



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

Redes de Computadores
Laboratorio 4 - Parte 1: Modulación Análoga

Integrantes: Gonzalo Estay
Arturo Salinas

12 de Noviembre del 2017

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Marco Teórico	2
2.1. Modulación AM	2
2.2. Modulación FM	3
2.3. Demodulación AM	3
2.4. Sobremodulación	5
3. Desarrollo de la experiencia	6
3.1. Etapa de pre-modulación	6
3.2. Modulación AM	6
3.3. Modulación FM	8
3.4. Demodulación AM	11
4. Análisis de Resultados	15
5. Conclusiones	17
6. Bibliografía y Documentación	19
7. Anexo 1	20
7.1. Señal original	20
7.2. Modulación AM	20
7.3. Modulación FM	24
7.4. Demodulación AM	29
8. Anexo 2 - Manual de Uso	33

Índice de figuras

2-1. Fórmula para calcular la señal modulada por frecuencia.	2
2-2. Fórmula para calcular la señal modulada por frecuencia.	3
2-3. Demodulación AM sin filtro.	4
2-4. Demodulación AM con filtro.	4
2-5. Sobremodulación AM.	5
3-6. Modulación AM a un 100 %.	7
3-7. Transformadas de Fourier de modulación AM a un 100 %.	8
3-8. Fórmula para calcular la señal modulada por frecuencia.	9
3-9. Modulación FM a un 100 %.	9
3-10. Transformadas de Fourier de modulación FM a un 100 %.	10
3-11. Espectrograma de la modulación FM a un 100 %.	11
3-12. Transformada de demodulación AM al 100 % sin filtro.	12
3-13. Transformada de demodulación AM al 100 % con filtro.	13
3-14. Demodulación AM al 100 %.	14
3-15. Señal original	14
4-16. Sobremodulación de una onda a un 150 %	16
7-17. Señal original.	20
7-18. Modulación AM a un 15 %.	21
7-19. Modulación AM a un 100 %.	21
7-20. Modulación AM a un 125 %.	22
7-21. Transformadas de la modulación AM a un 15 %.	22
7-22. Transformadas de la modulación AM a un 100 %.	23
7-23. Transformadas de la modulación AM a un 125 %.	23
7-24. Modulación FM a un 15 %.	24
7-25. Modulación FM a un 100 %.	25
7-26. Modulación FM a un 125 %.	25
7-27. Espectrograma de la modulación FM a un 15 %.	26
7-28. Espectrograma de la modulación FM a un 100 %.	26

7-29.Espectrograma de la modulación FM a un 125 %.	27
7-30.Transformadas de la modulación FM a un 15 %.	28
7-31.Transformadas de la modulación FM a un 100 %.	28
7-32.Transformadas de la modulación FM a un 125 %.	29
7-33.Demodulación AM de la modulación a 15 %.	30
7-34.Demodulación AM de la modulación a 100 %.	30
7-35.Demodulación AM de la modulación a 125 %.	31
7-36.Transformada de la demodulación AM a 15 % (con filtro).	31
7-37.Transformada de la demodulación AM a 100 % (con filtro).	32
7-38.Transformada de la demodulación AM a 125 % (con filtro).	32
8-39.Comando de terminal para dirigirse a la ruta del código fuente.	33
8-40.Comando para ejecutar la solución implementada.	34
8-41.Solución implementada corriendo en la terminal.	34
8-42.Ingreso del nombre del archivo de audio.	35
8-43.Ejecución completa de la solución implementada.	36

1. Introducción

En el campo de los sistemas de comunicación, cuando se hace referencia a la modulación de señales análogas se hace referencia al proceso por el cual pasa una señal para adaptarla al medio por el que esta se transmite por medio de una onda modulada que se genera a partir de un mensaje y una onda portadora. Por otro lado, cuando se habla de demodulación se hace referencia al proceso inverso, esto es, la recuperación de la señal original que contiene la onda modulada. Estos procedimientos tienen sus orígenes en “el uso eficiente del espectro de frecuencias disponibles en un medio en particular, que se utiliza para comunicaciones”[1], que es un problema que aún existe en la actualidad y sobre el cual se sigue trabajando.

El objetivo general de la experiencia actual corresponde a la correcta implementación de modulaciones AM y FM y la demodulación AM, mientras que los objetivos específicos corresponden a entender los efectos que tienen sobre una señal tanto ambos métodos de modulación como la demodulación a ser implementada además de entender cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno de estos procedimientos.

El documento se divide en 4 secciones, primero se tiene el “Marco Teórico”, donde se explican las modulaciones de señales correspondientes. La sección 2 es “Desarrollo”, en esta se presentan los resultados de modular (AM y FM) y demodular (AM) señales. La sección 3 es “Análisis”, donde se busca responder ciertas interrogantes por medio de la interpretación de los resultados. La sección 4 es “Conclusiones”, donde se presentan todas las observaciones importantes, complicaciones en el trabajo y las mejoras que se podrían agregar a la solución implementada. Luego se tiene la sección de “Bibliografía” donde se insertan todas las referencias empleadas. Finalmente se tienen dos anexos, en el primero se incluyen todos los gráficos generados en la experiencia y en el segundo se presenta un manual de usuario para usar la solución implementada sin dificultades.

2. Marco Teórico

A continuación se explican los conceptos de mayor importancia para el desarrollo de la experiencia.

2.1. Modulación AM

La modulación AM, como su nombre indica, corresponde al tipo de modulación de señales en la que, a partir de una onda moduladora (que corresponde al mensaje que se quiere transmitir), se altera la amplitud de una onda portadora representada por un seno o coseno a una frecuencia que, obligatoriamente, debe ser mayor a la frecuencia del mensaje.

La formula empleada para calcular la señal se puede observar en la figura 2-1.

$$(1 + m \cos(2\pi f_m t)) \cos(2\pi f_c t)$$

Figura 2-1: Fórmula para calcular la señal modulada por frecuencia.

En esta se pueden identificar tres elementos importantes:

- m : Corresponde al índice de modulación, este indice básicamente determina en cuánto varía la amplitud de la onda portadora al multiplicarla con la moduladora.
- $\cos(2\pi f_m t)$: El primer coseno de la fórmula corresponde a la señal moduladora o el mensaje que se desea transmitir.
- $\cos(2\pi f_c t)$: El segundo coseno de la fórmula corresponde a la onda portadora, esta es la señal cuya amplitud se modifica para obtener la onda modulada.

En el dominio de las frecuencias, el efecto de una modulación AM corresponde a la convolución entre un impulso y el espectro del mensaje original, lo que genera que este se desplace a la frecuencia a la que se está modulando, ocupando un ancho de banda equivalente al doble del original.

2.2. Modulación FM

La modulación FM, por otro lado, corresponde a un tipo de modulación de señales en la que, a partir de un mensaje u onda moduladora, se altera la frecuencia inmediata de una onda portadora representada por un coseno o seno a una frecuencia mayor a la del mensaje. Para calcular a onda modulada, se emplea la fórmula indicada en la figura 2-2.

$$\cos(2\pi f_c t + m * \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau)$$

Figura 2-2: Fórmula para calcular la señal modulada por frecuencia.

En esta fórmula se puede encontrar:

- f_c : Corresponde a la frecuencia a la que se desea modular.
- m : Al igual que en la modulación AM, corresponde al índice de modulación. En este caso, este índice determina el tamaño del ancho de banda de la frecuencia modulada o, en otras palabras, cuánta variación hay en torno a la frecuencia de modulación.
- $\int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau$: Este termino corresponde a la integral instantánea del mensaje que se desea transmitir. Es a partir de esta expresión que es posible hacer que la frecuencia de la onda portadora presente una variación en el tiempo.

2.3. Demodulación AM

La demodulación AM, corresponde al proceso por el que pasa una señal modulada en su amplitud para obtener el mensaje que esta porta. Si bien existen diversas formas para recuperar la señal original, en esta subsección se explicará el método de la solución implementada. Este corresponde a una de las formas más fáciles de demodular una señal y consiste en obtener el producto entre la onda modulada y la misma onda portadora utilizada en el proceso de modulación. Esto, en el dominio de las frecuencias provoca un efecto como el que se ve en la figura 2-3.

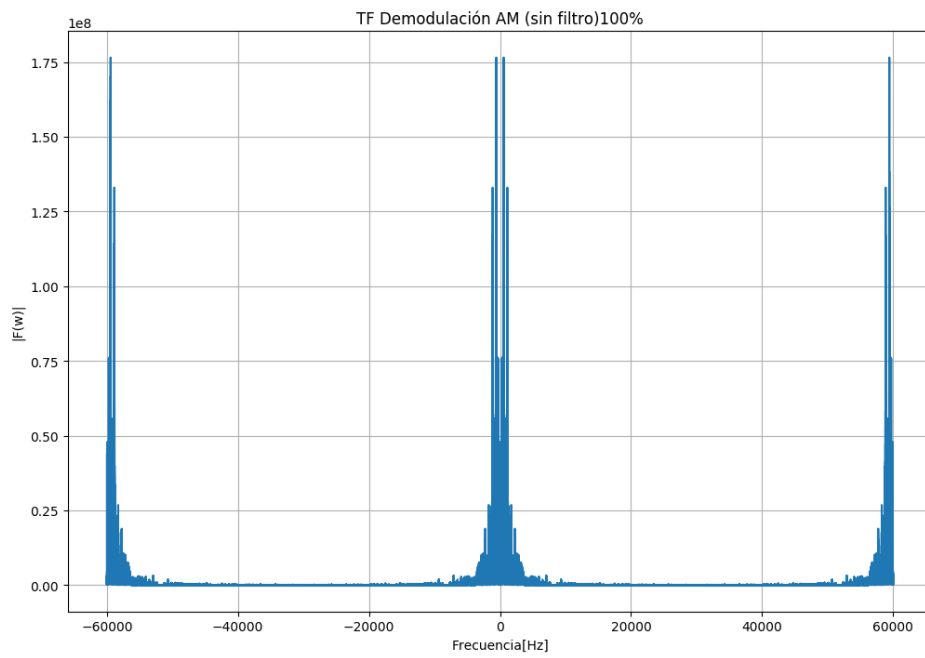


Figura 2-3: Demodulación AM sin filtro.

Por lo que es necesario aplicar un filtro paso bajo, lo que, nuevamente en el dominio de las frecuencias, se ve como se muestra en la figura 2-4.

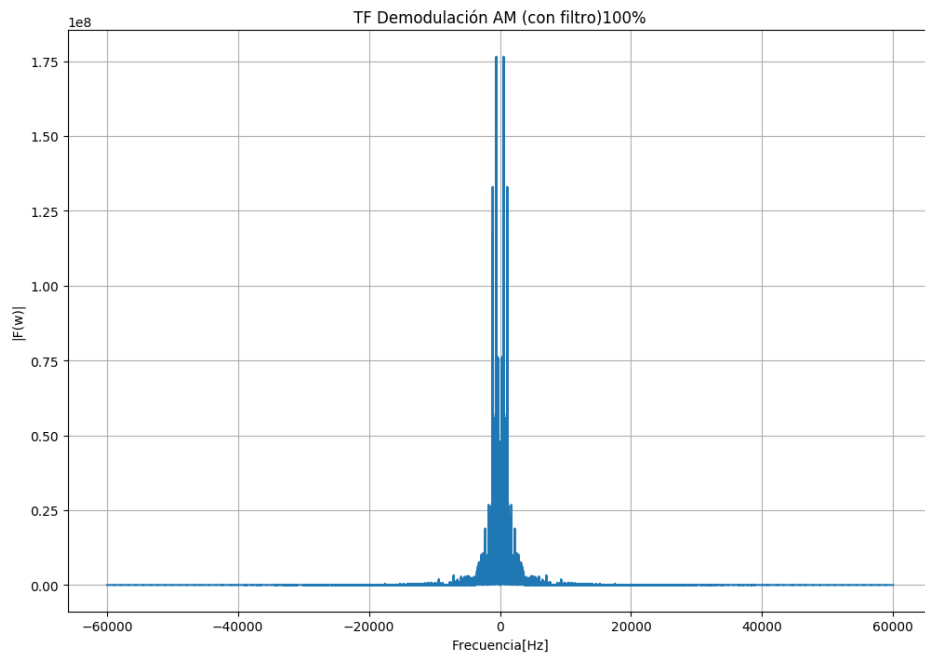


Figura 2-4: Demodulación AM con filtro.

La señal que se recupera por medio del proceso de demodulación presenta una pérdida de energía en comparación a la original, pero este efecto se puede contrarrestar al aplicar amplificación sobre el resultado obtenido.

2.4. Sobremodulación

Si al momento de modular, se emplea un índice de modulación mayor a 1 (o, equivalentemente un porcentaje de modulación superior a un 100 %), se presenta un fenómeno conocido como sobremodulación. En modulaciones AM, este fenómeno provoca que la envolvente de la señal modulada se vea afectada, como se puede observar en la figura 2-5. Esto provoca que al momento de demodular se obtenga una señal con distorsión, por lo que no se recomienda modular a más de un 100 %.

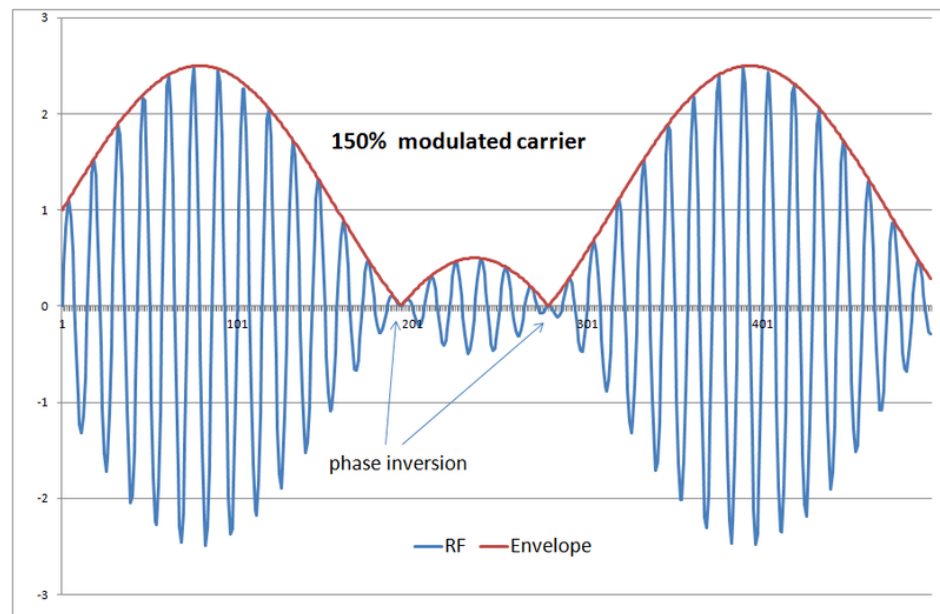


Figura 2-5: Sobremodulación AM.

Por otro lado en modulaciones FM, el efecto sobre la señal modulada es que esta ocupará un mayor ancho de banda, lo que si bien no es tan grave como en el caso anterior, es igualmente indeseable, ya que como las frecuencias son un recurso, lo ideal es utilizar el menor ancho de banda posible al transmitir una señal.

3. Desarrollo de la experiencia

En la sección actual del documento se explican por completo los procesos de modulación y demodulación implementados.

3.1. Etapa de pre-modulación

Antes de comenzar a modular es necesario llevar a cabo ciertas operaciones necesarias para el resto de la experiencia, las que se presentan a continuación:

- En primer lugar, se establece una frecuencia de modulación. En este caso en particular se utilizan 30 kHz, dado que este valor está incluido en el rango de frecuencias VHF¹.
- Luego, es necesario indicar cuál es el archivo de audio que será modulado y demodulado. En este caso se emplea un archivo de prueba de nombre "handel.wav". Cabe mencionar que es 100 % necesario que el formato del audio sea "wav".

3.2. Modulación AM

Los siguientes pasos describen cómo funciona la modulación de amplitud implementada:

- En primer lugar una función recibe: la información del audio de prueba (frecuencia de muestreo y datos del audio), el porcentaje de modulación y la frecuencia de modulación.
- A partir de la frecuencia de muestreo, se crea un vector de muestras con una frecuencia de muestreo de 4 veces la frecuencia de modulación, el que a su vez se usa para crear una onda portadora.
- A partir del largo de los datos del audio de prueba se crea un segundo vector de muestras. Este se emplea para interpolar el audio de prueba, de manera que tenga un número de muestras igual al de la onda portadora.

¹https://en.wikipedia.org/wiki/Very_high_frequency

- A partir del porcentaje de modulación se calcula el índice de modulación (porcentaje/100).
- Se crea la señal modulada al calcular el producto entre el índice de modulación, el audio original y la onda portadora.
- Luego, la señal resultante, que corresponde a la modulada, se guarda como un archivo de audio, además se genera un gráfico a partir de sus datos. Como se puede observar en la figura 3-6.

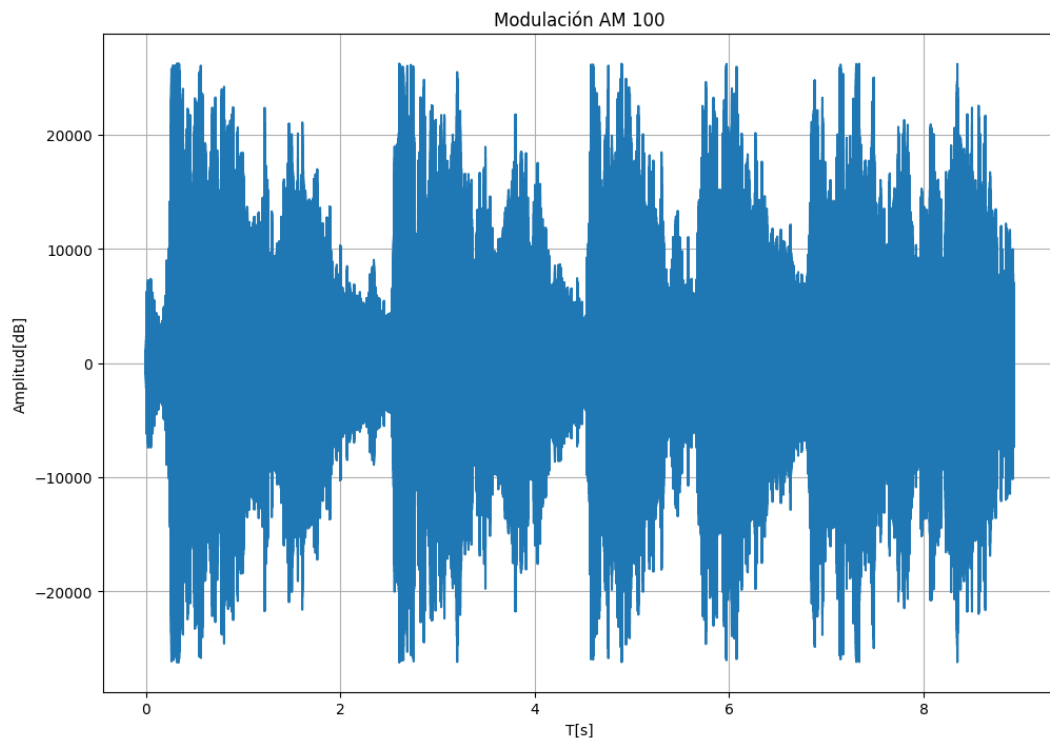


Figura 3-6: Modulación AM a un 100 %.

- Finalmente se calculan las transformadas de Fourier de la señal original, la onda portadora y la onda modulada, las que se grafican como se muestra en la figura 3-7.

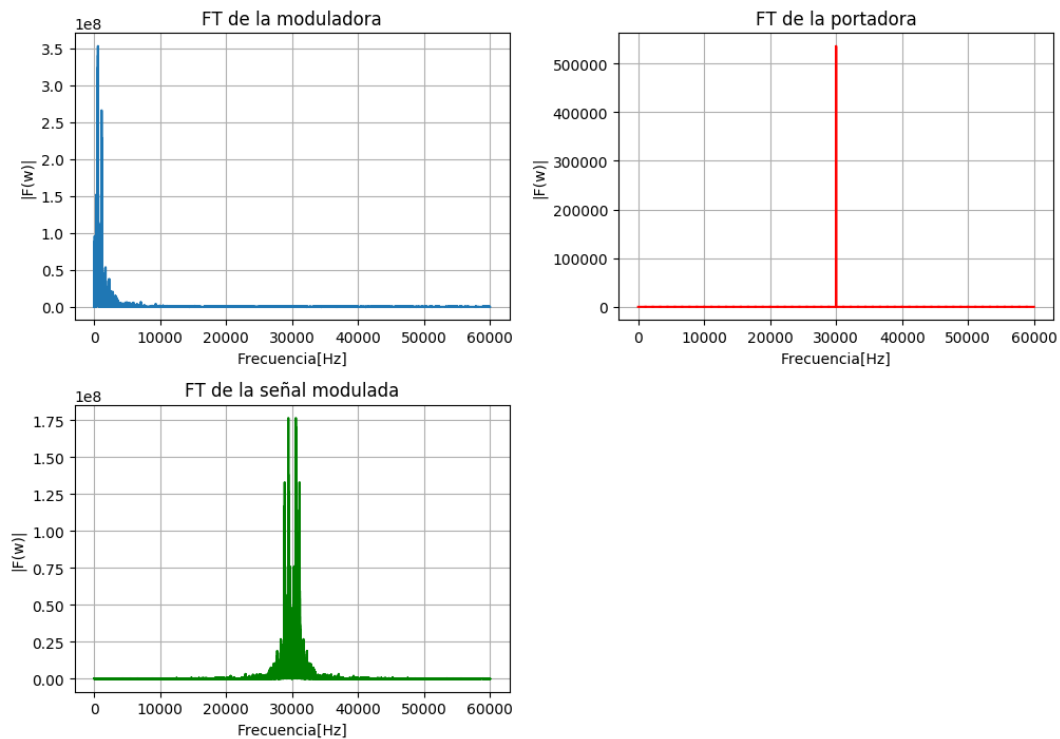


Figura 3-7: Transformadas de Fourier de modulación AM a un 100 %.

3.3. Modulación FM

La implementación de modulación de frecuencia se puede explicar por medio de los siguientes pasos:

- Al igual que en el caso de la modulación AM, el proceso comienza con una función que recibe como argumentos la información del audio de prueba, el porcentaje de modulación y la frecuencia de modulación.
- Se crea un vector de muestras con una frecuencia de muestreo de 4 veces la frecuencia de modulación. Con este vector se genera una onda portadora, la que se usa sólo para los gráficos generados al final del procedimiento.
- Se crea un segundo vector de muestras a partir del largo de los datos del audio original. Este se utiliza para interpolar el audio de prueba de manera que tenga el mismo número de muestras que la onda portadora.

- Se calcula el índice de modulación a partir del porcentaje de modulación que recibe la función.
- Se calcula la integral acumulativa del vector de datos resultante de la interpolación, por medio de la función cumtrapz de la librería scipy.integrate ².
- Se calcula la señal modulada por medio de la fórmula de la figura 3-8

$$\cos(2\pi f_c t + m * \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau)$$

Figura 3-8: Fórmula para calcular la señal modulada por frecuencia.

- Se guarda la señal como un archivo de audio, para verificar si se ha modulado de forma correcta. Además se grafica una porción de ella, dado que si se grafica la señal por completo no se puede apreciar el efecto de la modulación, como es posible ver en la figura 3-9.

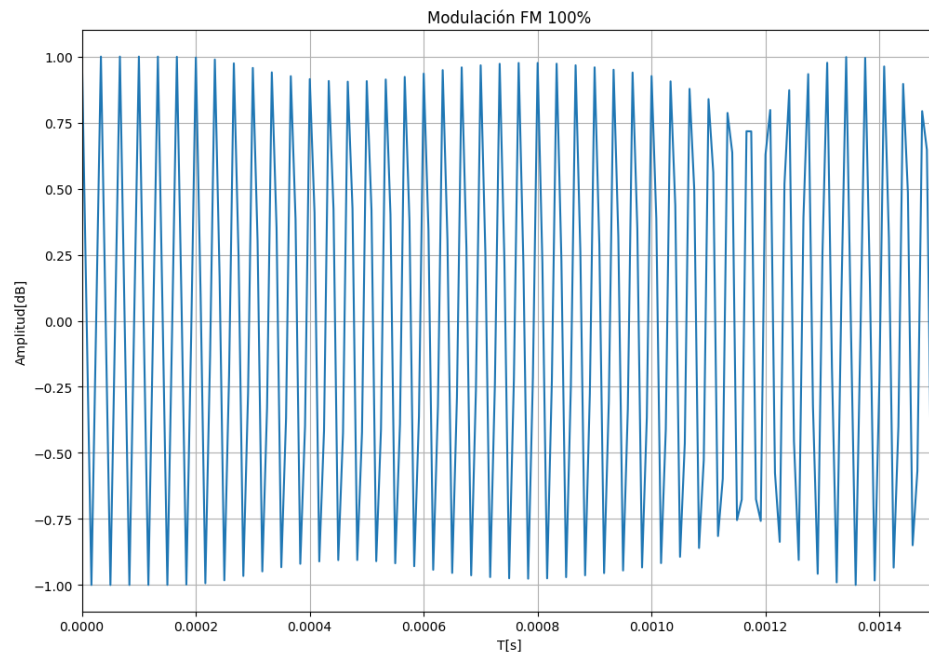


Figura 3-9: Modulación FM a un 100 %.

²<https://docs.scipy.org/doc/scipy-0.14.0/reference/generated/scipy.integrate.cumtrapz.html>

- Se calculan las transformadas de Fourier de la señal original, la onda portadora y la onda modulada. Las que se grafican como se muestra en la figura 3-10.

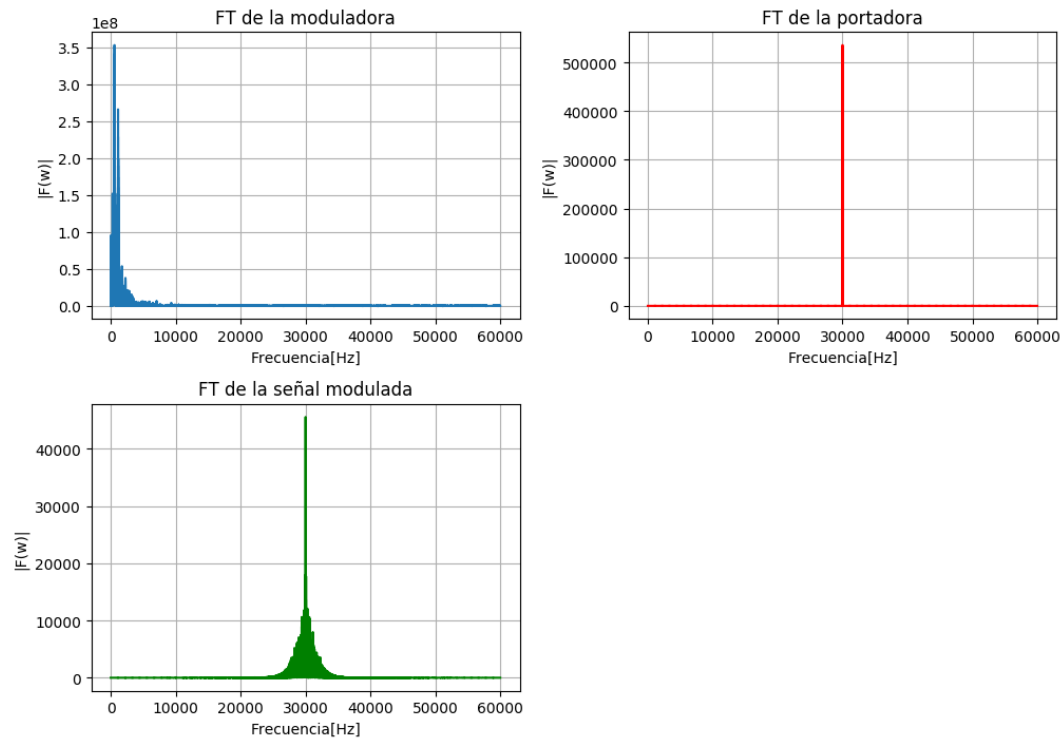


Figura 3-10: Transformadas de Fourier de modulación FM a un 100 %.

- Finalmente, para mostrar el efecto de la modulación FM sobre la señal original, se genera un espectrograma de la señal resultante, como se muestra en la figura 3-11.

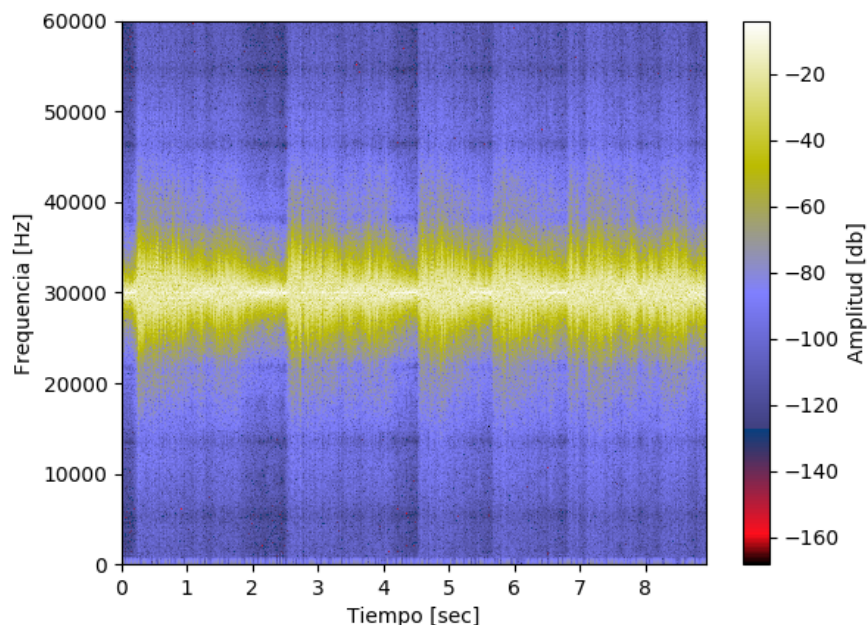


Figura 3-11: Espectrograma de la modulación FM a un 100 %.

3.4. Demodulación AM

La demodulación con la que se trabaja corresponde a la AM, dado que su implementación es más sencilla. Esta se realiza sobre los resultados obtenidos de la modulación AM explicada previamente y es posible desglosarla en los siguientes pasos:

- El proceso comienza con una función que los datos más importantes que recibe son la onda modulada, las muestras de la onda portadora que se empleo para modular, la frecuencia de modulación y un arreglo con la frecuencia de muestreo y la cantidad de datos del audio original.
- A partir de la frecuencia de modulación y las muestras de la portadora se recrea la onda portadora que se empleo para modular la señal.
- Se calcula la señal demodulada al obtener el producto entre la señal modulada y la portadora generada, resultado que se puede ver en la figura 3-12.

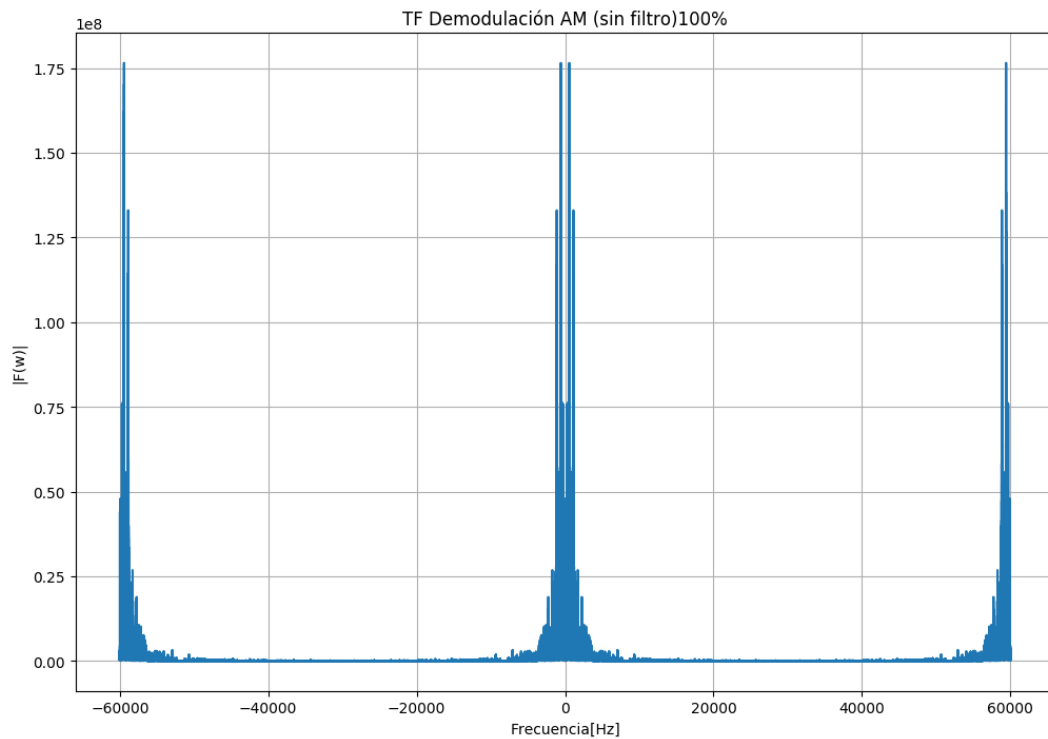


Figura 3-12: Transformada de demodulación AM al 100 % sin filtro.

- Se aplica un filtro de paso bajo sobre la señal resultante del paso anterior, tomando como frecuencia de corte la frecuencia de modulación, dado que en ese punto no existen frecuencias que puedan generar aliasing posteriormente. Esto se puede ver en la figura 3-13.

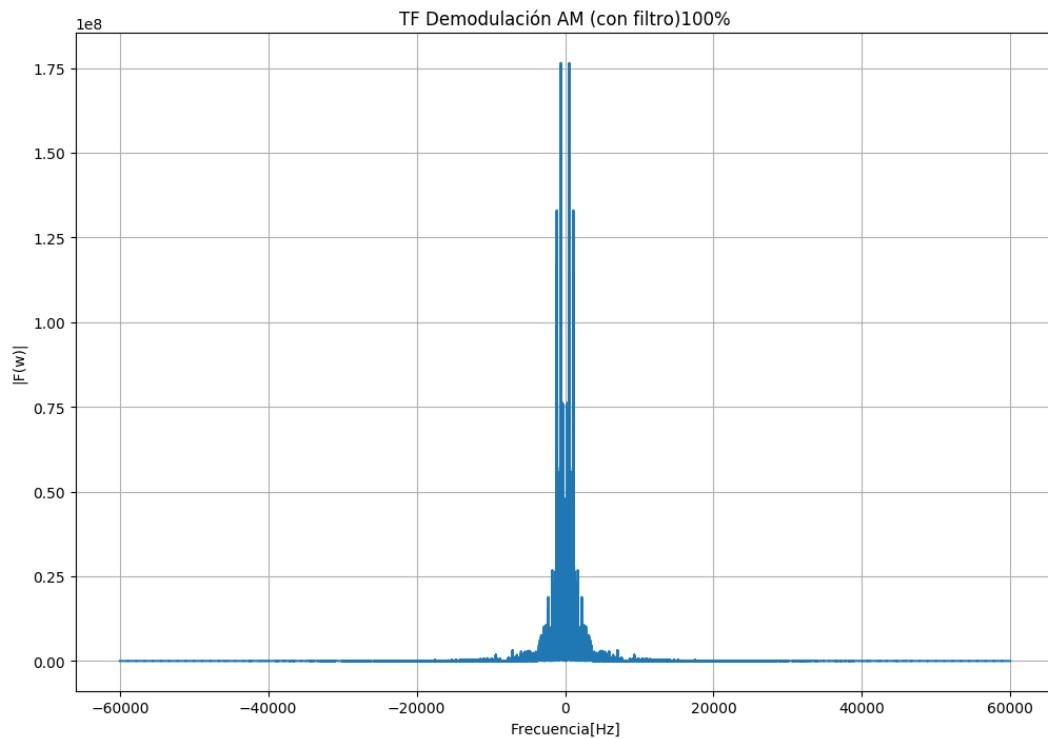


Figura 3-13: Transformada de demodulación AM al 100 % con filtro.

- El audio resultante de la señal demodulada se guarda, para verificar que se recuperó el audio original de manera correcta.
- Finalmente, se grafica la señal demodulada, como se puede ver en la figura 3-14. Para tener una referencia del cambio que ocurre sobre la señal original, la figura 3-15 corresponde al audio de prueba sin modificaciones.

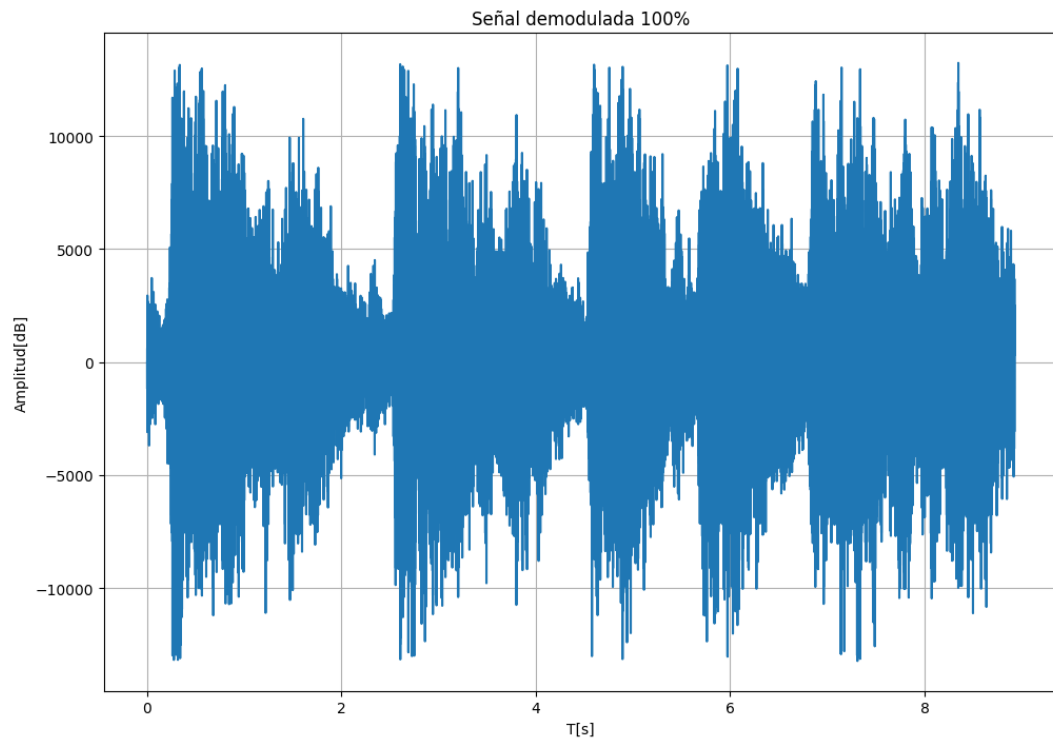


Figura 3-14: Demodulación AM al 100 %.

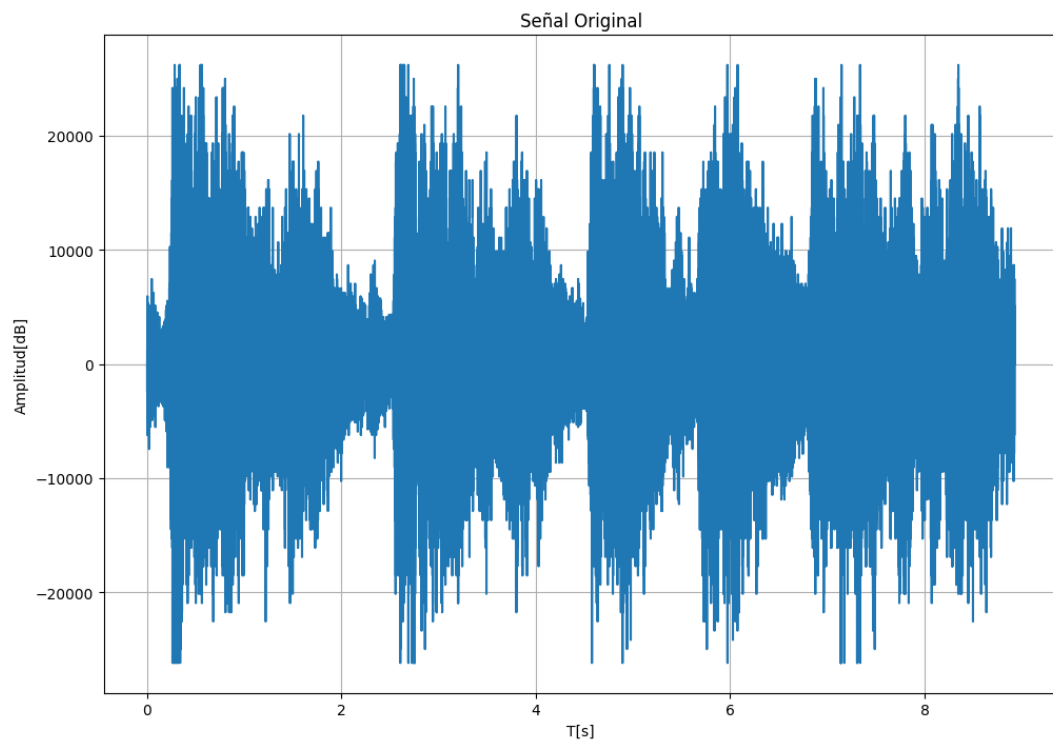


Figura 3-15: Señal original

4. Análisis de Resultados

A partir de los resultados obtenidos en la sección anterior del documento, se pueden realizar las siguientes observaciones.

Para el caso de la modulación AM, se puede observar que el ancho de banda utilizado siempre será el doble del ancho de banda de la señal original (figuras 7-15, 7-16 y 7-17 del Anexo 1), independiente de cuál sea el porcentaje de modulación. Los principales usos de este tipo de modulación son las radios en dos direcciones como los walkie-talkie (debido a que se necesita un ancho de banda de pequeño tamaño) y las radios utilizadas por aviones (esto sirve para las señales de emergencia, dado que si existe interferencia entre dos señales AM estas se suman y se escuchan ambas al mismo tiempo).

Por otro lado, de los resultado obtenidos de la modulación FM, se observa que el parámetro que varía dependiendo del porcentaje de modulación corresponde al ancho de banda utilizado (figuras 7-21, 7-22 y 7-23 del Anexo 1). Esta modulación, al ser más resistente a los distintos tipos de ruido, se emplea en la transmisión de todo tipo de señales de alta calidad o cuyo ambiente presente un gran nivel de ruido, como radio FM, telemetría, radares en general, encefalogramas, entre otros.

Si bien en los gráficos obtenidos no es visible, al momento de aplicar una modulación AM a un 125 % (figura 7-14 del Anexo 1), se genera sobremodulación. Este fenómeno no es deseable porque la envolvente de la señal modulada se ve alterada; esto produce aliasing, ya que la señal que se recupera al demodular es distinta a la señal original al contener distorsión (esto se puede comprobar al escuchar el archivo de audio generado por la solución implementada, se recomienda escuchar a un volumen bajo). Debido a que en los gráficos generados no es posible ver el efecto en acción, en la figura 4-16³ se puede ver un ejemplo de un caso de sobremodulación sobre una onda a un 150 %.

³Imagen recuperada de <https://electronics.stackexchange.com/questions/290932/how-does-a-diode-rectify-an-alternating-electrical-signal-from-an-antenna-in-a>.

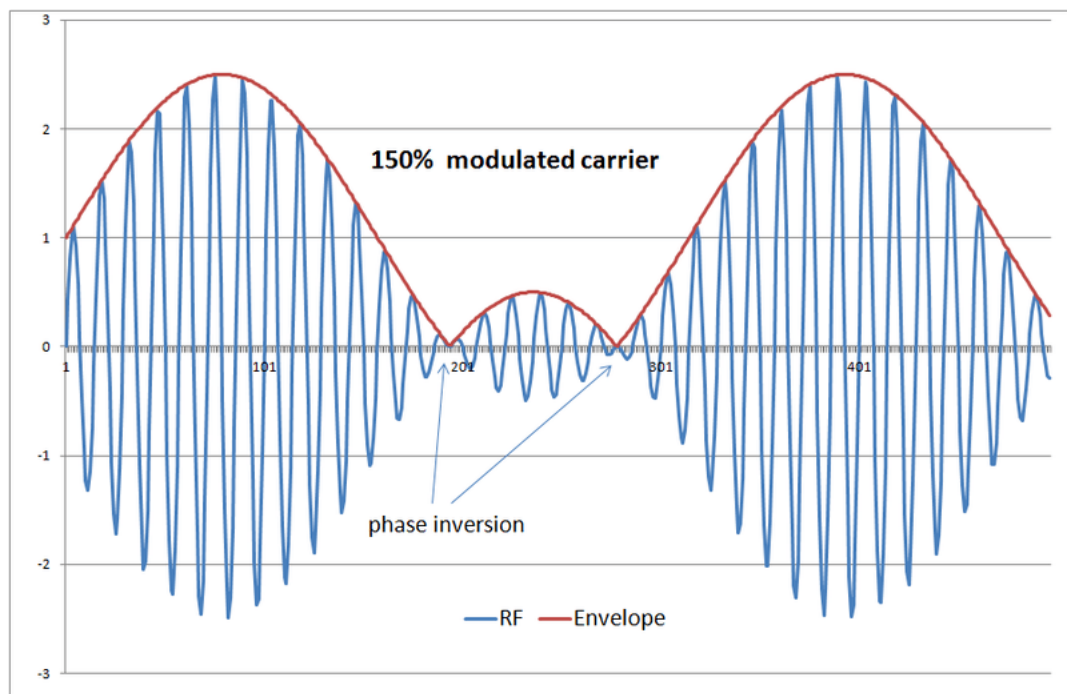


Figura 4-16: Sobremodulación de una onda a un 150 %

Para el caso de la modulación AM, es posible observar que la amplitud de la señal modulada crece con un porcentaje de modulación más grande (ver figuras 7-12, 7-13 y 7-14 en el capítulo 7). Esto se traduce en un efecto indeseable: un gasto energético mayor. Es por este efecto que es más recomendable modular a menores porcentajes para reducir la energía utilizada en el proceso.

De forma paralela, en la modulación FM, se puede observar que el ancho de banda utilizado por la señal modulada es mayor a medida que crece el porcentaje de modulación (esta variación se puede observar en mayor detalle en los espectrogramas presentados en el Anexo 1, correspondientes a las figuras 7-21, 7-22 y 7-23). Luego, como se sabe que las frecuencias son un recurso limitado y uno de los objetivos del campo de las telecomunicaciones es reducir el ancho de banda empleado por una señal, también es recomendable modular a un porcentaje menor.

5. Conclusiones

A partir de los resultados presentados en la sección de “Desarrollo” y el análisis sobre ellos que se realizó en la sección que le sigue, se puede afirmar que se pudo cumplir el objetivo general, al poder implementar ambos tipos de modulación y la demodulación mencionada en la introducción.

Respecto a los objetivos específicos, estos también se pudieron cumplir:

- Respecto a la modulación AM:

- Se logra comprender que para enviar un mensaje esta altera la amplitud de una onda portadora a partir de un mensaje específico.
- Se entiende que las principales ventajas de esta modulación son una fácil implementación y el uso de un ancho de banda pequeño en comparación a la modulación FM.
- Se entiende que las principales desventajas de esta modulación son su alto consumo energético con porcentajes de modulación alto (dado que a mayor amplitud se usa más energía) y su alta vulnerabilidad al ruido aditivo.

- Respecto a la modulación FM:

- Se logra comprender que para enviar un mensaje esta altera la frecuencia inmediata de una señal portadora dependiendo del mensaje que se desee enviar.
- Se entiende que sus ventajas principales son una alta tolerancia al ruido aditivo y un bajo consumo energético, debido a que su amplitud varía entre valores determinados por la onda portadora, por lo que si la portadora es pequeña la amplitud de la modulada y la energía utilizada para su transmisión también lo serán.
- Se entiende que entre sus principales desventajas se pueden encontrar su difícil implementación y el uso de un mayor ancho de banda a medida que el índice de modulación aumenta.

- Respecto a la demodulación AM:

- Se logra comprender que para recuperar la señal original se debe multiplicar por la misma onda portadora empleada para modular.
- Se entiende que el proceso de demodulación genera una pérdida de energía en la señal la que se puede arreglar al amplificar la señal recuperada.

Algunas de las dificultades encontradas al momento de desarrollar la solución implementada son:

- Al momento de crear la onda portadora, en un principio no se consideró el teorema del muestreo al generar el vector de muestras que le correspondía, lo que entregaba una onda errónea.
- Una vez que se solucionó el problema anterior, se tuvo que investigar una manera de interpolar el audio original para que tuviera el mismo número de muestras que la onda portadora.
- La función “linspace” de “numpy” generaba errores al momento de crear vectores de muestras. Es por esto que fue necesario utilizar la función “arange” en su lugar.
- Encontrar un método para calcular la modulación FM. Fue necesario buscar una forma de calcular una integral acumulativa.

6. Bibliografía y Documentación

- [1] Smillie, G. (1999). *Analogue and Digital Communication Techniques*. Butterworth-Heinemann.

7. Anexo 1

En el anexo actual se incluyen todas las imágenes generadas por la solución implementada. Por motivos de orden estos se ordenan en subsecciones.

7.1. Señal original

Un gráfico de la señal original se presenta en la figura 7-17

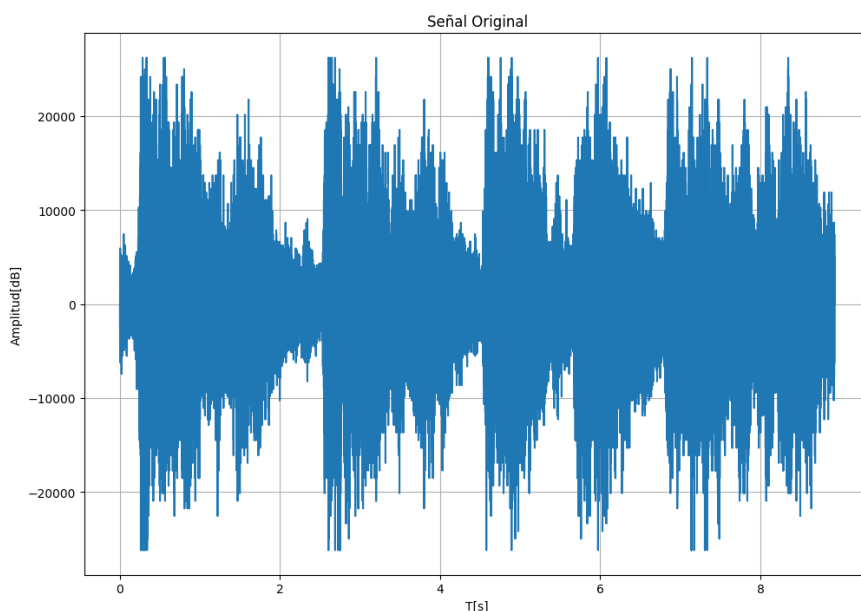


Figura 7-17: Señal original.

7.2. Modulación AM

Las señales moduladas a un 15 %, 100 % y 125 % se pueden ver en las figuras 7-18, 7-19 y 7-20 respectivamente.

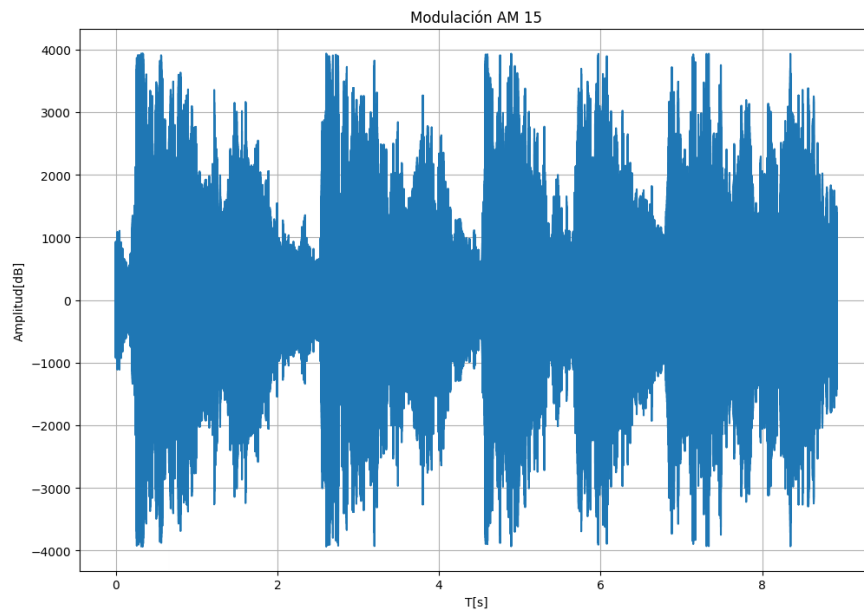


Figura 7-18: Modulación AM a un 15 %.

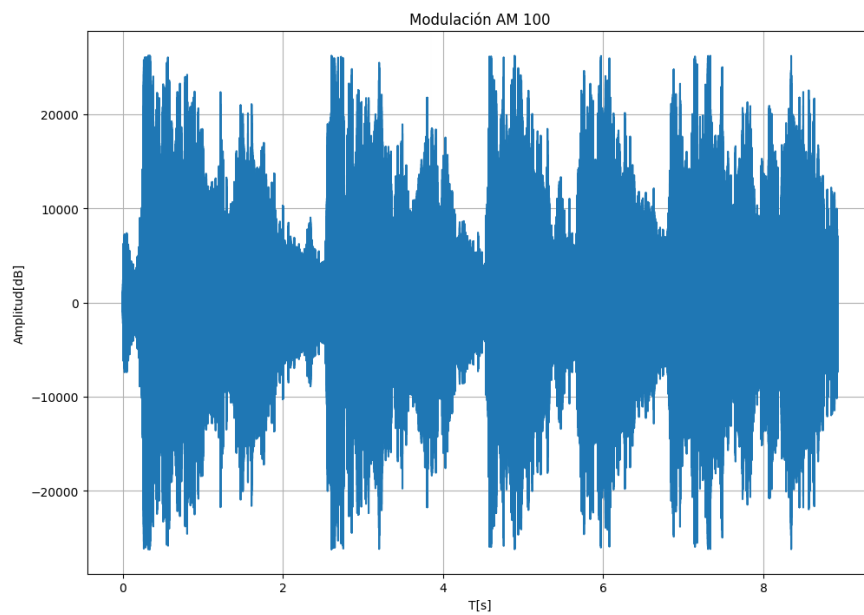


Figura 7-19: Modulación AM a un 100 %.

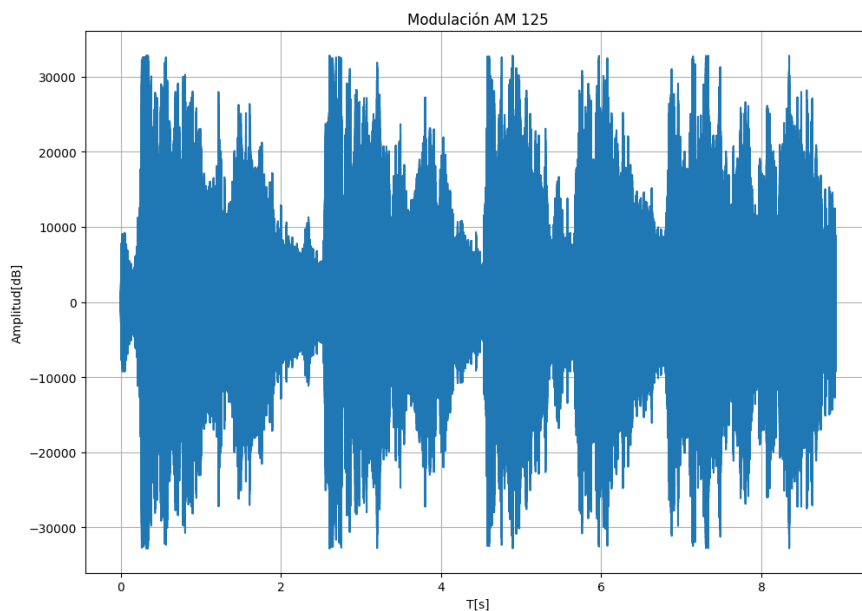


Figura 7-20: Modulación AM a un 125 %.

En las figuras 7-21, 7-22 y 7-23 se pueden ver las transformadas en los tres casos de modulación (15 %, 100 % y 125 % respectivamente).

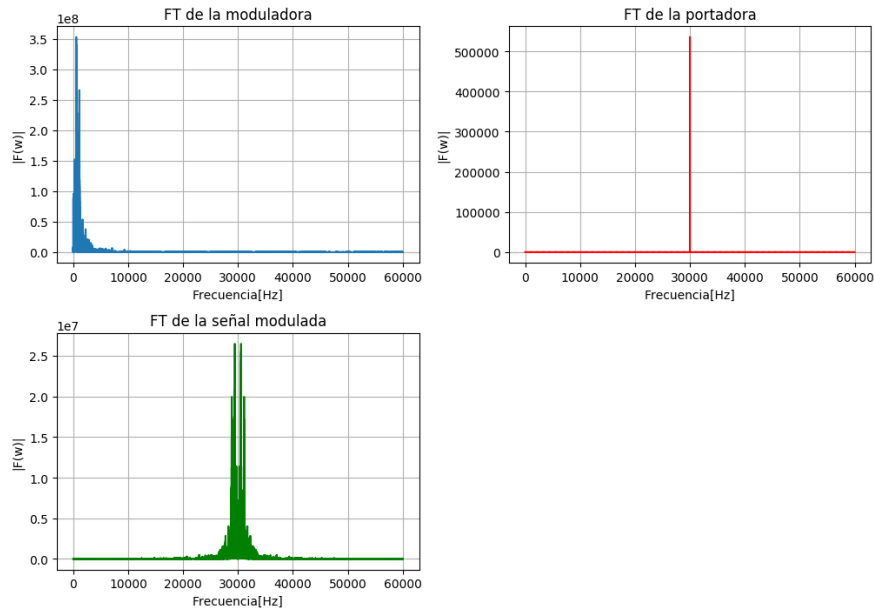


Figura 7-21: Transformadas de la modulación AM a un 15 %.

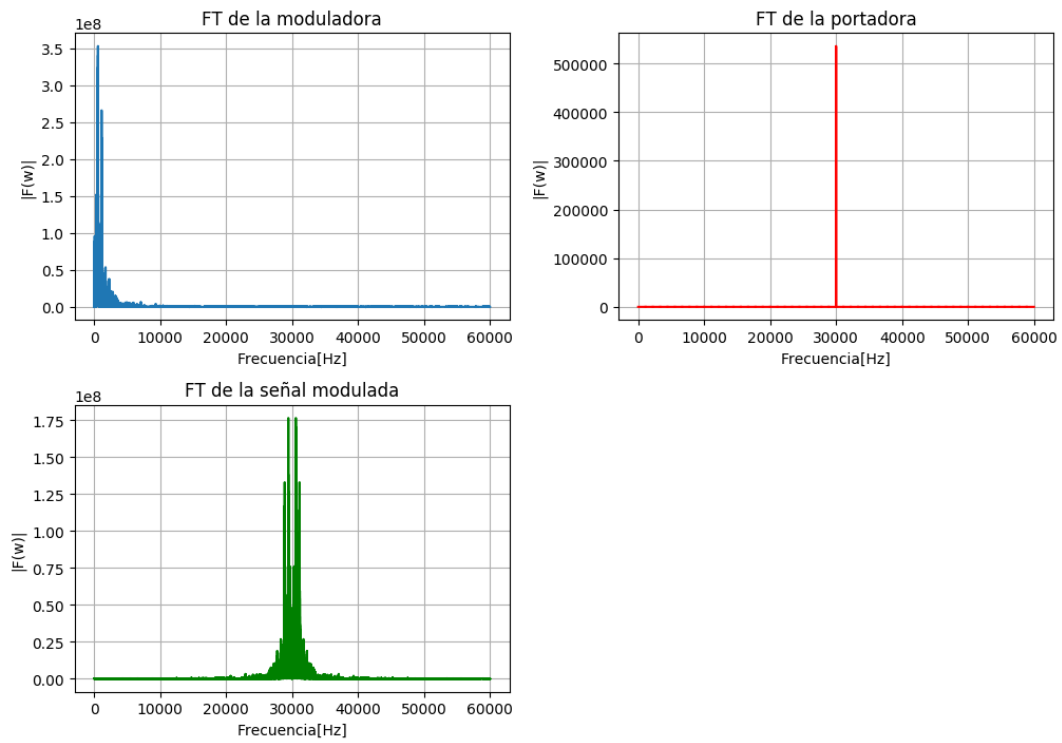


Figura 7-22: Transformadas de la modulación AM a un 100 %.

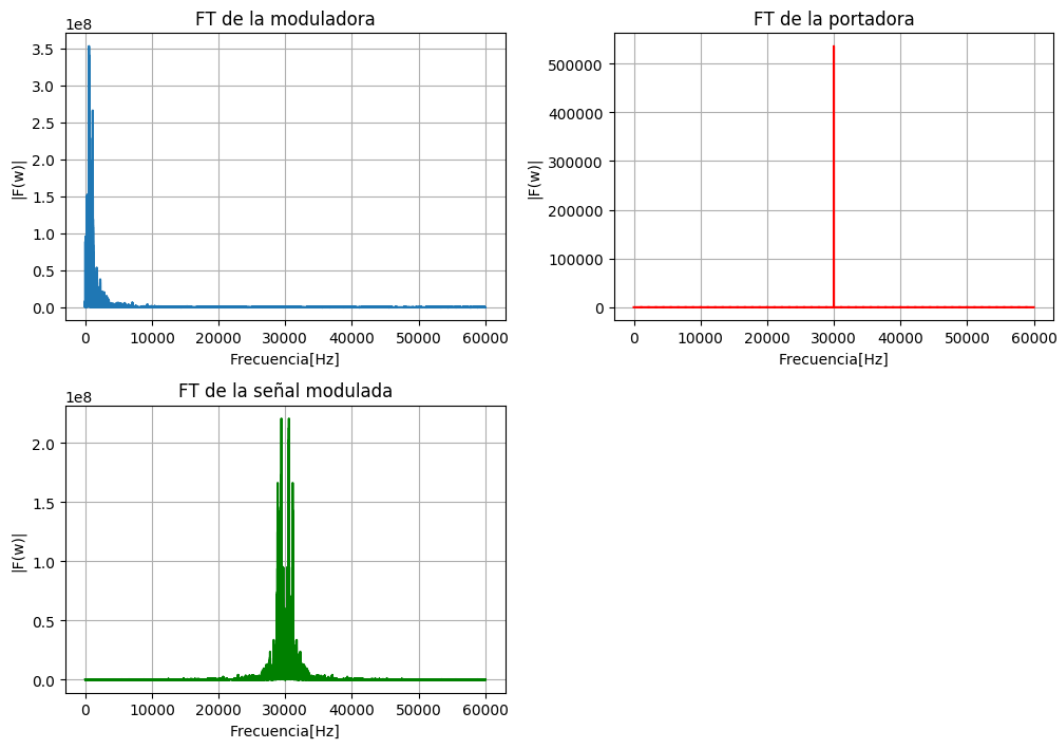


Figura 7-23: Transformadas de la modulación AM a un 125 %.

7.3. Modulación FM

Los resultados de aplicar una modulación FM a la señal original se pueden ver en las figuras 7-24, 7-25 y 7-26. Estas corresponden únicamente a una porción de la señal, para que los resultados sean visibles.

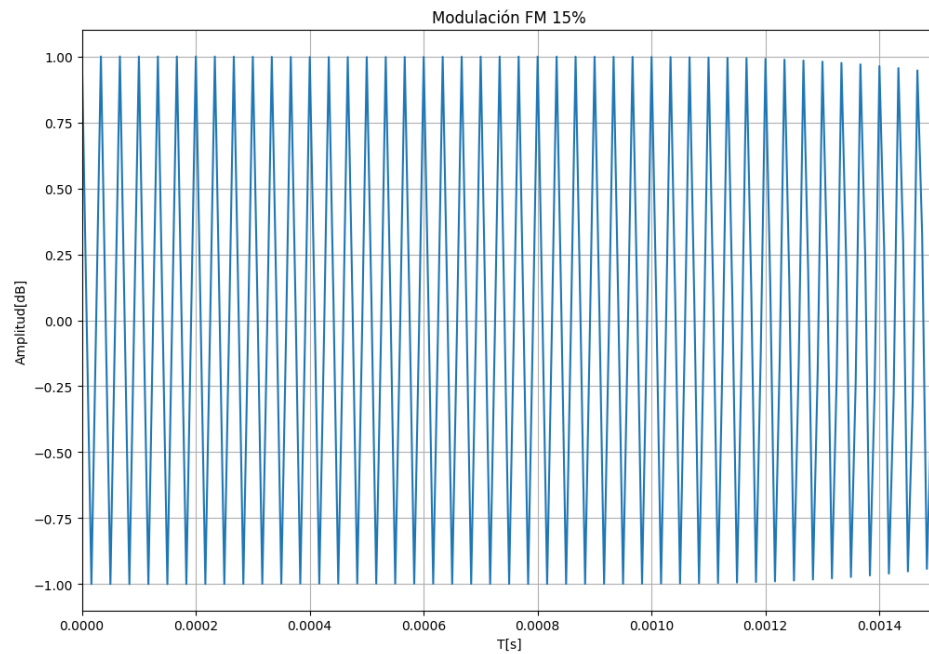


Figura 7-24: Modulación FM a un 15 %.

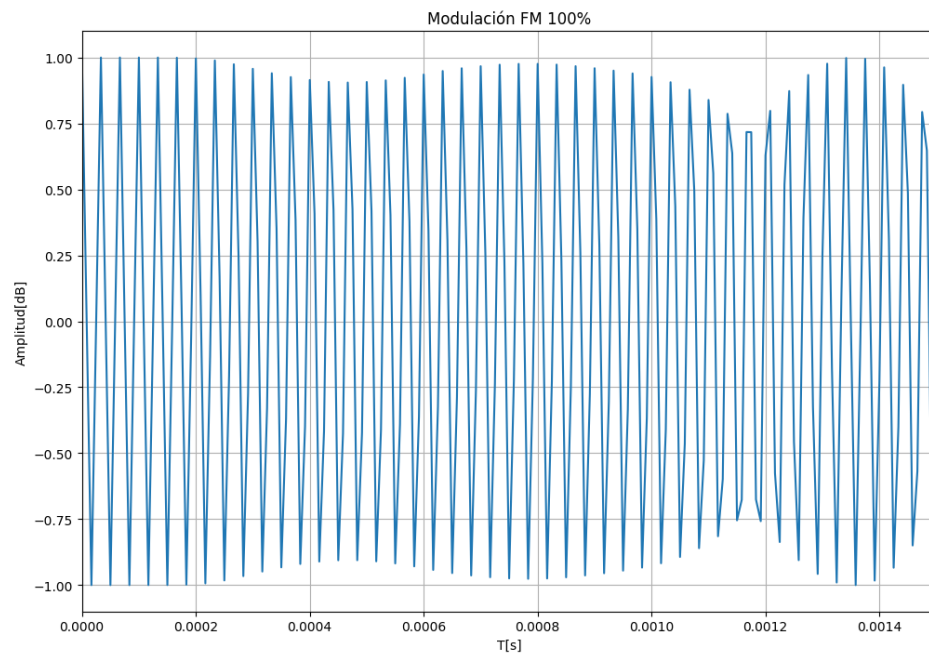


Figura 7-25: Modulación FM a un 100 %.

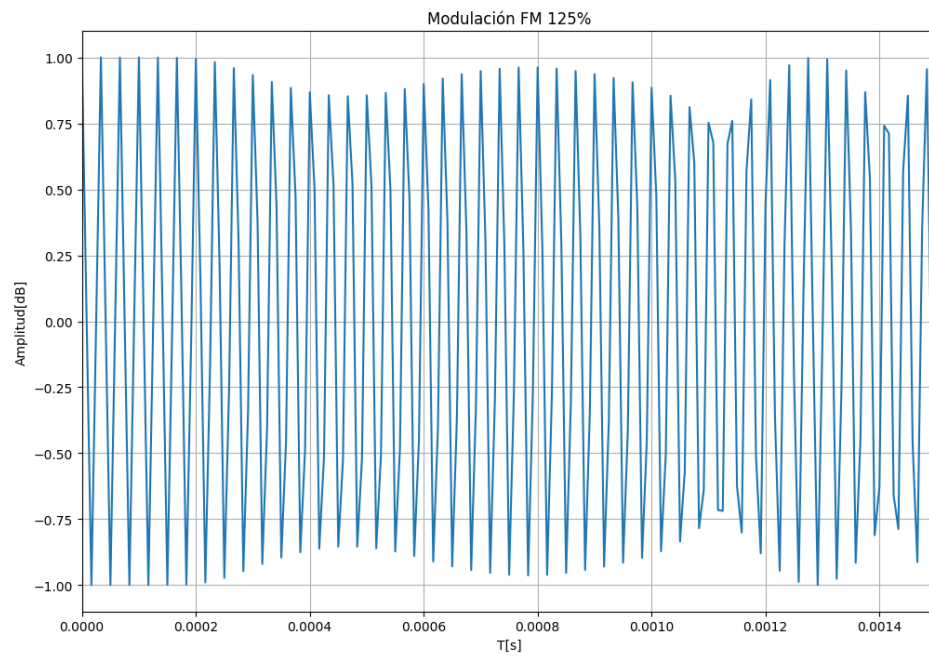


Figura 7-26: Modulación FM a un 125 %.

Los espectrogramas de las modulaciones FM con distintos porcentajes se pueden ver en las figuras 7-27, 7-28 y 7-29.

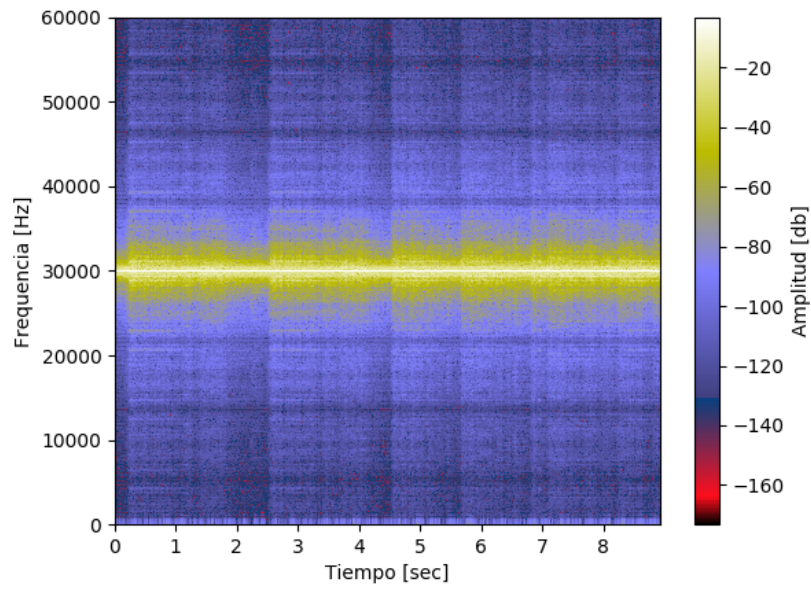


Figura 7-27: Espectrograma de la modulación FM a un 15 %.

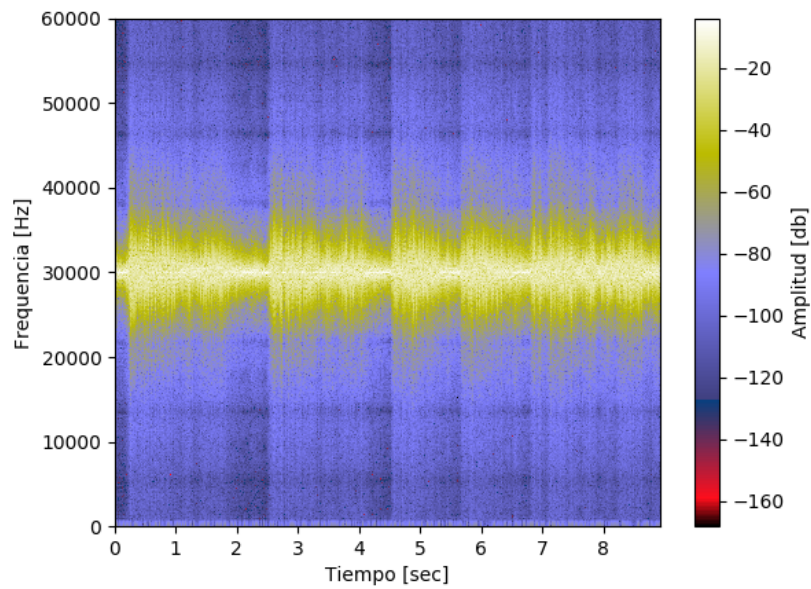


Figura 7-28: Espectrograma de la modulación FM a un 100 %.

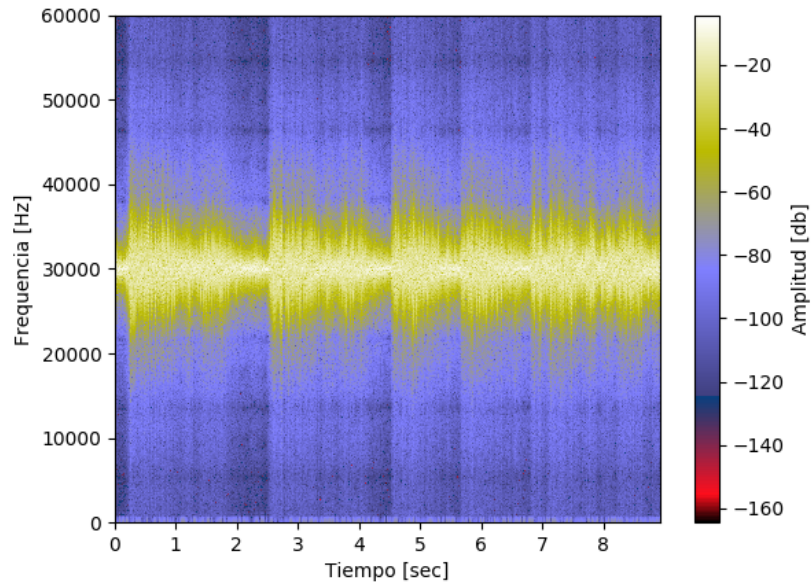


Figura 7-29: Espectrograma de la modulación FM a un 125 %.

Finalmente, las transformadas de todas las señales involucradas en la modulación FM se pueden observar en las figuras 7-30, 7-31 y 7-32.

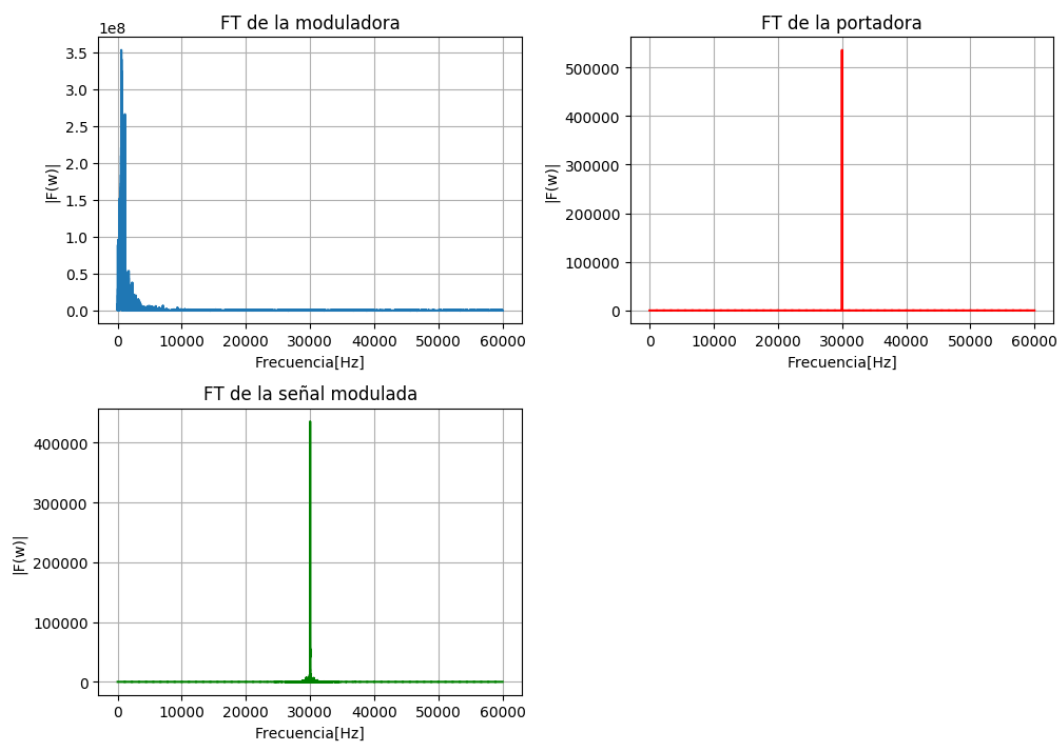


Figura 7-30: Transformadas de la modulación FM a un 15 %.

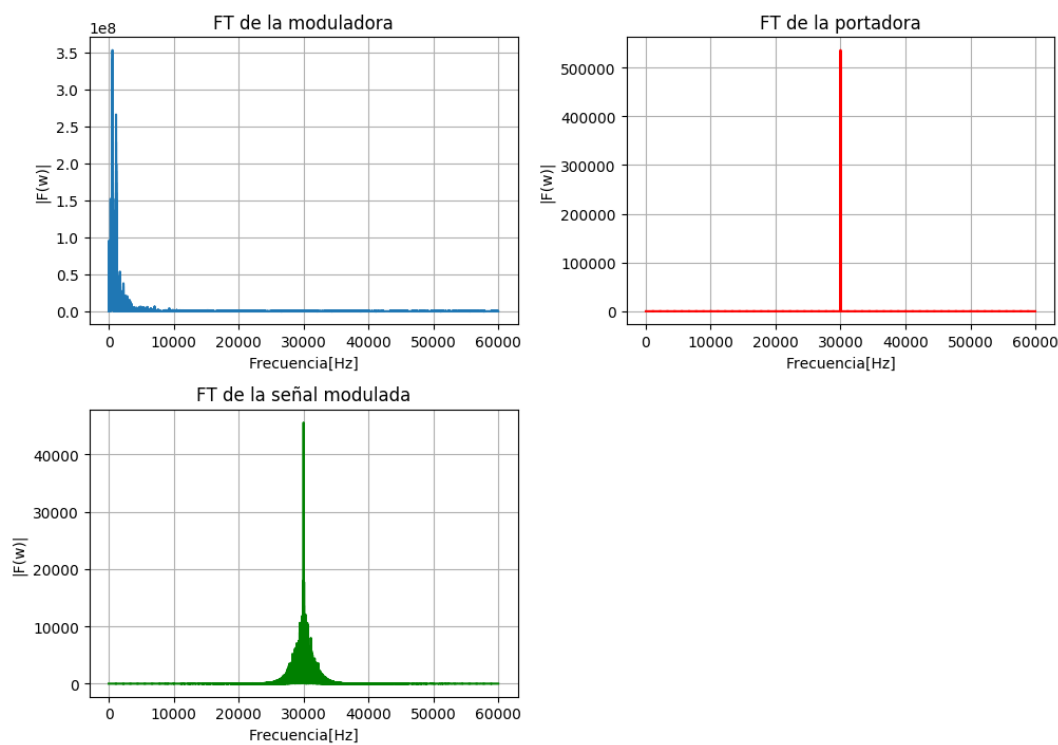


Figura 7-31: Transformadas de la modulación FM a un 100 %.

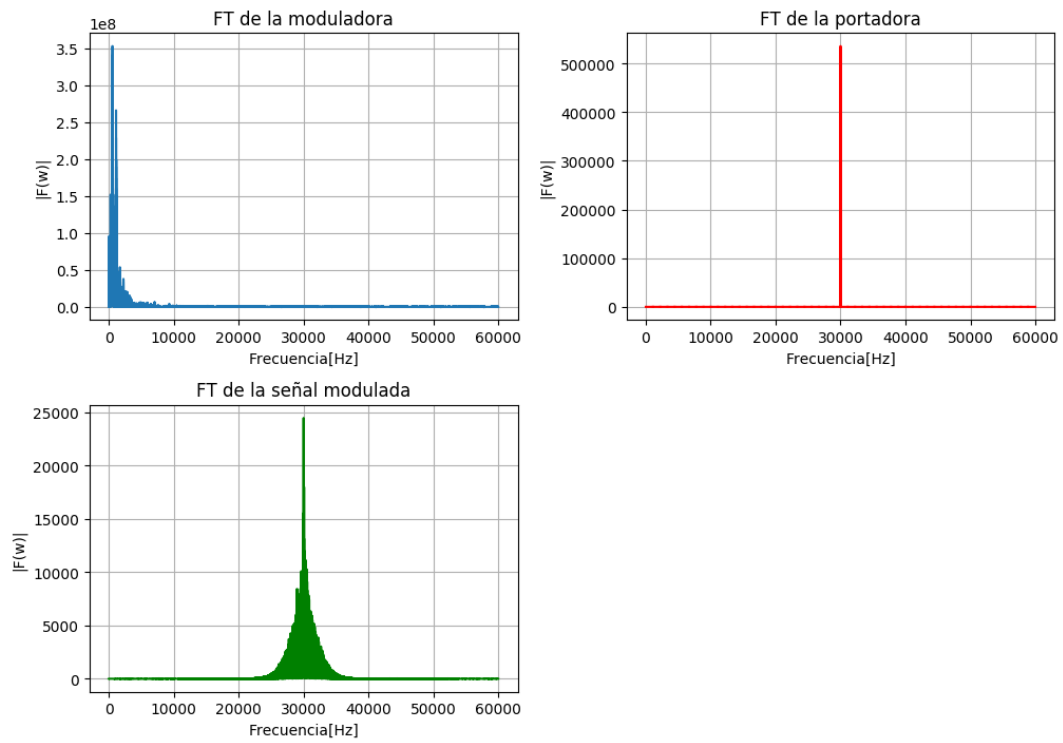


Figura 7-32: Transformadas de la modulación FM a un 125 %.

7.4. Demodulación AM

La señales resultantes de demodular los casos de modulación AM en un 15 %, 100 % y 125 % se ven en las figuras 7-33, 7-34 y 7-35 respectivamente.

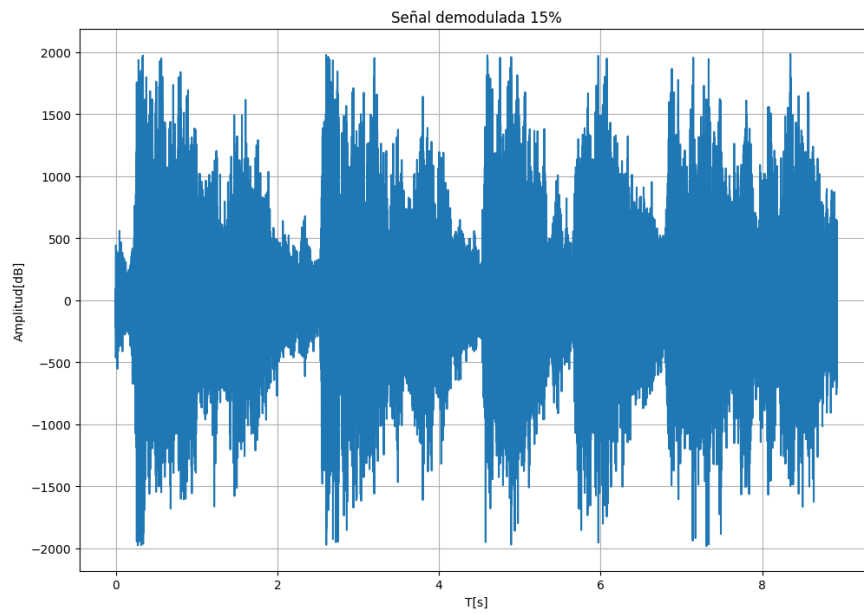


Figura 7-33: Demodulación AM de la modulación a 15 %.

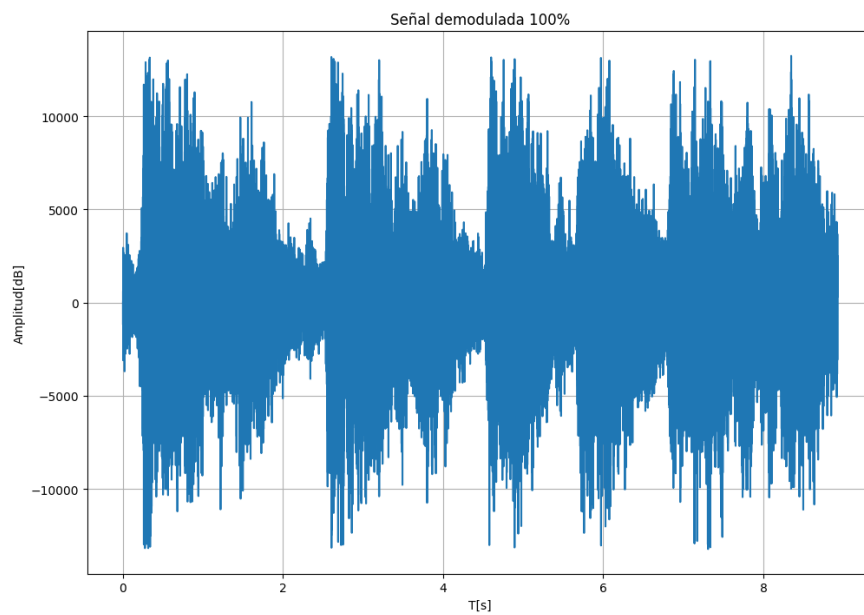


Figura 7-34: Demodulación AM de la modulación a 100 %.

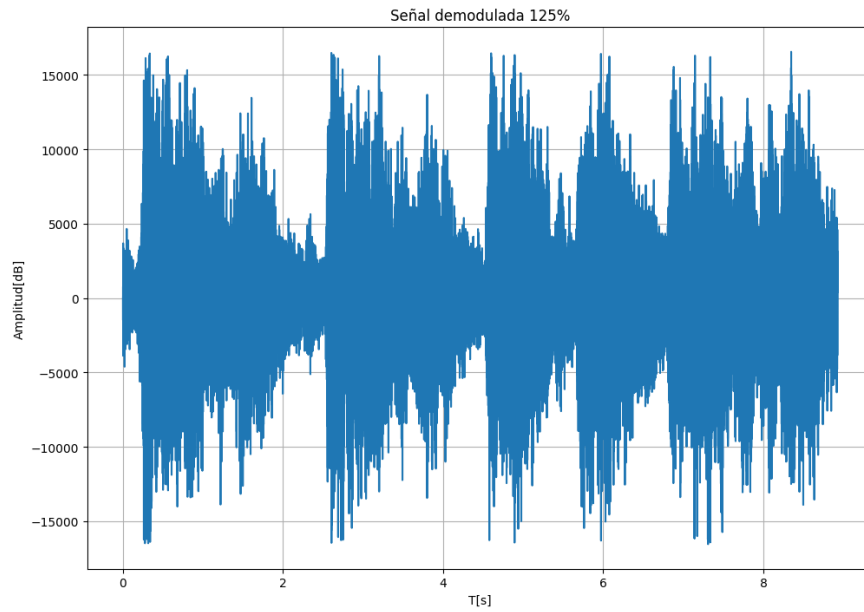


Figura 7-35: Demodulación AM de la modulación a 125 %.

Las transformadas de las señales resultantes de demodular se ven en las figuras 7-36, 7-37 y 7-38.

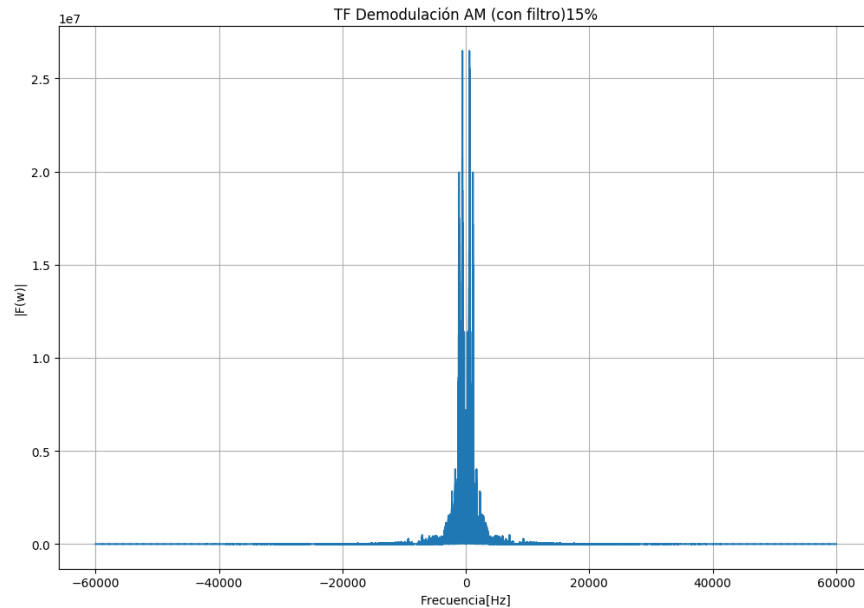


Figura 7-36: Transformada de la demodulación AM a 15 % (con filtro).

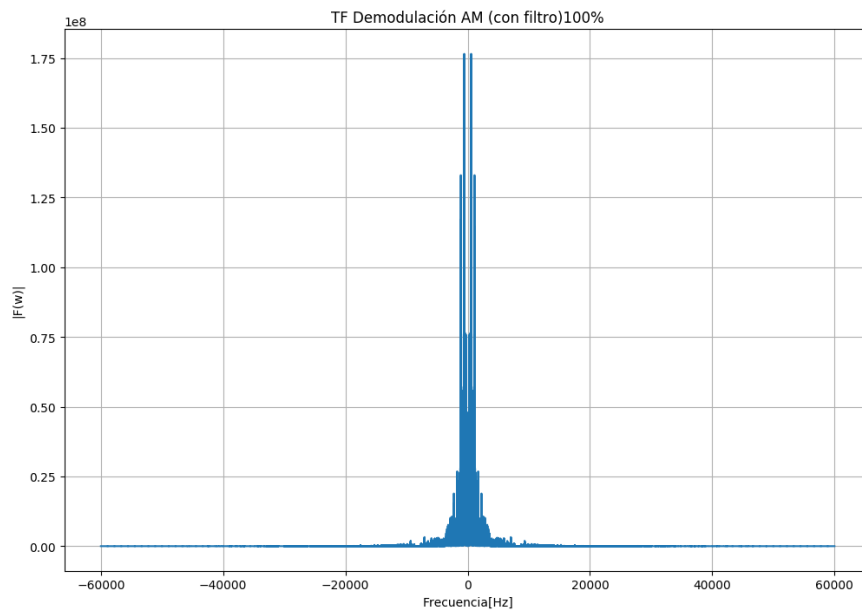


Figura 7-37: Transformada de la demodulación AM a 100 % (con filtro).

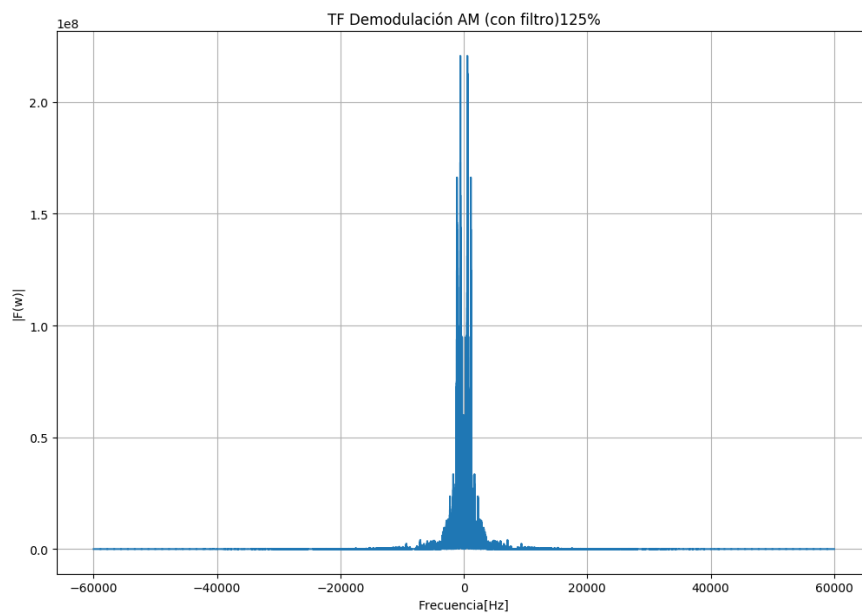


Figura 7-38: Transformada de la demodulación AM a 125 % (con filtro).

8. Anexo 2 - Manual de Uso

Para hacer uso de la solución implementada bajo un sistema operativo linux, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Abrir una terminal y dirigirse al directorio del código fuente por medio del comando “cd”. En el caso de la figura 8-39, este corresponde a “Escritorio/Lab-redes-4/”.

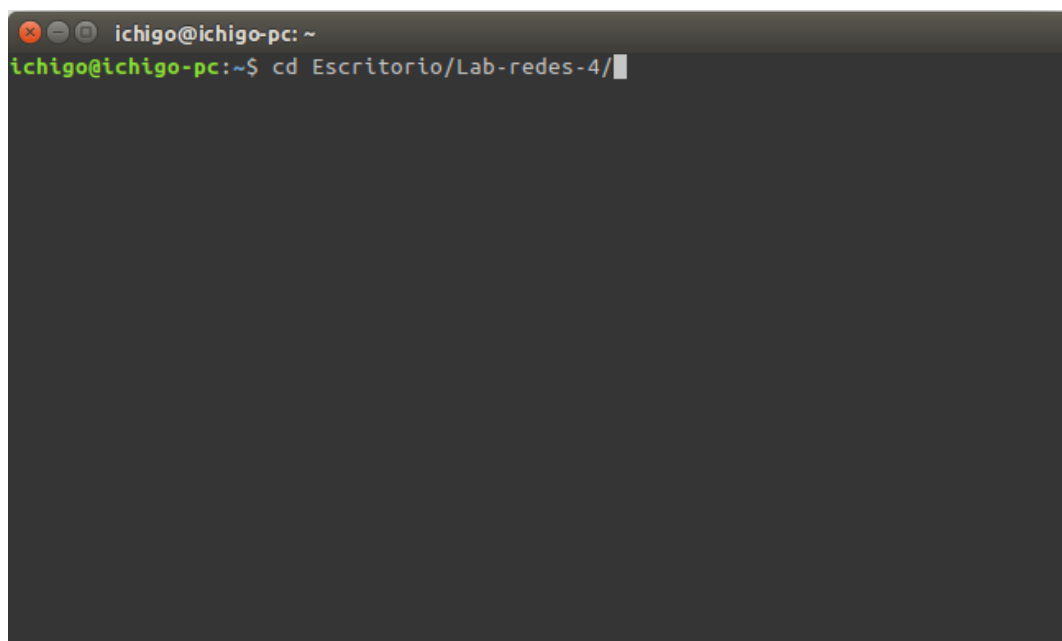
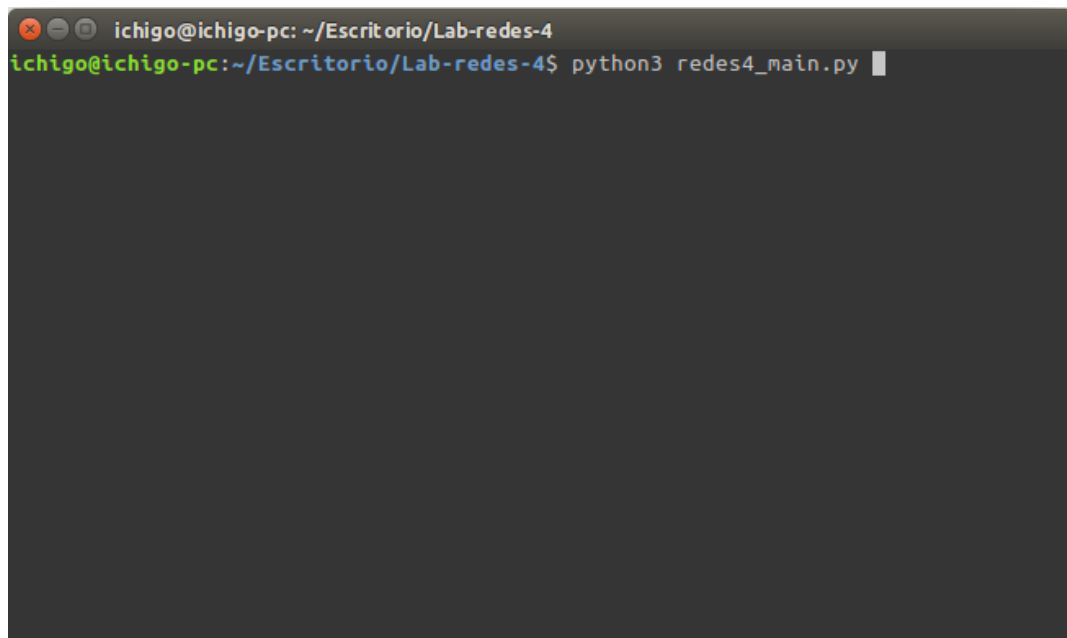
A screenshot of a terminal window with a dark background. The title bar at the top shows three window control buttons (red, yellow, green) followed by the text 'ichigo@ichigo-pc: ~'. The terminal content shows the prompt 'ichigo@ichigo-pc:~\$' followed by the command 'cd Escritorio/Lab-redes-4/' which has been entered and is followed by a cursor. The rest of the terminal area is empty.

Figura 8-39: Comando de terminal para dirigirse a la ruta del código fuente.

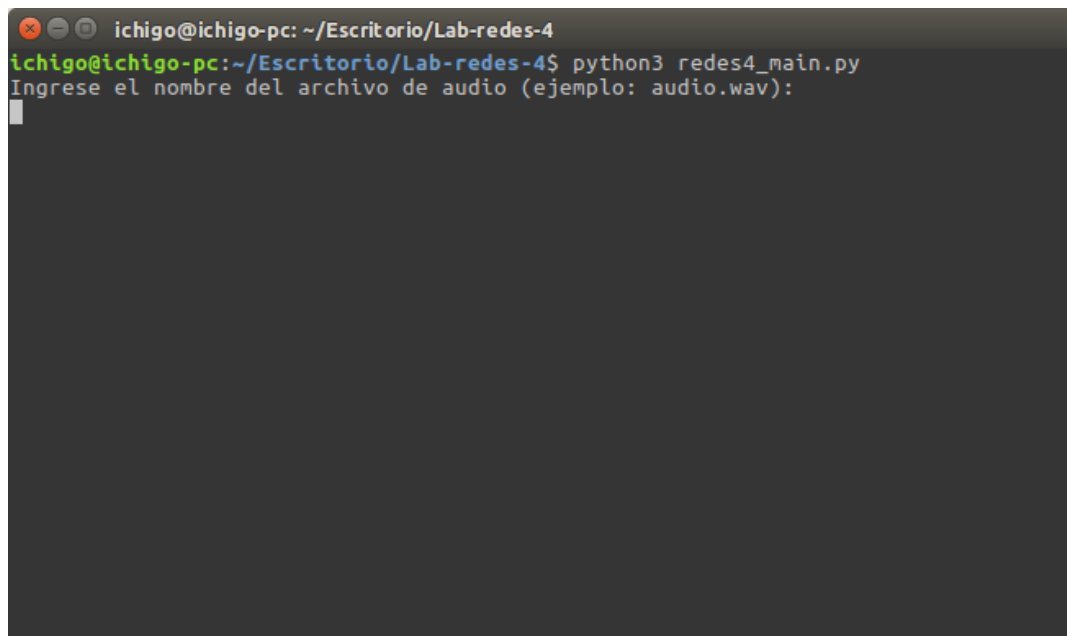
2. Una vez en el directorio, se debe insertar el comando “python3 redes4_main.py” en la terminal y presionar enter, como se puede observar en la figura 8-40.

A terminal window with a dark background. The title bar shows 'ichigo@ichigo-pc: ~/Escritorio/Lab-redes-4'. The prompt is 'ichigo@ichigo-pc:~/Escritorio/Lab-redes-4\$' and the command entered is 'python3 redes4_main.py'.

```
ichigo@ichigo-pc: ~/Escritorio/Lab-redes-4
ichigo@ichigo-pc:~/Escritorio/Lab-redes-4$ python3 redes4_main.py
```

Figura 8-40: Comando para ejecutar la solución implementada.

3. Si los pasos anteriores han sido ejecutados con éxito, en la terminal se debe ver el mensaje presentado en la figura 8-41.

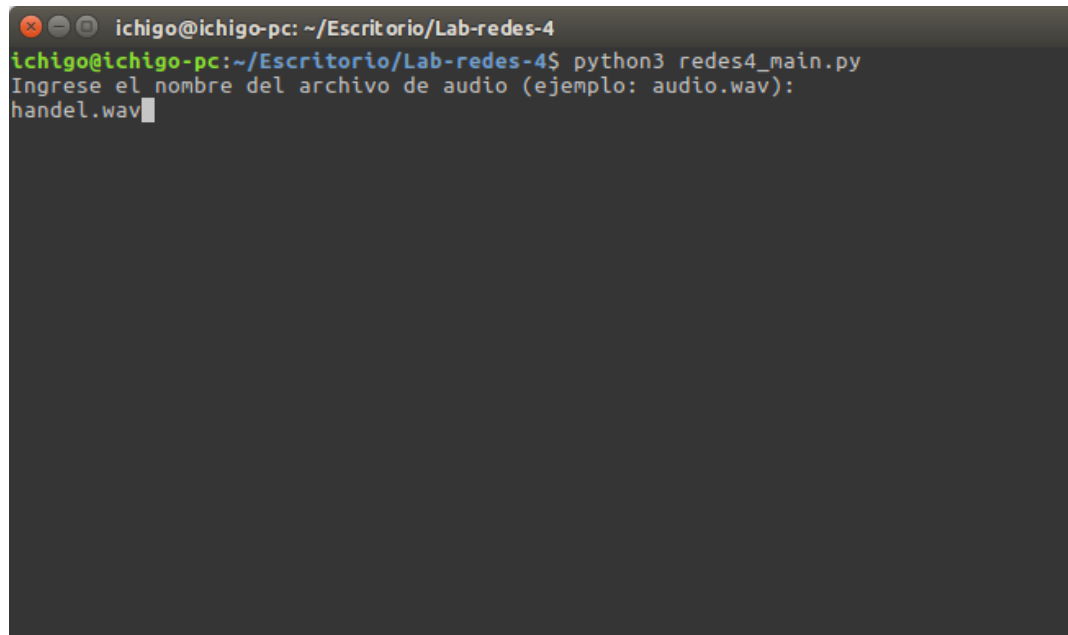
A terminal window with a dark background. The title bar shows 'ichigo@ichigo-pc: ~/Escritorio/Lab-redes-4'. The prompt is 'ichigo@ichigo-pc:~/Escritorio/Lab-redes-4\$' and the command entered is 'python3 redes4_main.py'. The output is 'Ingrese el nombre del archivo de audio (ejemplo: audio.wav):'.

```
ichigo@ichigo-pc: ~/Escritorio/Lab-redes-4
ichigo@ichigo-pc:~/Escritorio/Lab-redes-4$ python3 redes4_main.py
Ingrese el nombre del archivo de audio (ejemplo: audio.wav):
```

Figura 8-41: Solución implementada corriendo en la terminal.

4. Luego, es necesario ingresar en la terminal el nombre del archivo de audio que se

desea utilizar. Es importante notar que este debe estar en la misma ruta que el código fuente. Para el ejemplo presentado en la figura 8-42, se utiliza un archivo de audio de nombre “handel.wav”.



```
ichigo@ichigo-pc: ~/Escritorio/Lab-redes-4
ichigo@ichigo-pc:~/Escritorio/Lab-redes-4$ python3 redes4_main.py
Ingrese el nombre del archivo de audio (ejemplo: audio.wav):
handel.wav
```

Figura 8-42: Ingreso del nombre del archivo de audio.

5. Una vez que se ingresa el nombre del archivo de audio, el programa continua su ejecución, indicando por la terminal los pasos que se están ejecutando indicando cuándo termina la ejecución con el mensaje “Proceso finalizado!”, como se puede observar en la figura 8-43.

```
ichigo@ichigo-pc: ~/Escritorio/Lab-redes-4
ichigo@ichigo-pc:~/Escritorio/Lab-redes-4$ python3 redes4_main.py
Ingrese el nombre del archivo de audio (ejemplo: audio.wav):
handel.wav
AM 15% en progreso... OK!
AM 100% en progreso... OK!
AM 125% en progreso... OK!
FM 15% en progreso... OK!
FM 100% en progreso... OK!
FM 125% en progreso... OK!
Proceso finalizado!
ichigo@ichigo-pc:~/Escritorio/Lab-redes-4$
```

Figura 8-43: Ejecución completa de la solución implementada.

6. Una vez finalizada la ejecución de la solución, es posible observar que los gráficos y archivos de audio generados son almacenados en las carpetas “graphs” y “audio” respectivamente, las que son generadas de manera automática.