

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



## Laboratorio N°1

Integrantes: Christian Méndez

Israel Arias

Curso: Redes de computadores

Profesor: Carlos González

Ayudante: Miguel Salinas

3 de Mayo de 2022

# Tabla de contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>2</b>
<b>3. Desarrollo de la experiencia</b>	<b>3</b>
3.1. Creación de las señales de audio . . . . .	3
3.2. Lectura de las señales de audio . . . . .	3
3.3. Gráfico de las señales de audio en el tiempo . . . . .	3
3.4. Cálculo de la transformada de Fourier de las señales de audio . . . . .	4
3.4.1. Gráfico de la señal en el dominio de la frecuencia . . . . .	4
3.4.2. Cálculo de la transformada de Fourier inversa . . . . .	4
3.4.3. Comparación con la gráfica en el punto 1 . . . . .	5
3.5. Espectrograma de cada una de los señales . . . . .	5
3.6. Aplicación de ruido . . . . .	5
3.6.1. Gráfico de señal de ruido en el tiempo, en el dominio de la frecuencia, transforma de Fourier inversa y espectrograma . . . . .	6
3.6.2. Gráfico de señal ruidosa en el tiempo, en el dominio de la frecuencia, transforma de Fourier inversa y espectrograma . . . . .	7
3.7. Filtrar el ruido de la señal ruidosa . . . . .	8
<b>4. Análisis de resultados</b>	<b>9</b>
4.1. Preguntas actividad 6 . . . . .	9
4.2. Preguntas actividad 7 . . . . .	9
4.3. Preguntas actividad 8 . . . . .	10
4.4. Preguntas actividad 9 . . . . .	10
<b>5. Conclusión</b>	<b>10</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>11</b>

# 1. Introducción

En la actualidad las redes de computadores son vitales en la actividad humana, la transmisión de información que es posible a través de ellas se ha vuelto indispensable “Desde los precarios sistemas de transmisión en base a señales de humo, palomas mensajeras, o mensajeros que recorrían a caballo largas distancias, hasta llegar a las tecnologías de última generación como los teléfonos celulares, o una comunicación satelital. En la actualidad, la transmisión de datos utilizando señales eléctricas ha reemplazado, casi a la totalidad de cualquier otro tipo de transmisión de información, dado que es más fácil controlarla, amplificarla y digitalizarla, para su posterior manipulación.” (Gobierno de la provincia de Buenos Aires, 2009) Es debido a esta importancia que, con el fin de aprender respecto a procesamiento de señales, que, en el presente informe, se detalla la experiencia n°1 de laboratorio de la asignatura Redes de Computadores, en la cual el principal objetivo consiste en el estudio de señales de audio. Usando como herramientas principales el lenguaje de programación Python 3 y la transformada de Fourier se estudiarán señales de audio grabadas, las cuales serán analizadas a través de gráficos y espectrogramas. Adicionalmente se agregará un ruido marrón a las señales, resultado de sumar la señal de audio original y la señal del ruido marrón, para luego diseñar un filtro IIR y filtrar la señal de ruido introducida. Se busca entender todo lo que sucede al efectuar esta actividad. Como objetivo secundario, también se busca el aprender de como un lenguaje como Python 3 puede ser aplicado al estudio y procesamiento de señales, pudiendo modificarlas, aplicar operaciones matemáticas y generar gráficos o espectrogramas para facilitar el estudio de señales.

## 2. Marco Teórico

En esta sección se definirán distintos conceptos que se presentaran a lo largo del informe que se consideran relevantes para la comprensión del trabajo desarrollado:

- Señal: Según Fernández (2021) “son la representación eléctrica de los datos. Los diferentes medios de transmisión permiten el envío de los datos en forma de variaciones de parámetros eléctricos, como tensiones o intensidades.”
- Señal analógica: Fernández (2021) las define como “señales en que la intensidad de la señal varía suavemente en el tiempo y pueden tomar cualquier valor en el tiempo.”
- Señal digital: Fernández (2021) menciona que “es una señal en la cual la intensidad se mantiene constante durante un intervalo de tiempo, tras el cual la señal cambia a otro valor constante. Las variaciones de la señal sólo pueden tomar valores discretos.”
- Frecuencia: Es la razón en la cual una señal se repite, se mide en Hertz.
- Transformada de fourier: Como define Martínez (2021) la transformada de Fourier “es una transformación matemática usada para transformar señales entre el dominio del tiempo o espacio al dominio de la frecuencia, y viceversa. Es la herramienta matemática que permite poder analizar y trabajar con señales.”
- Espectrograma: Gráfica tridimensional que permite visualizar información en los dominios de del tiempo y la frecuencia a la vez.
- Ruido: Drake (2005) menciona “que se entiende toda componente de tensión o intensidad indeseada que se superpone con la componente de señal que se procesa o que interfiere con el proceso de medida.”
- Filtro: “Es una operación matemática que toma una secuencia de números (la señal de entrada) y la modifica produciendo otra secuencia de números (la señal de salida) con el objetivo de resaltar o atenuar ciertas características.” (EAM,2011)
- Filtro IIR: Respuesta infinita al impulso, la respuesta a un impulso nunca vuelve al reposo.

## 3. Desarrollo de la experiencia

### 3.1. Creación de las señales de audio

Para el desarrollo de la actividad, se realizó la creación de dos señales de audio, una por cada integrante, donde cada integrante grabó su correspondiente nombre, apellido y rut. Las señales utilizadas en el laboratorio fueron creadas a partir de una página web que permite la grabación de audio de forma gratuita<sup>1</sup> en formato **wav**. Las señales de audio generadas poseen distinta duración, 6 segundos la con mayor duración y 3 segundos la de menor duración. Cabe destacar que por motivos de simplicidad en este informe solo se mostraran los resultados de una de las señales de audio grabadas.

### 3.2. Lectura de las señales de audio

Para la lectura de las señales de audio previamente grabadas se utilizó la librería ofrecida por Python **SciPy**, a través de su función **read()** disponible en el paquete de **I/O**, la cual recibe como parámetro el nombre del archivo a leer con su extensión **.wav** y retorna dos resultados, en primer lugar la frecuencia de muestreo de la señal y en segundo lugar la data del archivo leído (lista con las amplitudes de la señal).

### 3.3. Gráfico de las señales de audio en el tiempo

Para realizar el gráfico de una señal es necesario construir una lista que corresponda al eje del tiempo donde cada posición de la lista corresponde a un segundo específico de la señal, para construir esta lista la librería de Python **Numpy** ofrece la función **linspace()** donde los parámetros de entrada son el tiempo inicial (0), duración de la señal y cantidad de elementos de la lista de amplitudes de la señal. La duración de la señal ingresada en la función **linspace()** es calculada a través de la división de la cantidad de elementos en la lista de amplitudes sobre la frecuencia de muestreo de la señal. De manera más simple, el objetivo de realizar la lista de tiempo fue encontrar en que segundo ocurrió la amplitud obtenida por la lectura de la señal, así cada elemento de la lista de tiempo queda asociado a una

---

<sup>1</sup><https://voicecoach.ai/>

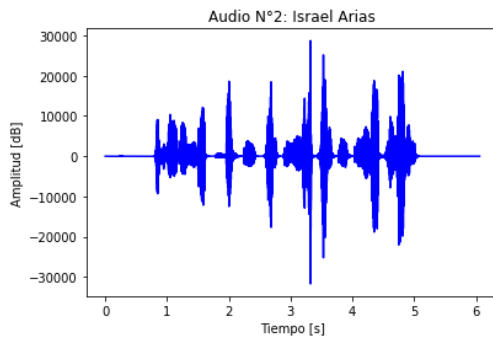


Figura 1: Gráfico de la señal de audio de Israel Arias

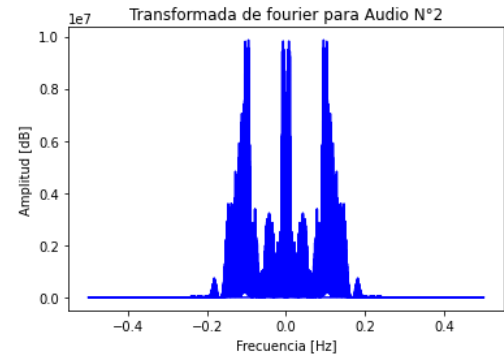


Figura 2: Gráfico de la señal de audio de Israel Arias en el dominio de la frecuencia

determinada amplitud de la lista de amplitudes. Para realizar el gráfico se utiliza la librería **matplotlib**, donde el eje x corresponde al tiempo y el eje y corresponde a la amplitud, el gráfico resultante se observa en las Figura 1.

### 3.4. Cálculo de la transformada de Fourier de las señales de audio

Para el cálculo de la transformada de Fourier se utiliza la función `fft()` y para obtener el dominio de la frecuencia se utiliza la función `fftfreq()`, ambas ofrecidas por la librería SciPy. La función `fft()` recibe como parámetro la señal de audio (lista con las amplitudes) y `fftfreq()` recibe como parámetro el largo de la lista de amplitudes.

#### 3.4.1. Gráfico de la señal en el dominio de la frecuencia

Con la transformada de Fourier calculada y su correspondiente dominio de la frecuencia es posible realizar el gráfico de la señal en su dominio de la frecuencia, el gráfico resultante se puede observar en las Figura 2.

#### 3.4.2. Cálculo de la transformada de Fourier inversa

Para el cálculo de la transformada de Fourier inversa se utiliza la función `ifft()`, la cual recibe como entrada la transformada de Fourier obtenida previamente. Como se está pasando del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo, el gráfico de la transformada

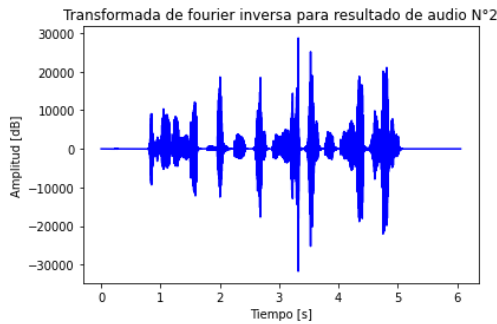


Figura 3: Gráfico de la transformada inversa de Fourier para la señal de audio de Israel Arias

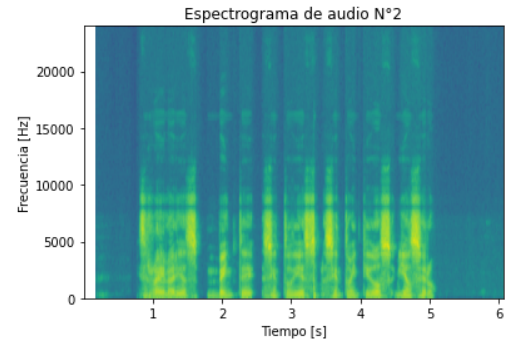


Figura 4: Espectrograma para la señal de audio de Israel Arias

de Fourier posee como eje x el tiempo (obtenido para la construcción de los gráficos de las señales en el tiempo) y como eje y los valores reales obtenidos por la transformada de Fourier inversa, el gráfico resultante se observa en la figura 3.

### 3.4.3. Comparación con la gráfica en el punto 1

Comparando las gráficas del punto 1 con las obtenidas a través de la transformada inversa de Fourier, se puede apreciar que son prácticamente idénticas, esto se debe a que teóricamente al aplicar la transformada de Fourier inversa sobre una transformada de Fourier se obtiene la señal original en el dominio del tiempo.

## 3.5. Espectrograma de cada una de las señales

A continuación, se presenta el espectrograma obtenido en la Figura 4. Cabe destacar que un espectrograma permite la visualización de la señal en el dominio de la frecuencia y el tiempo a la vez, para esto en el gráfico se tiene el eje del tiempo, frecuencia y en mapa de colores el valor de transformada de Fourier (amplitud).

## 3.6. Aplicación de ruido

Se dispone de 4 señales con diferentes tipos de ruidos: rosa, azul, marrón y violeta. Para desarrollar el resto de actividades se selecciono el ruido marrón en conjunto a la señal

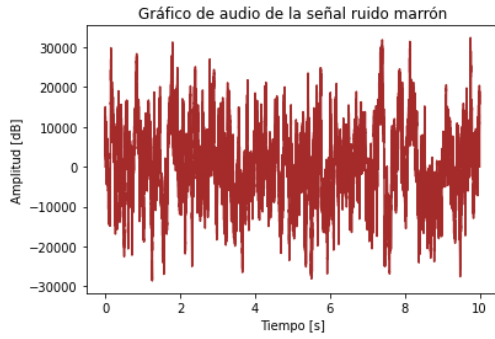


Figura 5: Señal de ruido en el dominio del tiempo

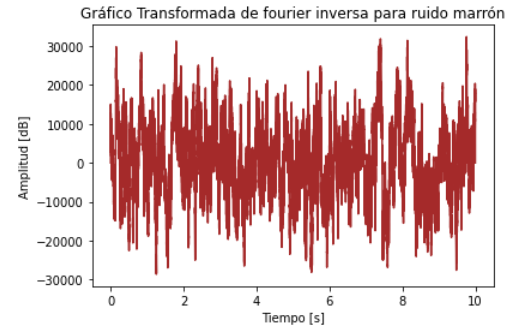


Figura 6: Transformada inversa de Fourier para la señal de ruido

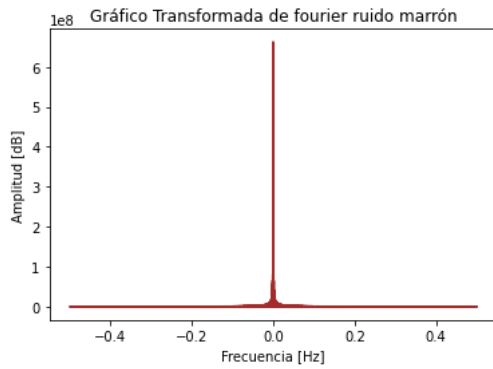


Figura 7: Transformada de Fourier para la señal de ruido

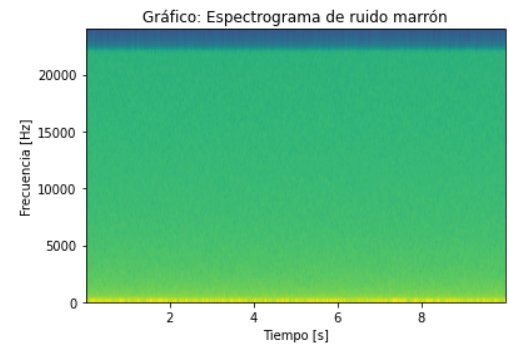


Figura 8: Espectrograma para la señal de ruido

de la Figura 1.

### 3.6.1. Gráfico de señal de ruido en el tiempo, en el dominio de la frecuencia, transformada de Fourier inversa y espectrograma

Para estos gráficos se realizó el mismo procedimiento que a las señales iniciales, por lo cual se obtienen los gráficos resultantes en las Figuras 5,6,7,8. Se puede apreciar que nuevamente fue posible conseguir el gráfico inicial a partir de la transformada inversa de Fourier.



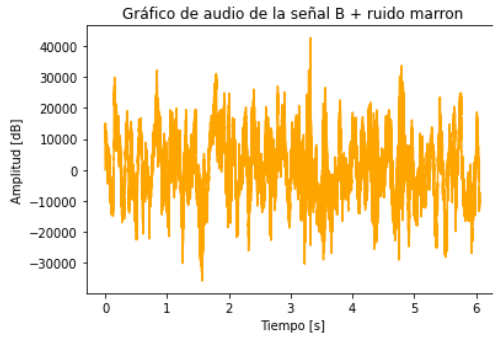


Figura 9: Señal ruidosa en el dominio del tiempo

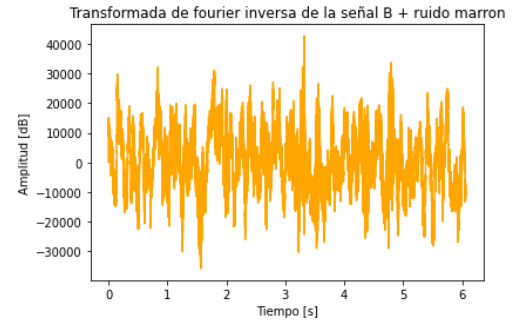


Figura 10: Transformada inversa de Fourier para la señal ruidosa

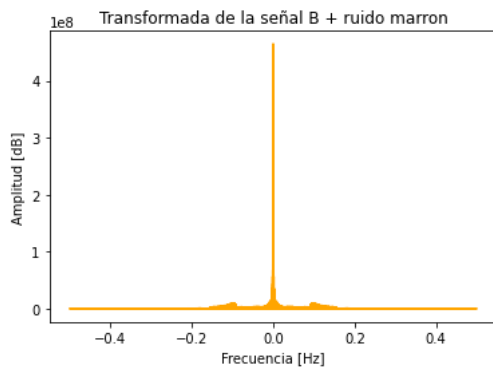


Figura 11: Transformada de Fourier para la señal ruidosa

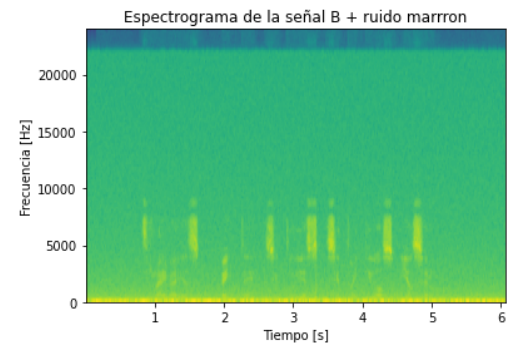


Figura 12: Espectrograma para la señal ruidosa

### 3.6.2. Gráfico de señal ruidosa en el tiempo, en el dominio de la frecuencia, transformada de Fourier inversa y espectrograma

Para obtener la señal ruidosa, en primer lugar se realizó un resampling (realizado con la función **resample()** de SciPy) de la señal de ruido marrón para igual su frecuencia de muestreo a la de la señal de audio original, posterior a esto ambas señales fueron sumadas para obtener la señal ruidosa. Para estos gráficos se realizó el mismo procedimiento que a las señales iniciales, por lo cual se obtienen los gráficos resultantes en las Figuras 9,10,11,12. Se puede apreciar que nuevamente fue posible conseguir el gráfico inicial a partir de la transformada inversa de Fourier.

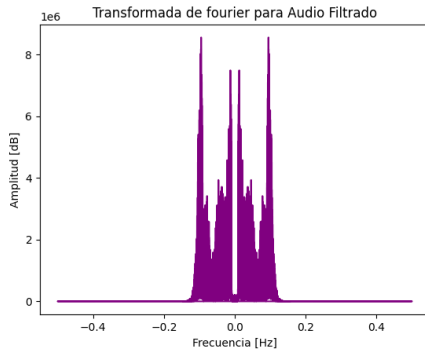


Figura 13: Transformada de Fourier de señal ruidosa filtrada

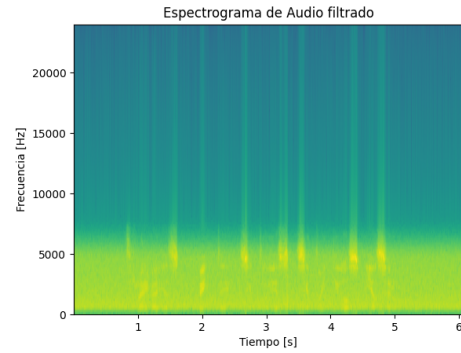


Figura 14: Espectrograma de señal ruidosa filtrada

### 3.7. Filtrar el ruido de la señal ruidosa

Con el fin de eliminar el ruido de la señal ruidosa se implementa tres filtros IIR por medio de la función **butter()** uno de tipo bandpass y dos lowpass. El filtro bandpass se encuentra entre las frecuencias de corte 500 [Hz] y 4975 [Hz], atenuando las frecuencias que no se encuentren en este rango. Uno de los filtros lowpass tiene frecuencia de corte 8000 [Hz], mientras que el otro tiene una frecuencia de corte de 5000 [Hz], ambos filtros atenúan las frecuencias que se encuentren por sobre este corte. Finalmente, se escoge el filtro bandpass para continuar con la actividad, las frecuencias de corte fueron designadas al observar el espectrograma de la señal 2 en la Figura 4 y el espectrograma del ruido en la Figura 8, se observa que las amplitudes del audio original se encuentran concentradas en torno a la frecuencia 4975 [Hz], mientras las frecuencias del ruido se encuentran concentradas cerca de la frecuencia 500 [Hz], por lo cual resulta necesario atenuar aquellas frecuencias que estén por sobre los 4975 [Hz] y las que estén por debajo de 500 [Hz], estos rangos luego fueron normalizados según de la frecuencia de Nyquist como se solicita en la documentación de Scipy para poder ser usadas con la función **butter()**, para la aplicación del filtro se uso la función **filtfilt()** que recibe un filtro y lo aplica a una señal. En la Figura 13 se observa la transformada de Fourier de la señal ruidosa con el filtro aplicado y en la Figura 14 el espectrograma de la señal ruidosa filtrada.

## 4. Análisis de resultados

En esta sección se busca responder y dar explicación a las preguntas propuestas en la experiencia de laboratorio de acuerdo a los resultados conseguidos.

### 4.1. Preguntas actividad 6

La información que se puede obtener de cada gráfico: **Gráfico en el dominio de tiempo:** Permite observar la variación amplitud [dB] en el tiempo [s]. **Gráfico en el dominio de frecuencia:** Permite visualizar la variación de amplitud [dB] con respecto a la frecuencia [Hz]. **Espectrograma:** Permite ver información en el tiempo, la frecuencia y la amplitud al mismo tiempo. Las frecuencias más importantes se pueden observar en el espectrograma de la Figura 4 entre los rangos de 0-9000 [Hz] que es donde se observa una mayor amplitud a través del tiempo. Existen señales entre las amplitudes y las frecuencias, esto es observable en los 3 gráficos, el gráfico en el dominio del tiempo, de la frecuencia y el espectrograma.

### 4.2. Preguntas actividad 7

En primer lugar el nombre marrón no tiene relación a sus características, como menciona (Vannay, 2014) “el rojo o Browniano (conocido también como el ruido marrón, no porque se asemeje a su color, sino por la traducción al castellano de Brown, apellido del científico que lo descubrió), predominan las frecuencias bajas y se oye como más apagado en comparación con el ruido blanco”. El ruido abarca frecuencias desde 0 hasta 23000 [Hz] aproximadamente, mientras que la señal original abarca los mismos rangos, concentrándose principalmente entre los rangos 0 a 9000[Hz]. Si, es posible diferenciar la señal original de la señal de ruido, a través del espectrograma se ve una mayor amplitud donde estaba antes la señal original, también al escuchar el audio resultante es posible escuchar la señal original mezclada con la señal de ruido. Por ultimo, si sería posible el recuperar la señal original efectuando una resta de las amplitudes entre el audio ruidoso y el audio marrón.

### 4.3. Preguntas actividad 8

Como se mencionó en la aplicación del filtro sobre la señal ruidosa, la frecuencia de corte fue escogida en torna a la concentración de las amplitudes observada en el espectrograma de la señal 2 y el espectrograma del ruido marrón, dependiendo del rango de frecuencias de corte aplicada la atenuación permite el suavizado del ruido que este fuere del rango de las frecuencias de corte. Se observa que efectivamente el filtro atenuó las frecuencias sobre 4975 [Hz] y por debajo de los 500 [Hz], disminuyendo la concentración que se encuentra fuera del rango, es posible comparar a través de los espectrogramas de la Figuras 12 y 14 este fenómeno.

### 4.4. Preguntas actividad 9

Es posible observar que en el dominio del tiempo la amplitud cambio, aumentando en comparación a la señal original, además cambio la frecuencia, debido a la aplicación del filtro, viéndose atenuadas las amplitudes en las frecuencias bajo 500 [Hz] y sobre 4975 [Hz]. Por otro lado no sería posible recuperar la señal original a partir del uso de filtros, debido a que comparten amplitudes para una misma frecuencia, por lo que solo sería posible disminuir en parte el ruido, más no conseguir la señal original de vuelta.

## 5. Conclusión

La experiencia de laboratorio N°1 presento algunos problemas que ya fueron expuestos en las secciones anteriores, como por ejemplo el aprendizaje de Python para procesamiento de señales, la dificultad al tener que resamplear la señal ruidosa para poder trabajarla con la señal original, la dificultad de implementación de filtros o la incapacidad de poder filtrar exactamente la señal original de la ruidosa. Los problemas fueron solucionados mediante la investigación, la lectura de documentaciones y bibliografías, por ejemplo el uso de la Frecuencia de Nyquist para calcular los parámetros de entrada en los filtros aplicados. A pesar de los problemas se logró realizar la actividad completa, en la cual se valoran los aprendizajes adquiridos, como la aplicación practica de la transformada de fourier para el análisis y procesamiento de señales, logrando afianzar conceptos que en cátedra eran más abstractos.

# Bibliografía

- de Música, E. U. (2011). *Introducción a los filtros digitales*. (<https://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza/electivas/dsp/presentaciones/clase10.pdf>)
- Fernández, M. (2021). *Conceptos sobre señales*. ([https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/16834/tema04\\_senales.pdf](https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/16834/tema04_senales.pdf))
- Gobierno de la provincia de Buenos Aires, D. g. d. c. y. e. (2009). Sistemas de transmisión de la información. En *Tecnologías de la información y la comunicación*. Descargado de [http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/revistacomponents/revista/archivos/textos-escolares2007/TIC-P01-3P/archivosparadescargar/TIC\\_P01\\_3P\\_general.pdf](http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/revistacomponents/revista/archivos/textos-escolares2007/TIC-P01-3P/archivosparadescargar/TIC_P01_3P_general.pdf)
- Martínez, M. (2021). *¿qué es la transformada de fourier y para qué sirve?* (<https://www.nobbot.com/educacion/que-es-la-transformada-de-fourier-y-para-que-sirve/>)
- Moyano, J. M. D. (2005). *Ruidos e interferencias: Técnicas de reducción*. ([https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion\\_5\\_it/iec\\_4.pdf](https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_4.pdf))
- Vannay, V. (2014). *La salud y los ruidos de colores*. (<https://www.saludadiario.es/opinion/salud-ruidos-colores>)