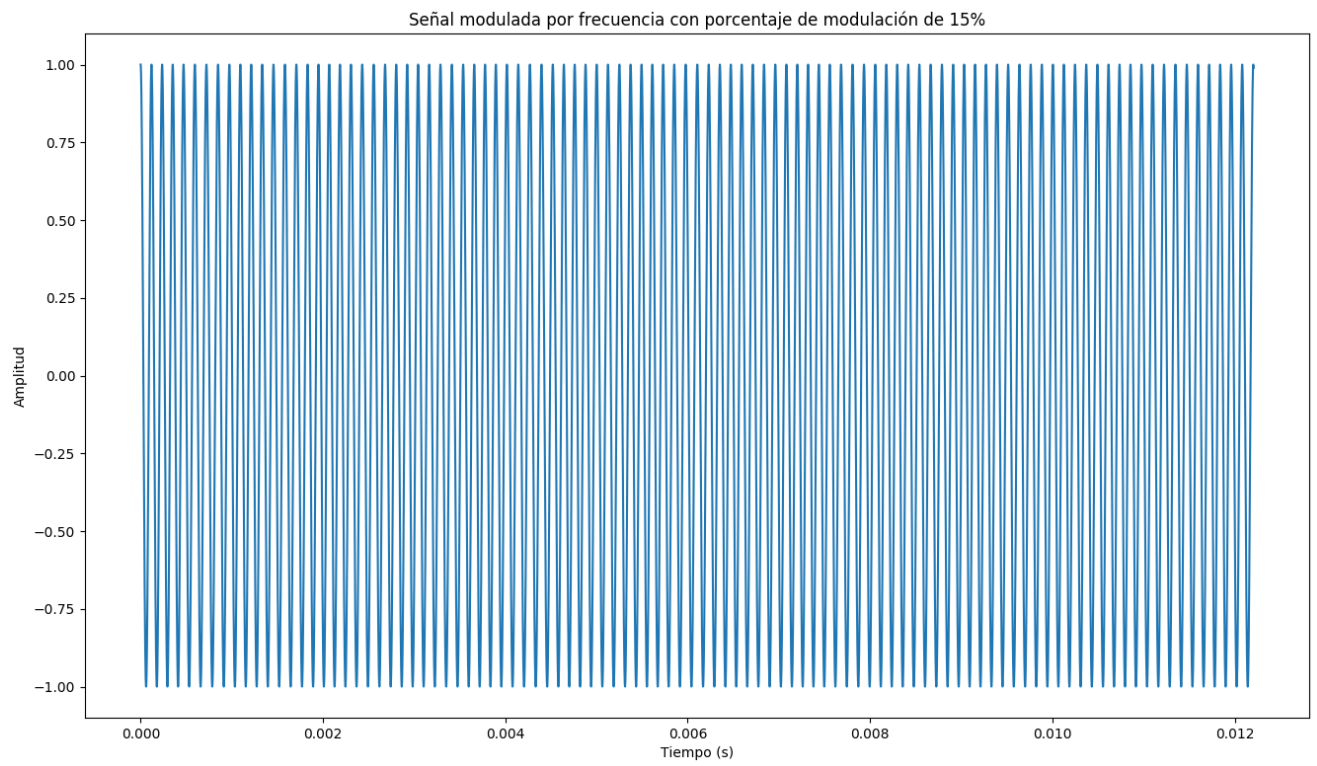


Figura 7: Señal modulada por frecuencia con porcentaje de modulación del 15 %.

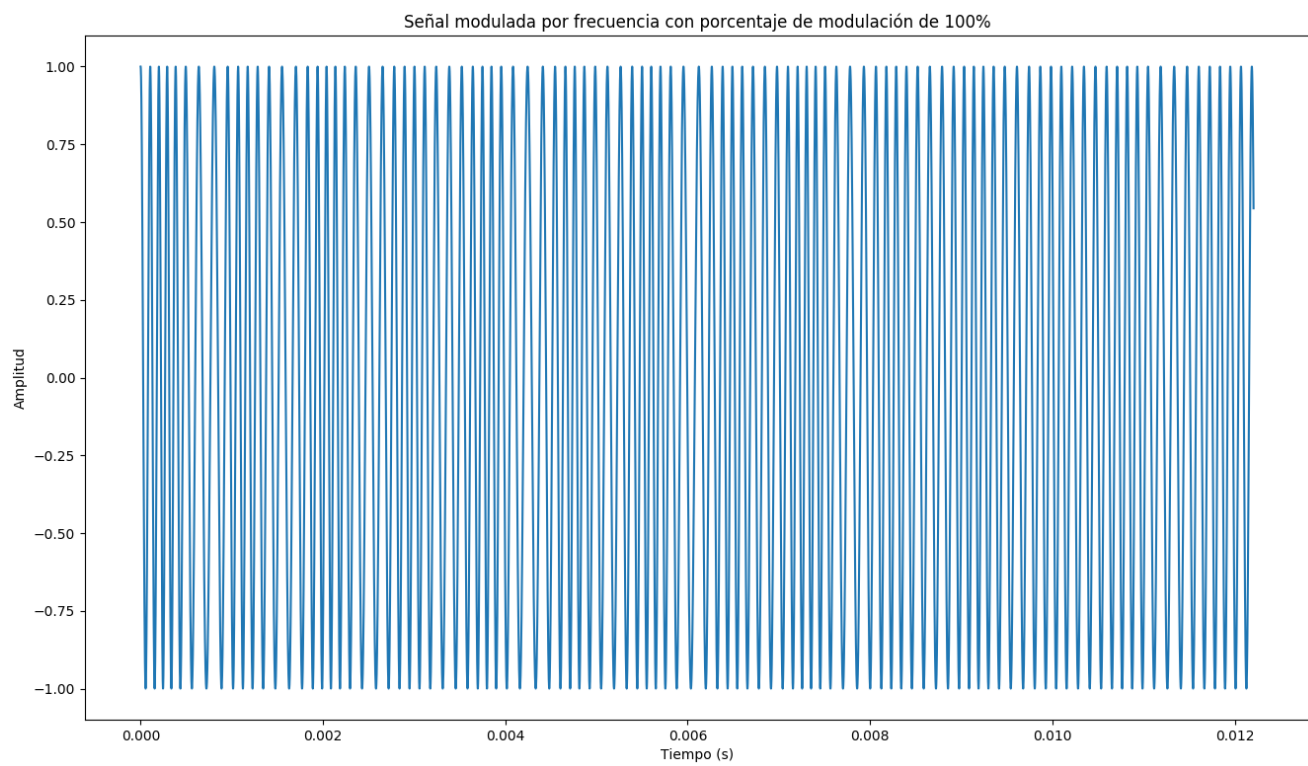


Figura 8: Señal modulada por frecuencia con porcentaje de modulación del 100 %.

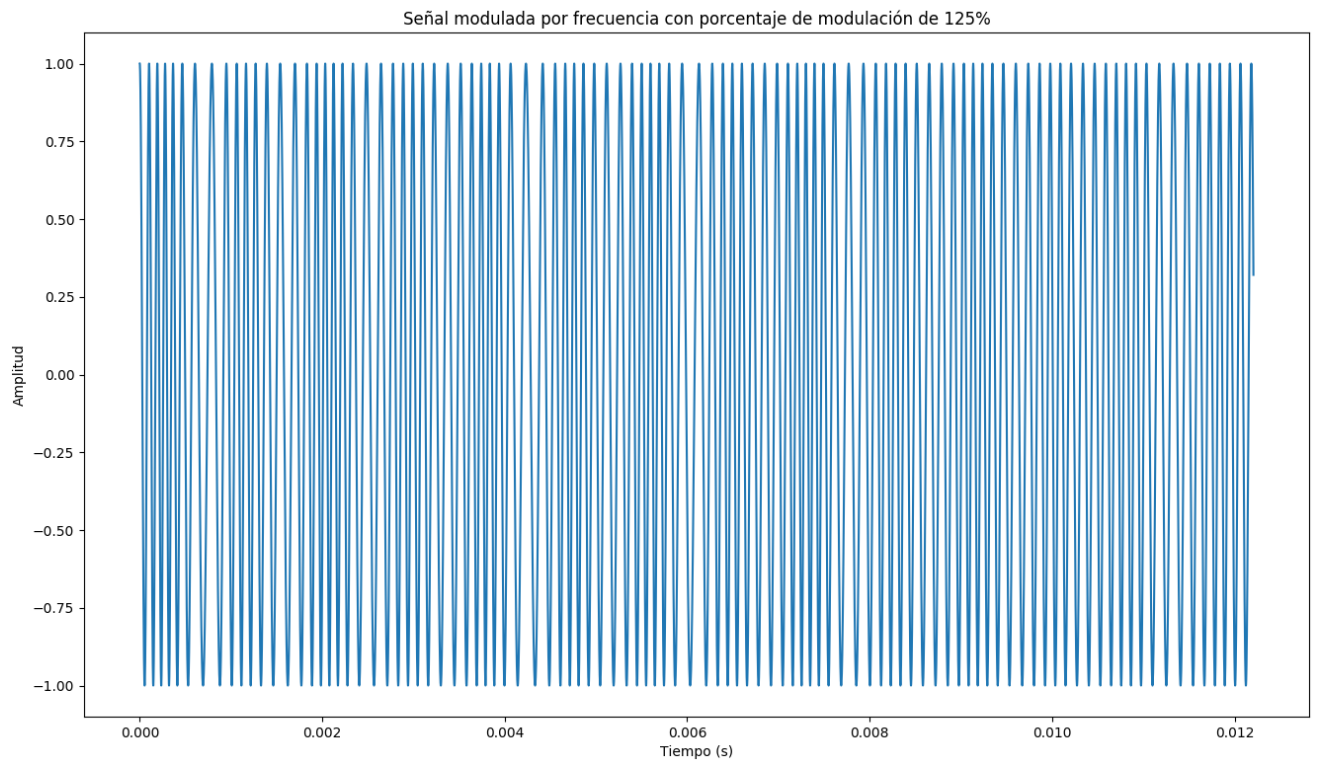


Figura 9: Señal modulada por frecuencia con porcentaje de modulación del 125 %.

3.4. Recuperando la señal original con el demodulador AM implementado

Para recuperar la señal original se utilizó la función implementada en la figura 3 obteniendo los siguientes resultados para porcentajes de modulación de 15 % y 100 %:

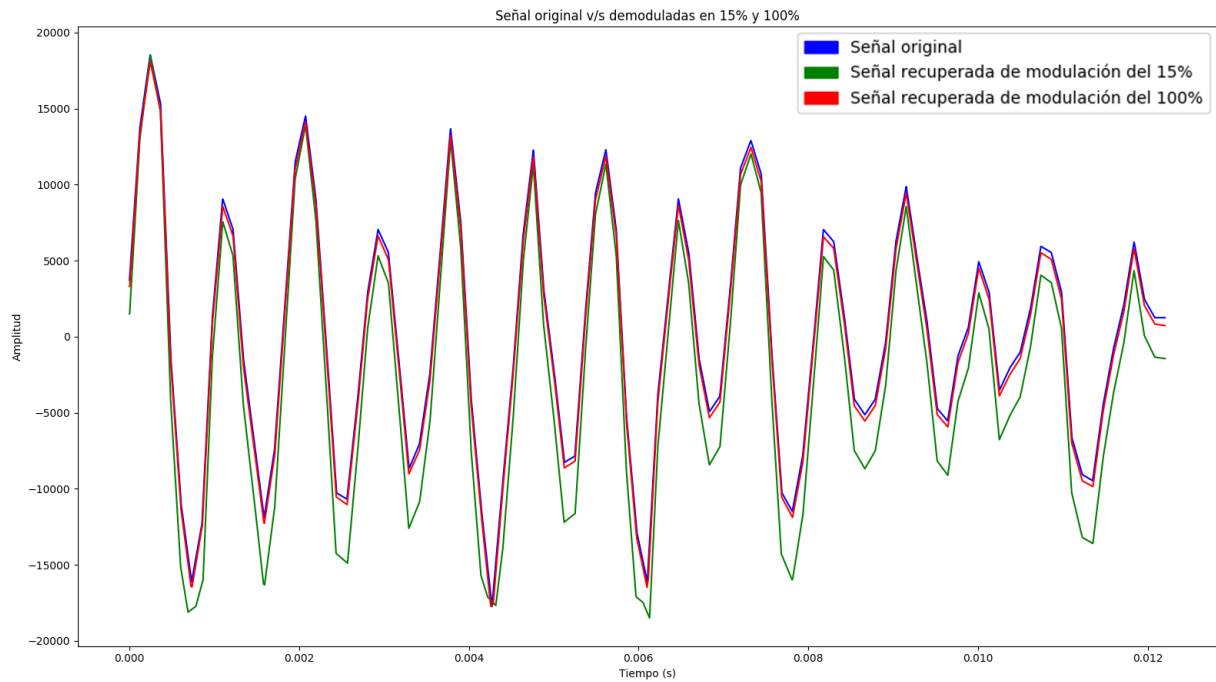


Figura 10: Comparación de las señales recuperada mediante la demodulación de las señales moduladas a 15 % y 100 % con la señal original

Para el caso de sobremodulación (porcentaje de modulación de 125 %) se obtuvo los siguientes resultados:

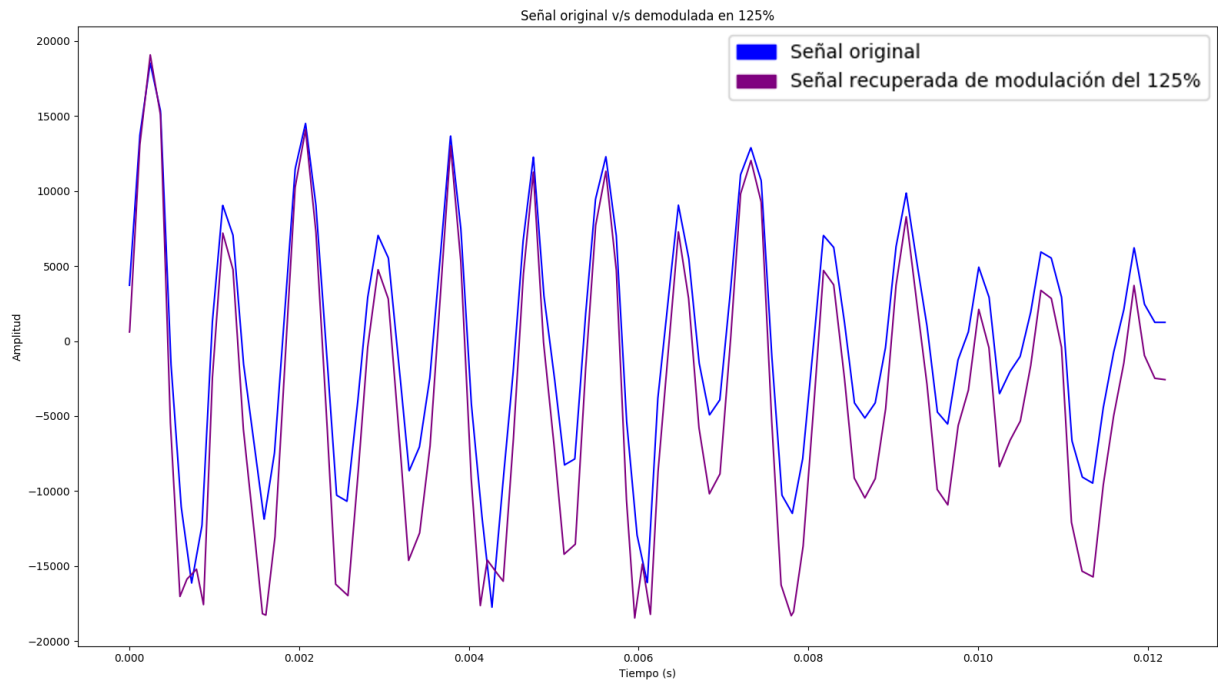


Figura 11: Comparación de la señal recuperada mediante la demodulación de la señal modulada a 125 % con la señal original

3.5. Obteniendo espectros de frecuencia

A continuación se procedió a calcular los espectros de frecuencias para las señales moduladas por amplitud obteniendo los siguientes resultados:

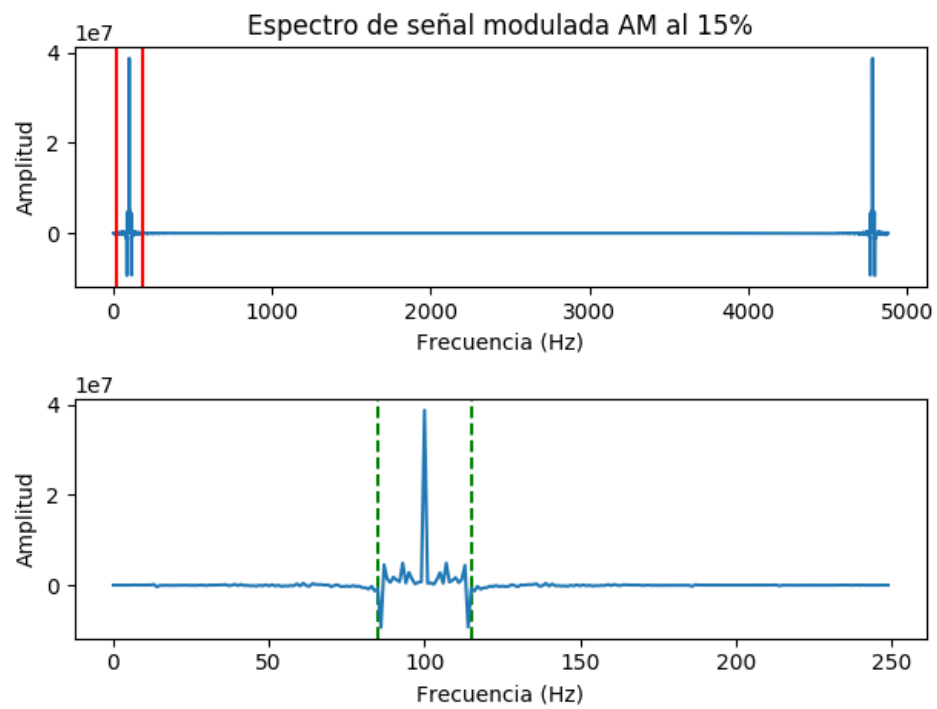


Figura 12: Espectro de señal modulada por amplitud con porcentaje de modulación del 15 %.

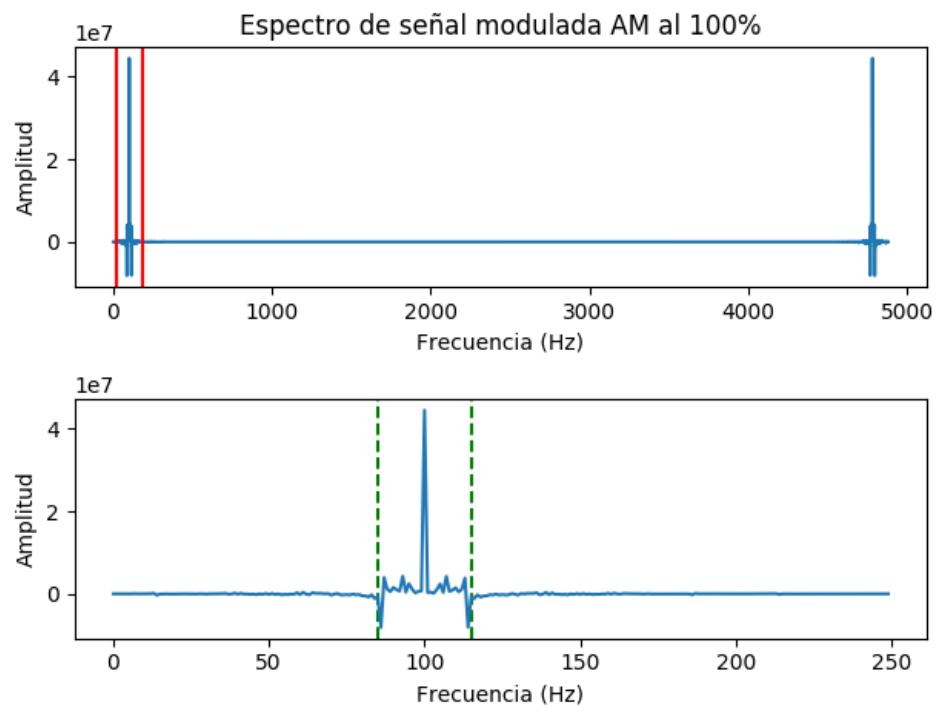


Figura 13: Espectro de señal modulada por amplitud con porcentaje de modulación del 100 %.

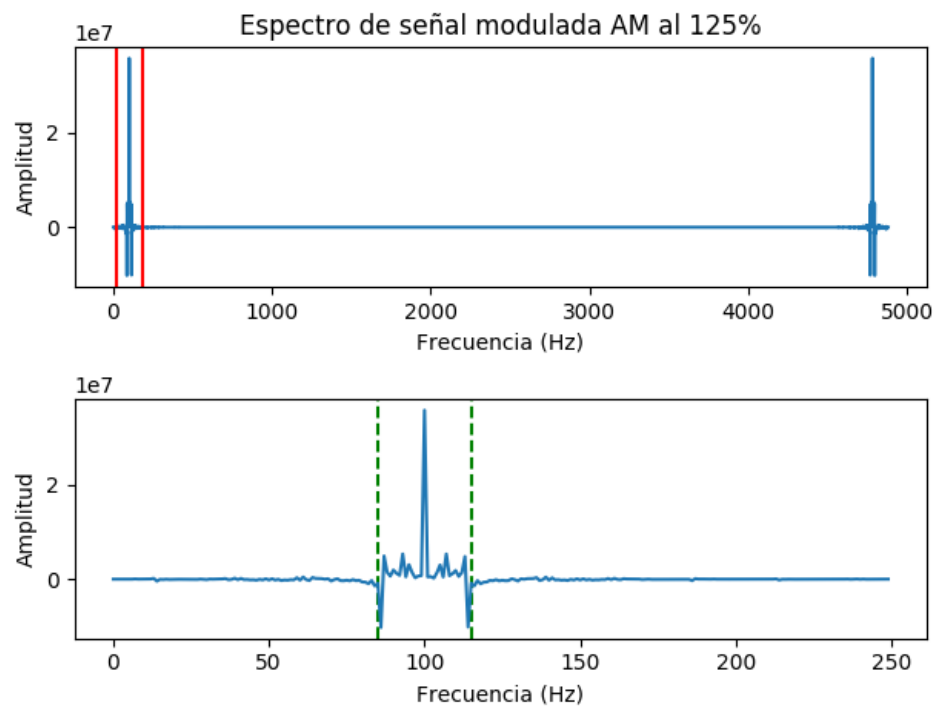


Figura 14: Espectro de señal modulada por amplitud con porcentaje de modulación del 125 %.

Luego se realizó el mismo procedimiento para los espectros de frecuencias para las señales moduladas por frecuencia obteniendo los siguientes resultados:

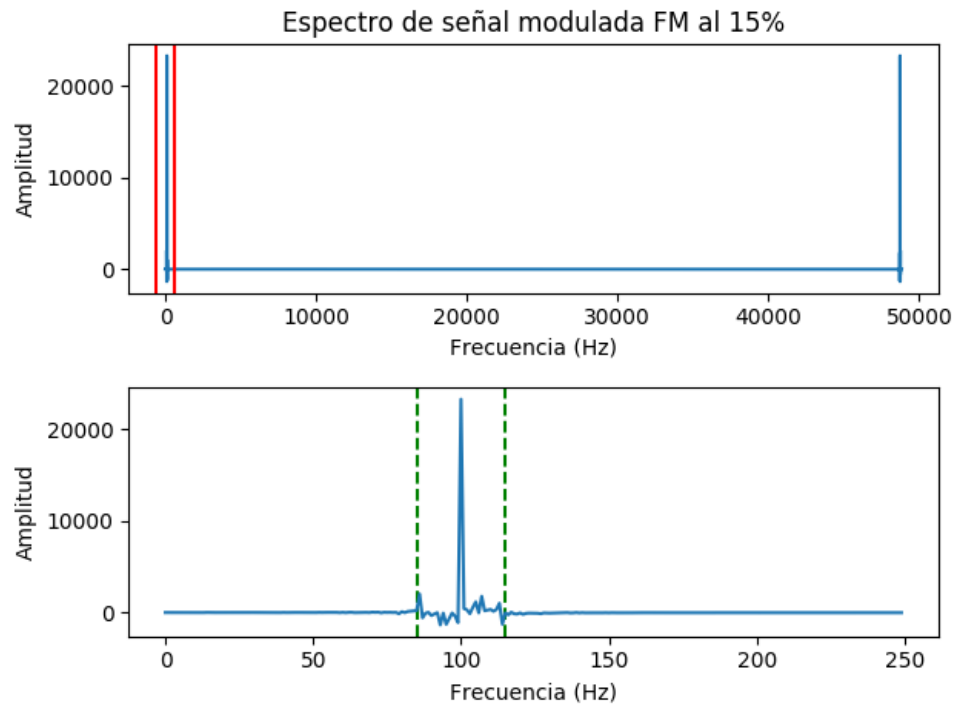


Figura 15: Espectro de señal modulada por frecuencia con porcentaje de modulación del 15 %.

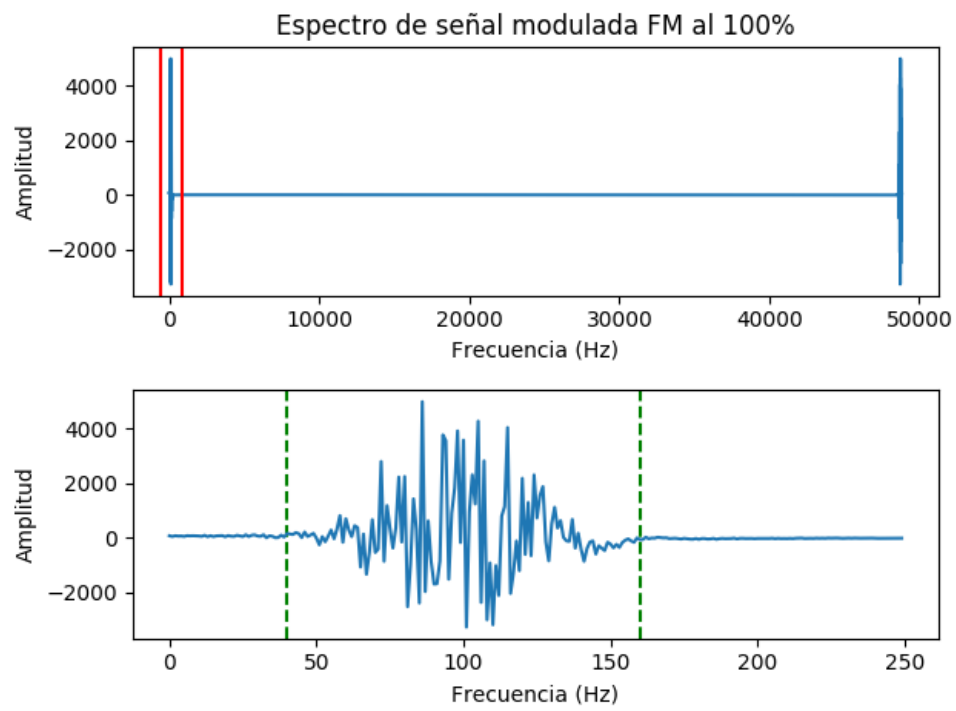


Figura 16: Espectro de señal modulada por frecuencia con porcentaje de modulación del 100 %.

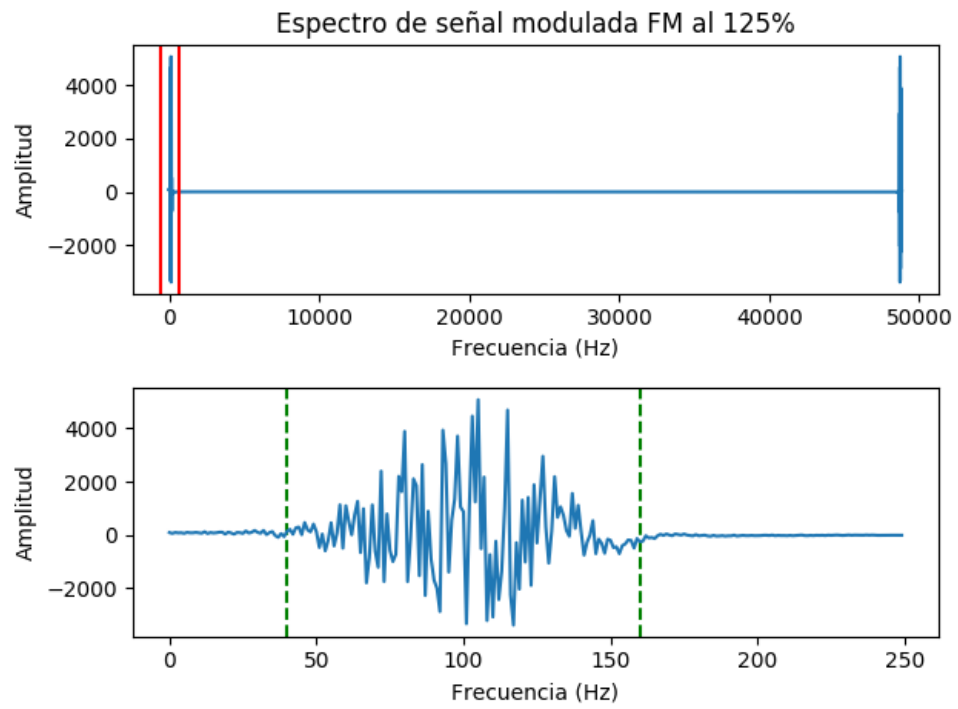


Figura 17: Espectro de señal modulada por frecuencia con porcentaje de modulación del 125 %.

4. Análisis de los resultados

4.1. Análisis de la modulación AM

Como se pudo observar en las figuras 4, 5 y 6 la modulación AM tiene una gran ventaja, esta corresponde a que es bastante fácil de interpretar, ya que solo basta con seguir la parte superior de la señal modulada que es básicamente lo que realiza el demodulador implementado en la función de la figura 3, se realiza el calculo de la envolvente y se interpola linealmente para generar una curva correspondiente a la señal recuperada. Esto se traspasa a la vida real y casos prácticos en que es muy barato y de baja complejidad implementar demoduladores para las señales AM, es por esto que hasta el día de hoy se continua utilizando para transmisión de señales de audio radial entre otros usos.

4.2. Análisis de la modulación FM

La gran diferencia y posible desventaja de la modulación FM es que su interpretación es mucho mas compleja y por tanto la recuperación de la señal transmitida en ella es de un costo mucho mayor, sin embargo su utilidad radica en que es capaz de transmitir con una calidad mucho mayor que la modulación AM debido a que dado un mismo porcentaje de modulación generalmente tiene un ancho de banda mayor (Esto se analizará mas a fondo en la sección 4.3), es por esta razón que hoy en día muchos medios de comunicación masivos la utilizan como lo son la radio FM (que entrega mejor calidad de sonido que la radio AM), la transmisión del audio de la televisión abierta o sistemas de sonido inalámbricos (Micrófonos, adaptadores para instrumentos, etc). Sin embargo debido a la diferencia en ancho de banda con respecto a las señales AM es que se requiere de antenas mucho mas grandes y costosas.

4.3. Análisis de los espectros de frecuencias

Los resultados obtenidos en cuanto a los espectros de frecuencias son completamente coherentes con lo mencionado en la sección 4.2, en las figuras 12, 13, y 14 que corresponden a los espectros de frecuencias de las señales moduladas por amplitud en los cuales se realizó un acercamiento a sus componentes a modo de observar mas claramente en-

tre que frecuencias se encontraban se pudo apreciar que independientemente del porcentaje de modulación el rango entre las componentes de frecuencias no variaba y por tanto su ancho de banda se mantenía constante.

En el caso de las figuras 15, 16 y 17 ocurre algo completamente distinto, al realizar el mismo acercamiento utilizado en el análisis de los espectros de las señales AM se puede notar que el rango es variable de manera creciente (es mayor a medida que se utiliza un porcentaje de modulación mas grande) y por tanto el ancho de banda aumenta de manera directa dependiendo del porcentaje de modulación empleado.

4.4. Problemas de la sobremodulación

En la figura 11 se puede observar que sucede al utilizar un porcentaje de modulación superior al 100 % (125 % en este caso particularmente), como se puede apreciar, se generan ciertas distorsiones en la señal recuperada que no coinciden con la señal original, a continuación se presenta una variación del mismo gráfico donde las áreas oscurecidas corresponden a las distorsiones mencionadas:

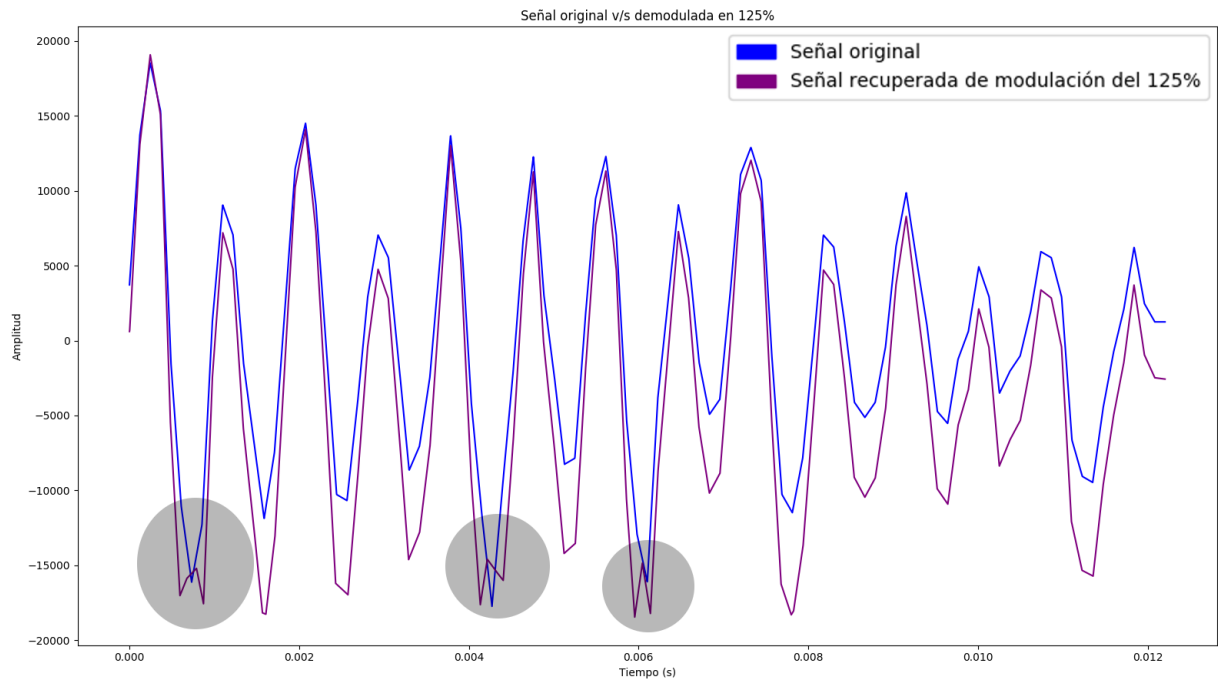


Figura 18: Comparación de la señal recuperada mediante la demodulación de la señal modulada a 125 % con la señal original con las áreas de distorsión oscurecidas

Esta distorsión se debe a que la variación de la amplitud de la portadora esta siendo permitida en un 125 %, lo cual excede el 100 % y por tanto provoca que la señal modulada genere un una envolvente superior distorsionada.

4.5. Análisis del índice de modulación: ¿Por qué no modular siempre en un 100 %?

Al analizar los resultados obtenidos pareciera que es mucho mas conveniente modular siempre en un 100 % sin embargo esto no es así en la práctica y es por distintas razones para cada uno de los tipos de modulación estudiados en esta experiencia.

En el caso de la modulación AM se pudo observar que se obtenía anchos de banda casi iguales para cada porcentaje de modulación, esto es un indicativo de que sin importar esta variación las señales resultantes son capaces de transportar la misma cantidad de datos y por tanto proporcionan calidad similar sin embargo modular al 100 % provoca diferencias de voltaje superiores a modular en un porcentaje menor (debido a la mayor variación de la amplitud permitida en la señal portadora), como 50 % por ejemplo, esto provoca que el gasto energético sea mayor y por tanto eleva los costos.

En el caso de la modulación FM se pudo observar que modular a porcentajes mayores resultaba en un ancho de banda mayor, es por este motivo que a mayor porcentaje de modulación los costos serán mucho mayores ya que transmitir a un ancho de banda mayor implicará la utilización de antenas mucho mas grandes y costosas. Es por este motivo que en este caso se requiere estudiar con mayor precisión que porcentaje de modulación será el adecuado para poder transmitir a una calidad suficiente dependiendo del contexto y el presupuesto económico.

5. Conclusiones

Durante la realización de esta experiencia se logró comprender como funciona realmente el proceso de modulación de señales, esto nos entregó una noción mucho mas completa de como se transmiten en la práctica todo tipo de información que podemos apreciar en la vida real a diario como lo es la radio, el audio de la televisión, etc.

En cuanto a los resultados de la experiencia se puede decir que fueron exactamente los mismos que se esperaban dada la teoría estudiada en clases, esto se comprobó mediante el estudio de las señales moduladas y sus correspondientes espectros de frecuencias donde efectivamente se pudo apreciar que tipo de modulación era mas costosa, cual entregaba resultados de mayor calidad y en que casos se podía generar distorsión.

En general se puede concluir que se han cumplido todos los objetivos, sobre todo los mas importantes que correspondían a entender el funcionamiento de la modulación análoga (AM y FM) y las consecuencias de variar parámetros tales como el porcentaje de modulación en cada una de ellas y como afectaría esto en la vida real en el aspecto económico, su complejidad y la calidad de sus resultados.

Bibliografía

- [1] EcuRed. Amplitud modulada. [Online] https://www.ecured.cu/Amplitud_Modulada.
- [2] EcuRed. Modulación. [Online] <https://www.ecured.cu/Modulacin>.
- [3] EcuRed. Modulación de frecuencia. [Online] https://www.ecured.cu/Modulaci%C3%B3n_de_frecuencia.
- [Poole] Poole, I. Amplitude modulation index depth. [Online] <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/am-amplitude-modulation/modulation-index-depth.php>.
- [Radio Academy] Radio Academy. How does modulation work? [Online] <https://www.taitradioacademy.com/topic/how-does-modulation-work-1-1/>.
- [Techtarget] Techtarget. What is a carrier signal? [Online] <http://searchtelecom.techtarget.com/definition/carrier-signal>.