

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



Laboratorio 1

Integrantes: Felipe Cornejo
Curso: Redes de computadores
Profesor: Carlos González
Ayudante: Nicole Reyes

10 de Diciembre de 2021

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Marco Teórico	2
2.1. Amplitud	2
2.2. Pulso	2
2.3. Señales	3
2.3.1. Señales Análogas	3
2.3.2. Señales Digitales	3
2.4. Serie de Fourier	4
2.5. Transformada de Fourier	4
2.6. Tiempo	5
2.7. Frecuencia	5
2.8. Filtros	5
2.8.1. FIR	5
2.9. Ruido	5
3. Desarrollo de la experiencia	6
3.1. Parte 1: Carga de señales	6
3.2. Parte 2: Visualización de señales	6
3.3. Parte 3: Transformadas de Fourier	8
3.4. Parte 4: Espectrogramas	9
3.5. Parte 6: Discusión de primeros datos	11
3.6. Parte 7: Aplicación de Ruido	12
3.7. Parte 8: Aplicación de Filtro	14
3.8. Parte 9: Comparación	17
4. Análisis de resultados	19
5. Conclusión	20
Bibliografía	21

1. Introducción

El mundo digital además de estar compuesto de hardware y software, existe una parte esencial el cual será la misma información y datos que se procesan, codifican, envían, entre muchas operaciones más. Por ello, es necesario estudiar la naturaleza de estos datos y poner a prueba herramientas para el estudio sobre **Señales**. Un dispositivo recibe información en forma de señales, los cuales su origen puede ser variado, señales digitales por subidas y bajas de voltaje, señales de audio por un micrófono, señales de imágenes por una cámara, etc. Cada señal puede tener varios datos importantes, sin importar el origen de esta, acerca de la información que lleva, lo cual se hablará más adelante en este documento.

En este informe, como objetivo principal se detallará el estudio de una señal de audio utilizando señales sobre un software creado por los autores bajo el lenguaje de programación Python(3.10x), haciendo uso de la **Transformada de Fourier** como herramienta principal para su análisis, junto con espectrogramas para visualizar el **Ruido** o perturbaciones en la señal recibida. Adicional a este se deberá agregar el ruido a la señal, como resultado de la suma de la señal original junto con la señal del ruido, y con algún tipo de filtro poder eliminar el ruido o la mayor parte de este.

Como objetivos secundarios a este informe se analizará mediante gráficos y espectrogramas el estudio y transformaciones de las señales a lo largo de la experiencia para comprobar propiedades de la Transformada de Fourier y la eficiencia de los filtros sobre la señal perturbada.

2. Marco Teórico

2.1. Amplitud

La amplitud en aspectos de señales, es una medida que nos expresa la variación máxima del desplazamiento comparado al equilibrio medio de la señal o la magnitud de una onda de tensión o de corriente, la unidad de medida de la amplitud es en decibel (dB) dado a las señales acústicas que se presentan - Edelman (2011).

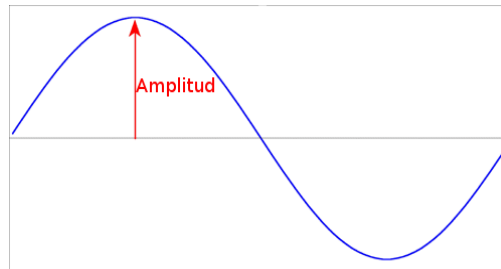


Figura 1: Representación de la Amplitud en una señal

2.2. Pulso

Un pulso se tomara como una parte de la señal o onda (en aspectos de la física), siendo la cresta o valle, es decir, va a ser la representación si es la parte más alta de la señal o la más baja.

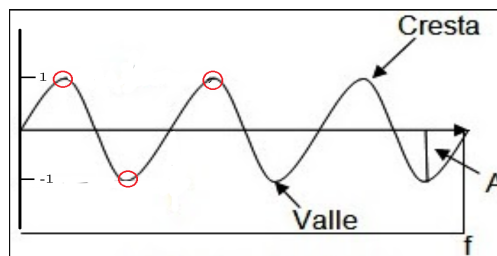


Figura 2: Representación de Crestas y Valles

2.3. Señales

Una señal es una función o onda, en este caso electromagnética que transmite información.

2.3.1. Señales Análogas

Las señales análogas se definen en Stallings (2008), como las ondas electromagnéticas que varían continuamente, y dependiendo el espectro, este puede propagarse en distintos medios como cables de fibra óptica y coaxiales, la atmósfera o el espacio. Una desventaja respecto a la señal digital es más susceptible a las interferencias de ruido, y una ventaja frente a las señales digitales, es en el ámbito de la atenuación.

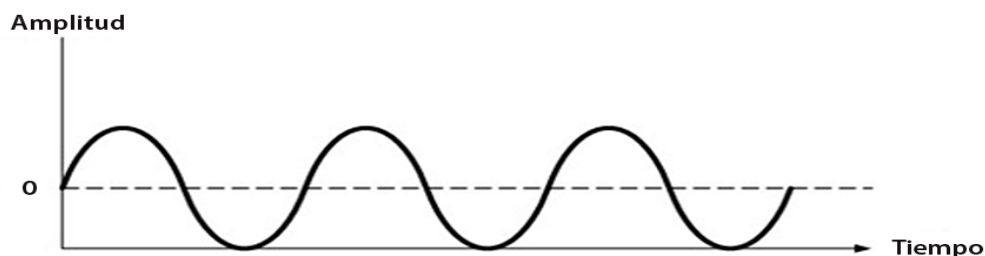


Figura 3: Representación Señal Analógica

2.3.2. Señales Digitales

Las señales digitales se definen en Stallings (2008), como las secuencias de pulsos de tensión que a través de un medio conductor se pueden transmitir, existen señales digitales tal como: la representación de un número binario a través del nivel de tensión constante positiva y negativa (0 y 1). Contrario a las señales análogas, las señales digitales sufren menos modificaciones ante interferencias de ruido, y contrario a las análogas, estas sufren más con la atenuación.

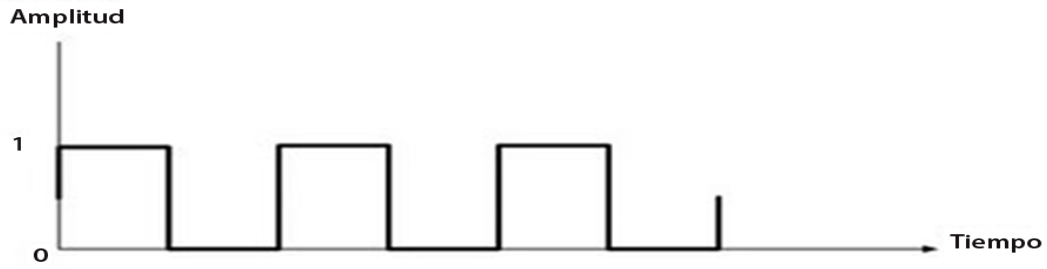


Figura 4: Representación Señal Digital

2.4. Serie de Fourier

La serie de fourier es una serie infinita, que dado una función periódica y continua convergerá, de esta manera, permite el análisis de señales periódicas (funciones periódicas).

2.5. Transformada de Fourier

La transformada de fourier va hacer la extensión de la serie de fourier en las señales no periódicas, de esta manera, nos permite analizar las funciones no periódicas, siendo de esta manera una función real f definida en dominio de t (tiempo), la transformada de fourier y su inversa se definen como:

$$\mathcal{F}[x(t)] = X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

Figura 5: Transformada de Fourier

$$\mathcal{F}^{-1}[X(f)] = x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} df$$

Figura 6: Inversa Transformada de Fourier

2.6. Tiempo

El tiempo se define como la magnitud para medir la duración de uno o más eventos, siendo representada con la variable t , su unidad de medición para las señales sera el segundo (s).

2.7. Frecuencia

Según Tipples (2011), sera la cantidad de oscilaciones de la señal, es decir, la velocidad de la señal dividido por la longitud, siendo su unidad de medición en hertz (Hz).

2.8. Filtros

Según Federico Bocco (2011), sera las operaciones que se realizan sobre una señal estando en el dominio de la frecuencia.

2.8.1. FIR

Según Oppenheim (2011) FIR es un tipo de filtros (*Finite impulse response*) los cuales consisten en moverse a través de la información o datos, promediando los valores adyacentes.

2.9. Ruido

Según Stallings (2008), será las señales no deseadas en conjunto de la señal transmitida o recibida, que resulta en una distorsión al combinarse.

3. Desarrollo de la experiencia

Esta exhaustiva y prolongada experiencia, se llevó a cabo mediante partes o etapas, las cuales se detallarán por secciones de este capítulo para un análisis específico de este experimento.

3.1. Parte 1: Carga de señales

Antes de hacer la carga, se han creado dos grabaciones de audio, respectivo a ambos autores, el cual aproximadamente tienen una duración de 10 segundos, estos se grabaron por medio de micrófonos de audífonos de mediana/alta calidad, por temas que se discutirán más adelante este audio fue descargado a su vez por una página web para grabaciones de audio gratuito¹. Los cuales se descargaron en formato *wav*.

Lo que compete a este capítulo; la carga de señales por medio del lenguaje de programación Python. Se utilizaron las librerías *Scipy* y *numpy* para leer los archivos de audio, obteniendo los parámetros de la frecuencia del audio, el cual para ambos se obtuvo un valor de 48.000 que es una muestra estándar de la función, y las amplitudes en forma de una cadena de valores o específicamente para la librería *numpy*, una *array*.

3.2. Parte 2: Visualización de señales

Esta breve sección considera la creación de una funcionalidad el cual genere un gráfico en base al tiempo y las amplitudes de la señal, gracias a la librería *matplotlib* se generan los grafos utilizando 2 parámetros importantes: el *array* de amplitudes mencionado en la sección anterior, y el tiempo del audio, el cual se traduce a dividir cada amplitud por la frecuencia y distribuirla en una *array*, eso nos dirá donde está cada punto en el eje x, desde $x = 0$ hasta $x = 10,344$ para Felipe y desde $x = 0$ hasta $x = 10,032$ para Carlos. Entre estos puntos hay al rededor de 49.000 observaciones, el cual el eje Y será la amplitud en esa fracción de tiempo².

Una observación importante en esta etapa, fue que se modifico la señal de Felipe

¹<https://online-voice-recorder.com/es/>

²<https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.io.wavfile.read.html>

para las siguientes etapas de este proyecto, ya que las amplitudes eran muy bajas para el audio del ruido y no era legible con posteriores filtros, por tanto se amplificó el audio con un software llamado Audacity.

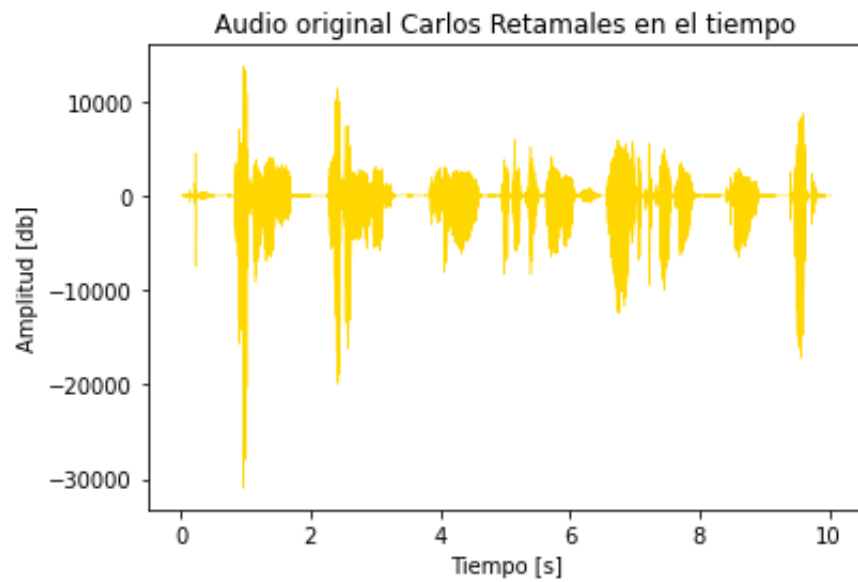


Figura 7: Audio Original Carlos Retamales.

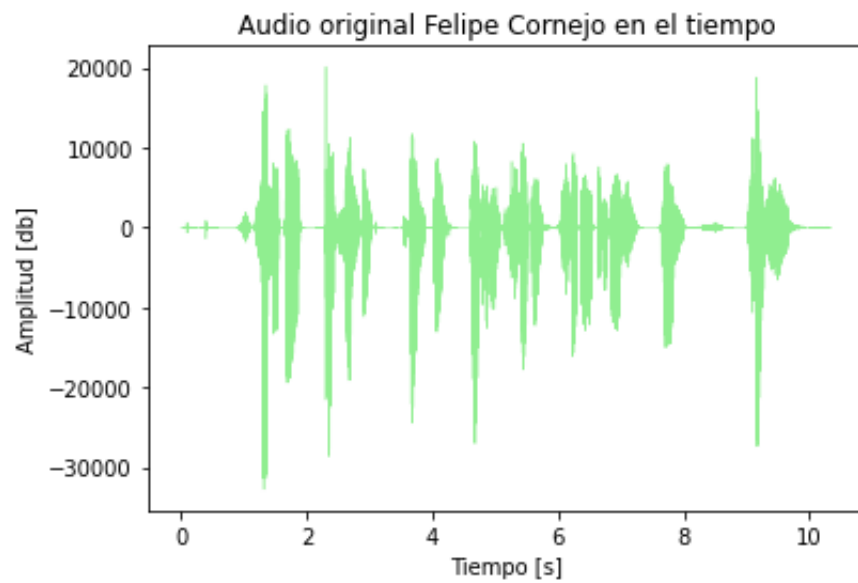


Figura 8: Audio Original Felipe Cornejo.

3.3. Parte 3: Transformadas de Fourier

Para esta etapa del experimento se aplica la Transformada de Fourier para leer las señales respecto a sus frecuencias. Por ello, se utiliza el modulo de Scipy el cual contiene un paquete para la utilización de Transformadas de Fourier, el cual se deben utilizar las funciones `fft` y `fftfreq` las cuales obtienen la Transformada de Fourier y sus frecuencias en cada punto de la transformada.

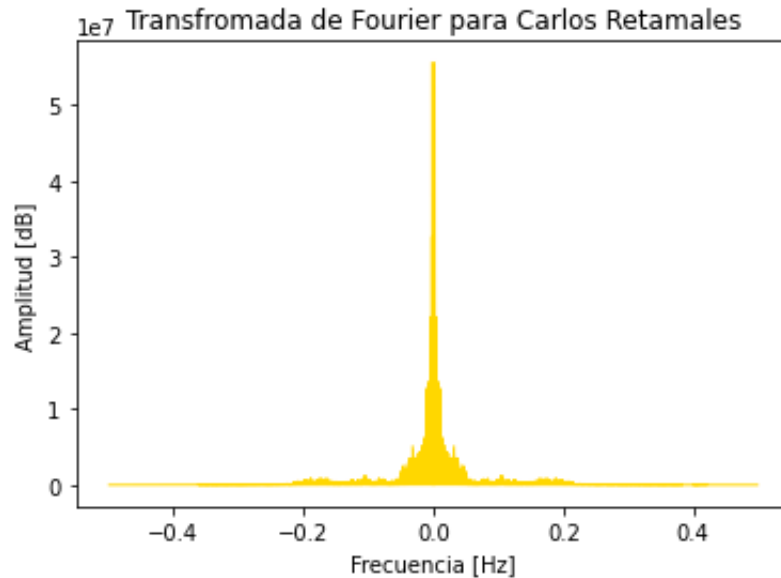


Figura 9: Transformada de Fourier Carlos Retamales.

Adicional a esto, se aplica a la Transformada su inversa para así comprobar que se puede volver a la señal anterior y revisarla en el espectro del tiempo en vez de las frecuencias como determina la Transformada de Fourier. Por tanto ambas señales deberían ser idénticas³

Como se ve en la Figura 11 y Figura 12, son idénticas a la Figura 7 u Figura 8 respectivamente. Por tanto se comprueba que se puede volver a una señal original desde una transformada, y así analizar una señal tanto por su dominio de tiempo, como sus frecuencias.

³Pero no exactamente iguales, esto debido a que al aplicar las funciones `fft`, `fftfreq` y `fftinv` hay cierto rango de error por utilizar métodos numéricos complejos, pero esto escapa del alcance de esta experiencia.

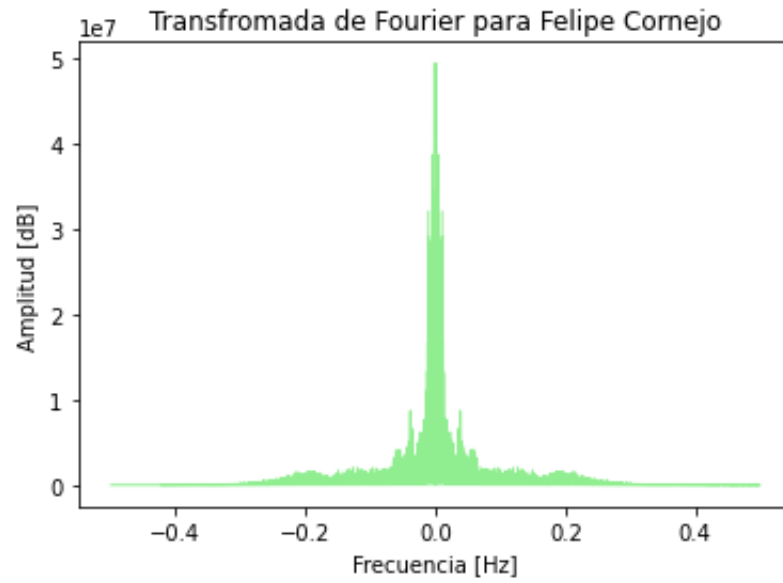


Figura 10: Transformada de Fourier Felipe Cornejo.

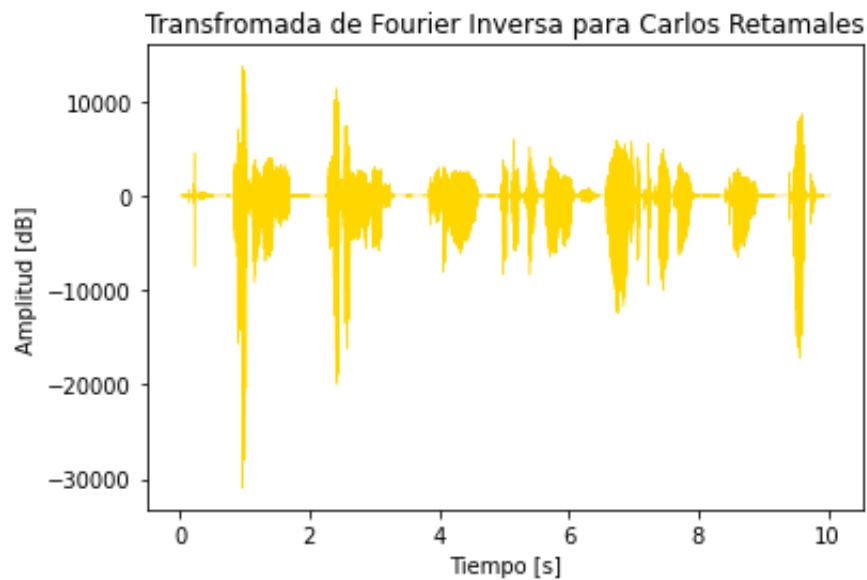


Figura 11: Transformada de Fourier Inversa Carlos Retamales.

3.4. Parte 4: Espectrogramas

Un espectrograma es la representación de la variación de frecuencia respecto al tiempo, donde los colores del grafo indican la intensidad de dicha variación, colores más claros (amarillos) representarán un gran cambio y colores más oscuros (azul) indicarán estabilidad

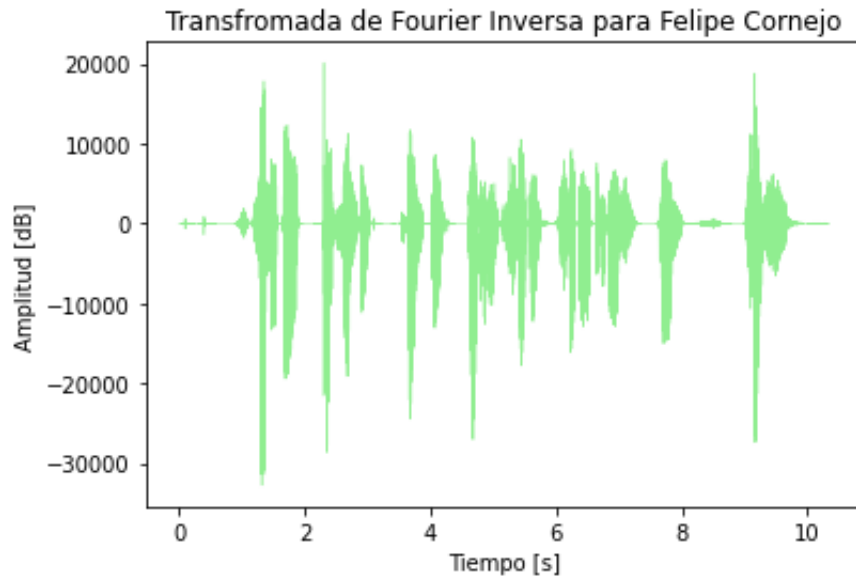


Figura 12: Transformada de Fourier Inversa Felipe Cornejo.

en la señal.

Para esta etapa, con el paquete de *matplotlib*, el mismo que permite graficar, se realiza la funcionalidad para crear espectrogramas en base a las amplitudes y frecuencia.

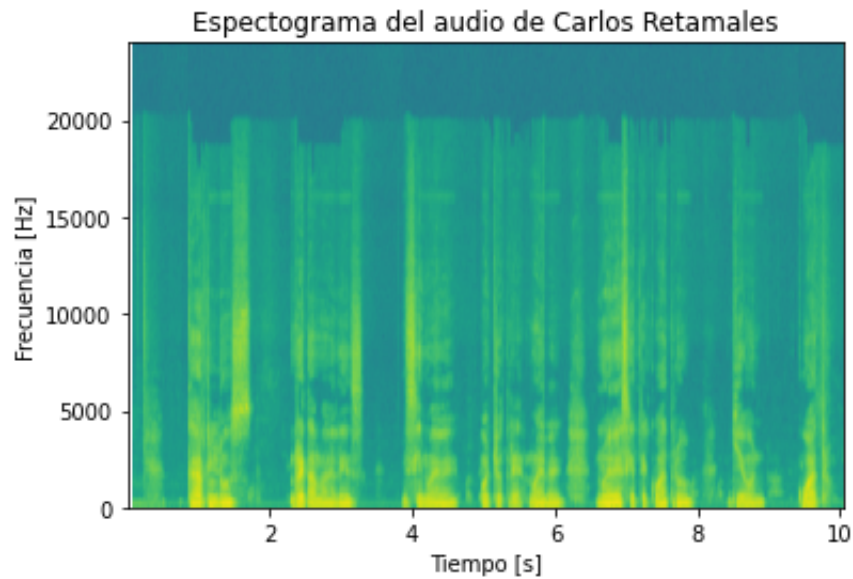


Figura 13: Espectrograma Carlos Retamales.

Los datos muy amarillos, corresponden a Ruido, pequeñas (por el momento) per-

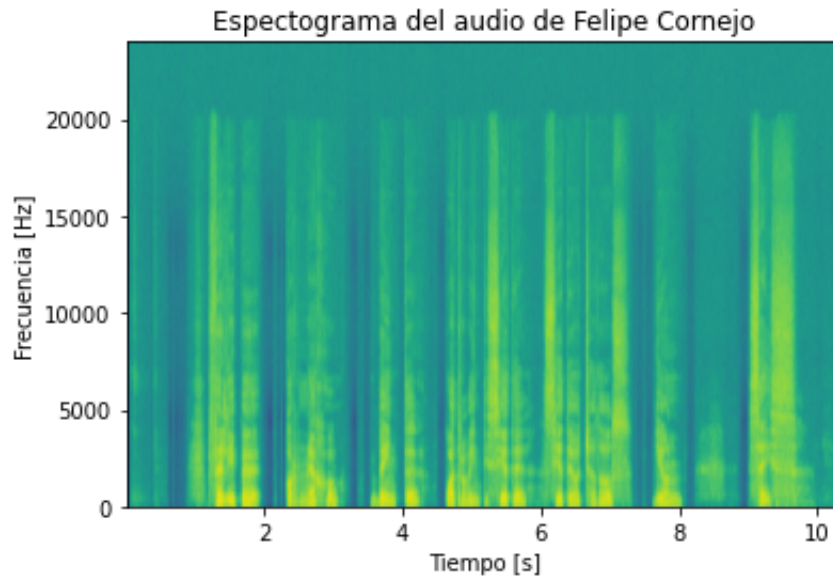


Figura 14: Espectrograma Felipe Cornejo.

turbaciones en la señal, causadas por diferentes motivos, entre ellos un micrófono defectuoso o de gran sensibilidad, la mala conexión en la máquina, entre otros que causen un gran cambio en la frecuencia.

Como observación, una de los motivos de la amplificación de la señal de Felipe, es debido a que originalmente no se detectan datos en los espacios azules que detallan entre las amarillas verdosas del espectrograma (Figura 14), los errores podrían corresponder al micrófono usado para grabar la señal, la cual al hablar despacio o entre silencios este no detecto ninguna señal.

3.5. Parte 6: Discusión de primeros datos

Se han mostrado los orígenes y detalles de los datos los cuales cabe analizar junto con la importancia de cada uno de los resultados. Además se realizó la experiencia con dos señales de personas distintas ya que con ello se podrá identificar diferencias entre ellas y separar características propias de cada autor por la información de su señal.

Partiendo por las Transformadas de Fourier, se puede inferir que Carlos tiene una voz más grave que Felipe, ya que las frecuencias están más concentradas y con mayores amplitudes en el centro del gráfico, distinto de Felipe quien las tiene más dispersas. Junto con

ello es bastante importante reconocer que no todas las frecuencias más graves son las más importantes para determinar aquello, podría tratarse de ruido, el cual está muy concentrado en bajas frecuencias. Es por ello que la Transformada de Fourier también sirve para detectar ruidos y luego de ello aplicar algún filtro para eliminar una cantidad óptima de esta.

En cuanto a la inversa, si bien los gráficos son a primera vista iguales, los datos con los que se trabajan son distintos, por el error (inevitable) en el algoritmo numérico de la función del paquete, el cual a pesar de tener una tolerancia bastante grande, sigue dejando un error muy pequeño en los resultados (Figura 15), no obstante para efectos de un audio, es imperceptible ese error.

fc_audio	Arr...	(496512,)	Min: -32767 Max: 20099
fc_f	int	1	48000
fc_Fourier	Arr...	(496512,)	Min: (-37001237.22355726-10670248.2 Max: (33728101.344235085+ ...
fc_Fourier_freq	Arr...	(496512,)	Min: -0.5 Max: 0.4999979859499871
fc_Fourier_inv	Arr...	(496512,)	Min: -32767.000000000007 Max: 20099.0
			Min: -32935.857142857145

Figura 15: Valores para fc audio que son las amplitudes originales contrastado con fc Fourier inv que son las amplitudes de la inversa de la transformada (solo min y max).

3.6. Parte 7: Aplicación de Ruido

Para esta etapa del proyecto se ha escogido el sonido café o *brown noise* para la aplicación de ruido sobre la señal de Felipe.

Este ruido, se percibe bien grave, el típico sonido de una estática de radio. Para añadirla a la seña, se crea una *array* llena de ceros tan larga como la señal más duradera. Luego esta se va llenando con la suma de las amplitudes de ambas ondas, para superponer el ruido sobre la señal. Luego como la señal del ruido dura menos que la señal de Felipe, se dejó solamente con la señal original de Felipe para poder notar como es sin ruido en medio de las pruebas y así ahorrar tiempo (de todas maneras, son las ultimas fracciones de segundo). Luego de que esté lista la *array* nueva, se considera que es la nueva señal ruidosa y se desarrollan los gráficos pertinentes para su estudio.

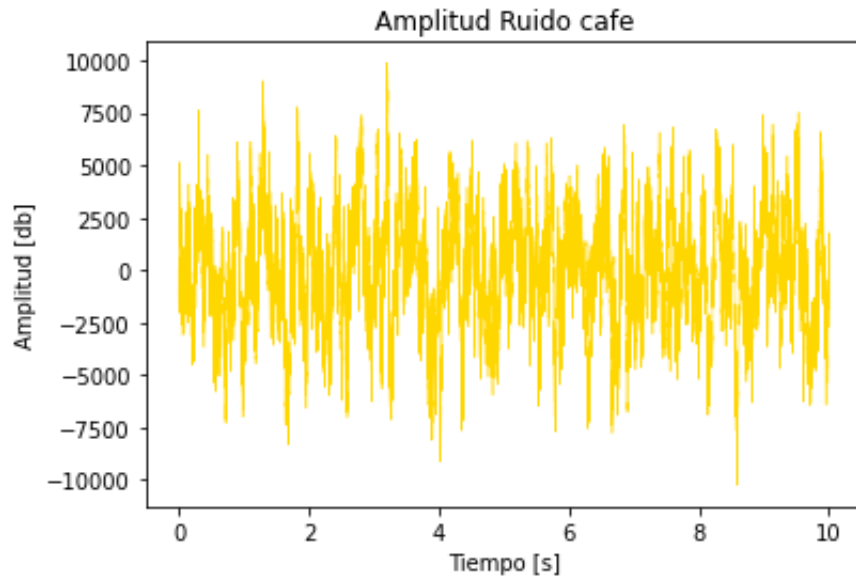


Figura 16: Amplitud del ruido café respecto al tiempo.

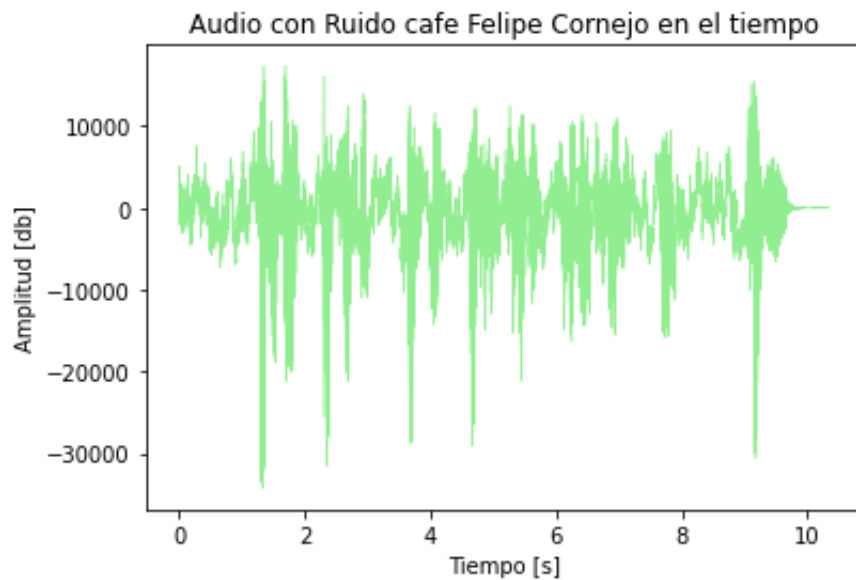


Figura 17: Señal original con el ruido sumado a sus amplitudes.

En relación al ruido, se puede detallar que abarca de 0 [Hz] a casi los 2000 [Hz] en frecuencias, lo que lo hace bastante grave, es por ello además, como son frecuencias a eliminar, posteriormente, es necesario dejar pasar solo las frecuencias más arriba de 2000 [Hz]. A pesar de aquello si se puede diferenciar la señal original con la ruidosa puesto al cambio en la amplitud de la señal original por medio de software, se distinguen entre si, pero

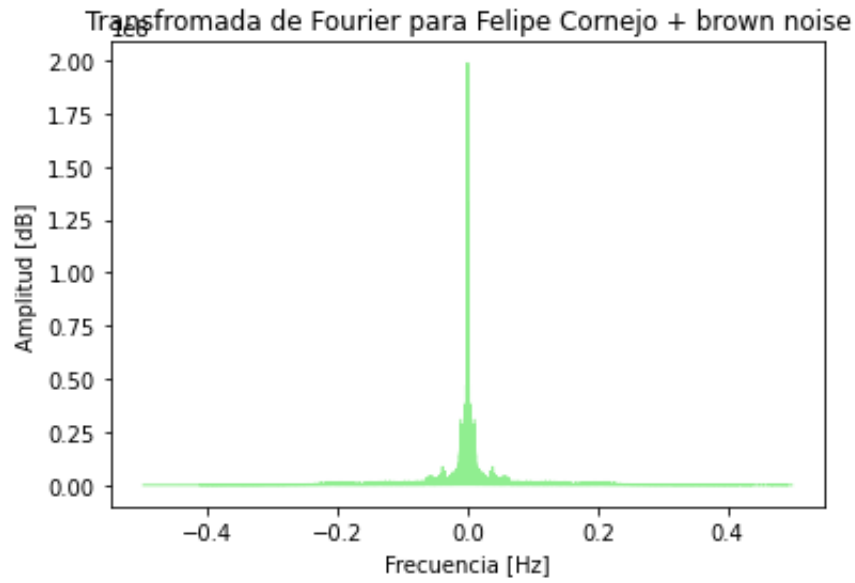


Figura 18: Transformada de Fourier de señal modificada.

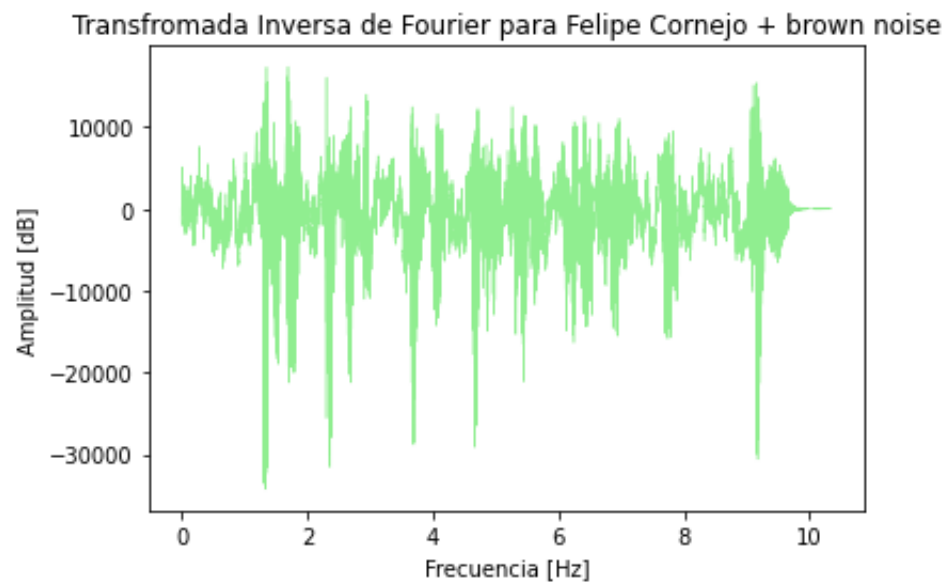


Figura 19: Inversa de la señal con el ruido.

se percibe que la señal original disminuye su volumen a costas del ruido.

3.7. Parte 8: Aplicación de Filtro

Luego de toda la preparación con las señales y ruido se ha implementado un filtro con las funcionalidades *butter* y *lfilter* el cual solo deja pasar frecuencias más altas a un

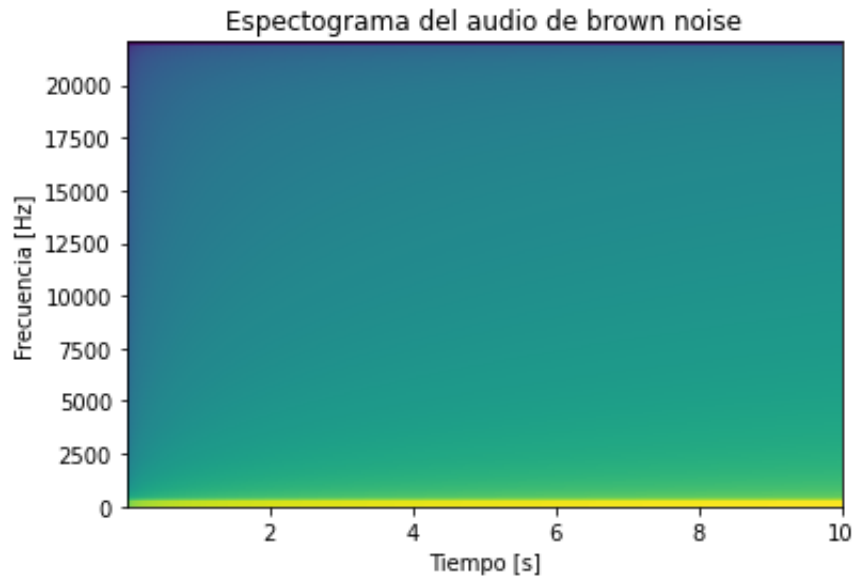


Figura 20: Espectrograma solamente del ruido café.

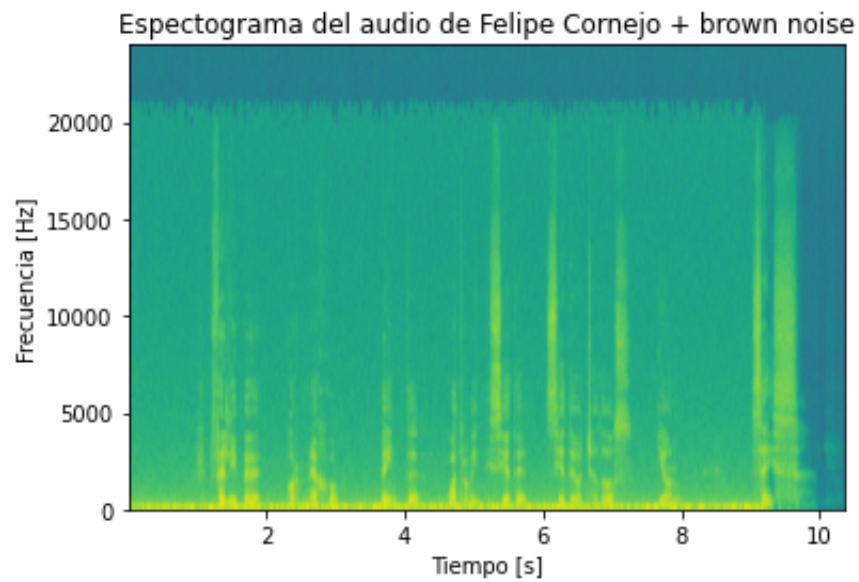


Figura 21: Espectrograma de señal modificada.

estándar dado, este dato será cercano a 2000 que es donde se puede eliminar la mayoría del ruido, así dejando pasar a las frecuencias mayores a 2000 [Hz]; Filtro de paso alto.

Además se han diseñado unos 3 filtros más, los cuales dos de ellos solo aumenta el estándar por potencias de a 2, y el ultimo además filtra las frecuencias más altas dejando pasar entre 2000 y 18000 [Hz], el humano solo escucha hasta un rango de 2000 a 20000 se

debería de escuchar algo luego de aplicar el filtro.

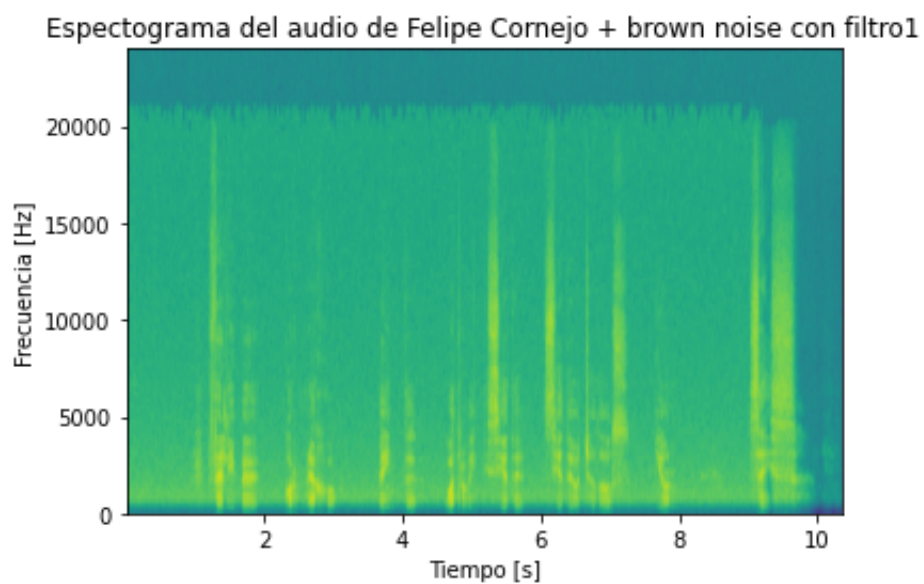


Figura 22: Filtro 1.

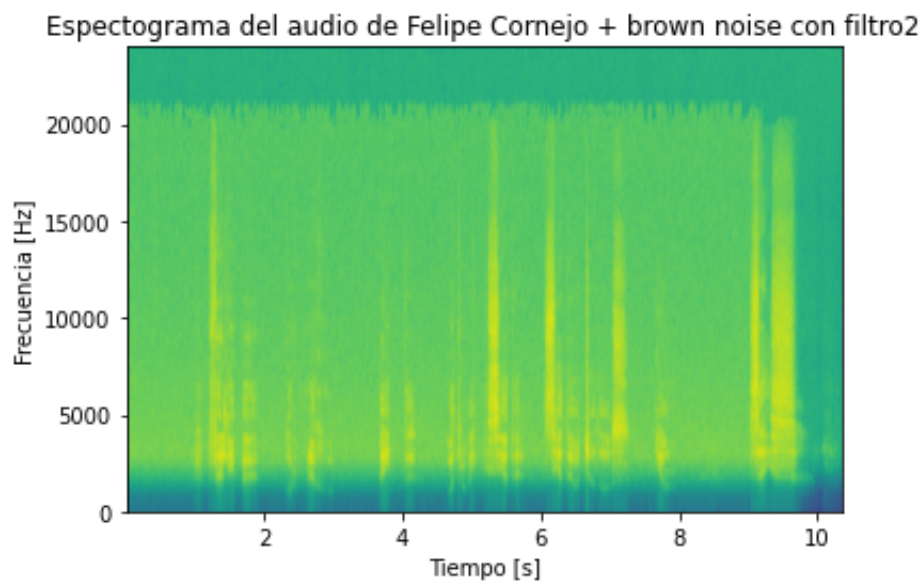


Figura 23: Filtro 2.

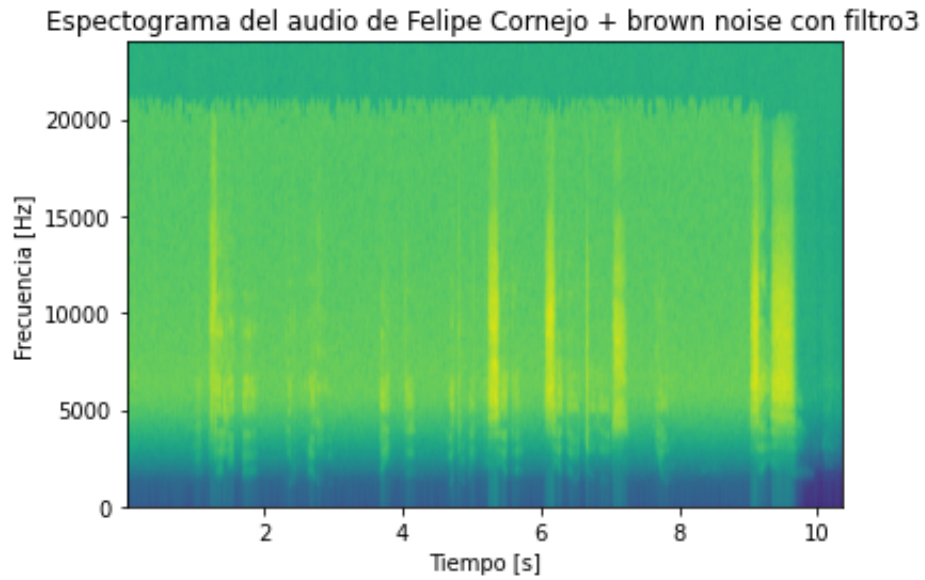


Figura 24: Filtro 3.

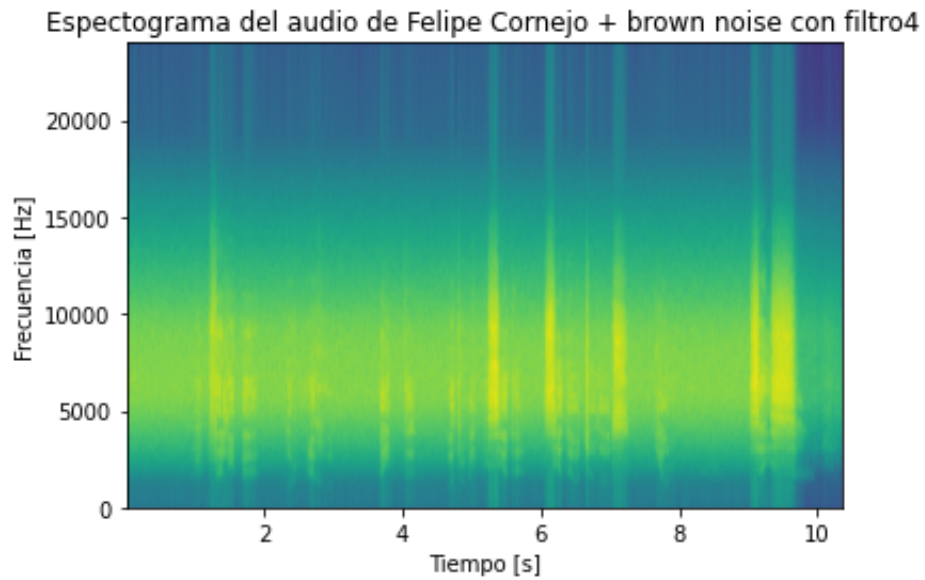


Figura 25: Filtro 4 [2000, 18000] [Hz].

3.8. Parte 9: Comparación

Si bien luego de aplicar los filtros se logra eliminar parte del ruido. Este no es eliminado del todo, es más, incluso como el audio ahora comparte las frecuencias bajas de la voz de Felipe junto con el ruido, luego de aplicar el filtro el audio en general se escucha más

agudo, indicando claramente la carencia de frecuencias bajas.

Posiblemente no se pueda recuperar la señal original al 100 % ya que las amplitudes y frecuencias están sumadas y solapadas respectivamente. Y al aplicar un filtro más potente termine modificando la voz de Felipe en este caso.

4. Análisis de resultados

Luego del desarrollo de esta instancia, se ha de comparar los resultados prácticos, con los realmente esperados por el equipo de trabajo en esta experiencia. En relación a cada ítem, se esperaban obtener dichos resultados, los cuales son correctos y cumplen los teoremas que se han enseñado en la cátedra del ramo Redes de Computadores. Salvo por lo esperado en el filtro.

En términos de eficiencia en el laboratorio, fluctúa cuando se intentó desarrollar el filtro paso bajo para la señal modificada, ya que al escuchar el resultado sigue percibiendo de fondo cierta estática proveniente del ruido. De todas maneras, el espectrograma se ve menos perturbado por el color amarillo representativo del ruido pero no fue perfecto.

En materia de sumar ambas señales (ruido y audio) el ruido se encontró que trabajaba multidimensional el tipo de dato array, por lo cual se tuvo que modificar y rellenar para que pudieran solaparse. Los métodos que supuestamente debieron haber sido correctos fueron rechazados por el tipo de dato y finalmente se tuvo que hacer una señal nueva rellena con ceros y copiar lo restante a aquello. Por lo tanto tampoco quedó perfecto, mas si se podía trabajar con ello perfectamente a lo que durara el ruido.

5. Conclusión

En este informe se ha hablado acerca de las señales y con ello las herramientas para su estudio como lo es la transformada de fourier, lo cual se ha comprobado gracias a esta experiencia la utilidad y propiedades de esta. Como lo es la detección de ruidos y la comprobación práctica de la inversa de la transformada.

Es muy fructífero realizar esta clase de experiencias, ya que se puede visualizar conceptos aprendidos en cátedra que son abstractos y relleno de formulas matemáticas, en esta ocasión se aprendió, mas allá de la utilización de python para señales, cada uno de los parámetros, datos y procedimientos que se necesitan para poder realizar un estudio de una señal, e incluso leerlas de maneras distintas.

En cuanto a los problemas que surgieron en este informe se mencionan en el capítulo anterior la mayoría, y se han solucionado de manera creativa (por ejemplo la superposición de señales).

Finalmente, se desea proponer los objetivos de diseñar otro filtro el cual pueda separar de una manera más exacta el ruido del audio original ya que no se ha quedado conforme con el resultado.

Bibliografía

Edelman, S. K. (2011). Ultrasound physics. ascexam. page 5. <https://docplayer.net/20982411-Ultrasound-physics-ascexam-review-2011-sidney-k-edelman-ph-d-director-esp.html>.

Federico Bocco, Francisco Giana, P. L. R. (2011). Procesadores de audio: Filtros, generalidades. page 1. <https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacusticayelectroacustica/pub/file/FAyE0111E2-Bocco-Giana-Ramos.pdf>.

John G. Proakis, Masaoud Salehi, G. B. (2011). *Contemporary Communication Systems using Matlab*. CENGAGE Learning.

Oppenheim, A. (2011). *Signals and Systems*. Creative Commons.

Stallings, W. (2008). *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Pearson.

TheSciPyCommunity (2021). *SciPy User Guide*.

Tippens, P. E. (2011). *Física - Conceptos y aplicaciones*. McGrawHill.