



Laboratorio N 1: Señales análogas y digitales

Integrantes: Manuel López
Nicolás Gutiérrez

Curso: Redes de Computadores

Profesor(a): Carlos Gonzalez Cortes

19 de Abril de 2019

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Desarrollo de la experiencia	2
2.1. Obtención del espectro de Amplitud vs Tiempo	2
2.2. Obtención de la transformada de Fourier	3
2.3. Obtención de la transformada inversa de Fourier	4
2.4. Truncamiento de la transformada inversa de Fourier	5
2.5. Obtención del nuevo archivo .wav	6
3. Análisis de los resultados	7
3.1. Espectro amplitud versus tiempo	7
3.1.1. Zoom al espectro audio versus tiempo	8
3.2. Espectro de la Transformada de Fourier normalizada (audio original)	8
3.3. Espectro de la transformada de Fourier inversa normalizada	9
3.4. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 25	10
3.5. Espectro de la transformada de Fourier truncada 25	11
3.6. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 50	12
3.7. Espectro de la transformada de Fourier truncada 50	13
3.8. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 75	14
3.9. Espectro de la Transformada de Fourier truncada 75	14
3.10. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 100	15
3.11. Espectro de la Transformada de Fourier truncada 100	16
3.12. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 250	16
3.13. Espectro de la transformada de Fourier truncada 250	17
4. Conclusiones	18
Bibliografía	19

1. Introducción

Durante todo el día, todos están expuestos a sonidos los cuales se pueden distinguir por el cómo suenan, se puede distinguir unos gritos de la bocina de un auto. Estos sonidos pueden ser distinguidos ya que tienen una suma de frecuencia distinta entre ellos y con distinta energía o amplitud haciendo que suenen de distinta forma. Incluso escuchando música, sin saberlo se están percibiendo distintas frecuencias las que se interpretan como notas musicales. De esta forma hay frecuencias que los humanos no pueden percibir como por ejemplo las frecuencias mayores a 20.000 Hz.

Como se mencionaba, un sonido está compuesto de frecuencias por lo que, si se altera un poco estas frecuencias, el sonido cambiará. Pero ¿Cómo analizar que frecuencias tiene un sonido?, si bien se puede saber que una nota *Si* es más aguda (con más frecuencia) que una nota *Mi*, es más complejo cuando un sonido mezcla varias notas. Para poder saber que frecuencias tiene un sonido, es posible aplicar la transformada de Fourier, ya que esta transforma la señal de sonido en el tiempo a el dominio de las frecuencias.

El objetivo de la experiencia que se muestra a continuación es descomponer una señal de sonido dada en un formato .wav (sin perdidas) , en una suma de frecuencias utilizando la transformada de Fourier, utilizando el lenguaje Python con algunas de sus librerías y analizar que frecuencias se pueden percibir, donde están las frecuencias con más energía o amplitud y que pasaría si algunas de esas frecuencias ya no estuvieran solo quedaran las frecuencias son alta energía.

Durante este documento se busca responder: si se elimina algunas frecuencias ¿Qué ocurre con el sonido ?, si se aplica la transformada y la transformada inversa de Fourier, ¿se obtiene el mismo audio?, ¿Qué ocurriría se solo se deja la frecuencia con mayor amplitud?, entre otras preguntas.

2. Desarrollo de la experiencia

Para poder desarrollar la experiencia fue necesario utilizar Python 3 con las librerías *Numpy*, *Matplotlib*, *Scipy*. Estas librerías son para el manejo de números complejos, gráficas y funciones de conversión.

La idea de esta experiencia es tomar un archivo .wav el cual contiene el canto "aleluya", obtener la señal en el tiempo del mismo archivo, posterior a eso aplicarle la transformada de Fourier para analizar que frecuencias posee la señal. Cuando se tenga los datos de la transformada, aplicar la transformada inversa de Fourier y compararla con la señal del tiempo original. También se busca estudiar el comportamiento de la transformada y el sonido resultante cuando se edita las frecuencias (eliminándolas).

La forma en como se ha desarrollado esta experiencia se dividen en pasos o etapas las cuales son:

2.1. Obtención del espectro de Amplitud vs Tiempo

Para esta parte se analiza cómo se comporta la señal de sonido en el tiempo, por lo que es necesario crear un gráfico que muestre la amplitud o energía que se obtuvo en un instante de tiempo t . Gracias a la función *read()* de la librería *scipy.io.wavfile* que recibe el nombre del archivo .wav y retorna un arreglo de dos elementos, se puede obtener los datos necesarios para poder crear el gráfico. El primer elemento del arreglo (*arreglo*[0]) da la información del número de las muestras percibidas en un segundo, el segundo elemento del arreglo (*arreglo*[1]) es la *data* del archivo (ver Figura 1).

Sin embargo si solo se gráfica los puntos del archivo, la función *plot()* de *matplotlib* si bien crea el gráfico, este no se encuentra en el dominio del tiempo. Por lo que es necesario obtener la cantidad de segundos que dura el audio. Una de las formas de hacer esto con los datos que ya se manejan, es obtener el número del total de puntos que tiene la *data* y dividirlo en la cantidad de puntos por segundo. Al hacer esta división se obtiene la cantidad de segundos que posee el audio. Con estos datos solo basta con hacer el cambio en el eje X y mostrar la gráfica en el dominio del tiempo.



Figura 1: Explicación de la función read de Scipy

2.2. Obtención de la transformada de Fourier

Parte importante, es el análisis de frecuencias que están presentes en todo el audio. La transformada de Fourier da la información de la suma de todas las frecuencias percibidas en el audio. En otras palabras, pasa la información del dominio del tiempo al dominio de las frecuencias.

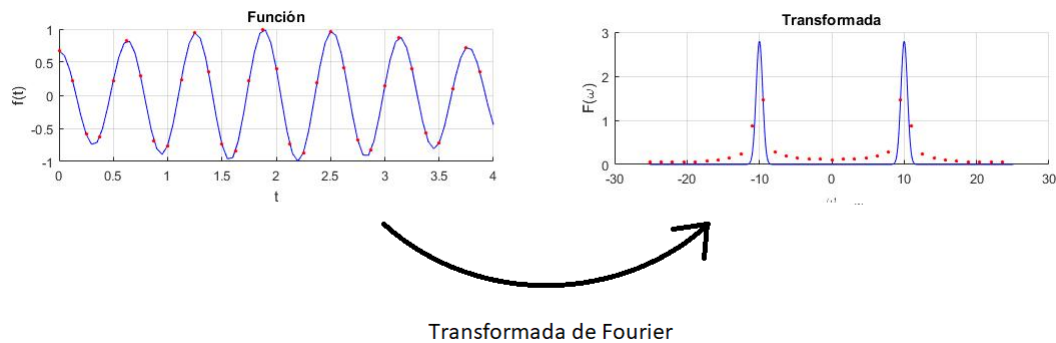


Figura 2: Ejemplo gráfico de la transformada de Fourier

Para realizar esta parte, es necesario contar con la *data* del punto 2,1 ya que esta es la que se transformará. Gracias a la función *fft()* de la librería de *scipy.fftpack* se obtienen los datos transformados, sin embargo al igual que el punto anterior, si solo se grafica estos datos no se tendrá la información correcta ya que el eje x no tiene el dominio de las frecuencias.

Para poder llevar los datos al dominio de la frecuencia se debe utilizar la función *fftfreq()* que dado el largo del vector *fft()* y la cantidad de muestras por segundo de la señal de audio, da un vector de frecuencias el cual será utilizado en el eje x. Se podría pensar que con los datos obtenidos ya es posible obtener la gráfica, sin embargo, la función *fft()* retorna los datos con su parte compleja. Python por su parte no puede graficar la parte compleja de estos valores por lo que es necesario rescatar su parte real con *.real*. Haciendo esto ya es posible obtener un gráfico con todos los ejes correctos y sin fallos por parte de Python.

Como parte importante en la visualización de los datos, solo la parte entera positiva es la que da la información que es necesaria para interpretar (se puede analizar ambas partes, pero la parte positiva es la más importante). Por esto es posible aplicar la función *abs()* para obtener solo los datos positivos.

2.3. Obtención de la transformada inversa de Fourier

Como la transformada de Fourier hace la transformación del tiempo a frecuencias, la transformada inversa de Fourier hace la transformación de las frecuencias al tiempo.

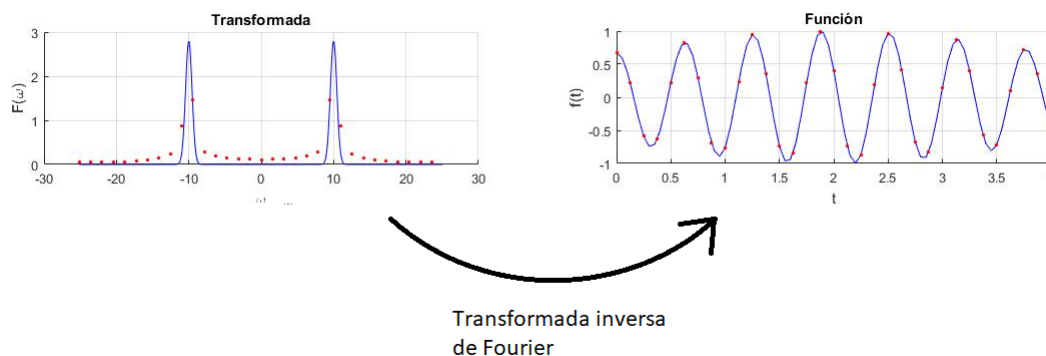


Figura 3: Ejemplo gráfico de la transformada inversa de Fourier

Con el uso de la función *ifft()* de la librería *Scipy* se puede obtener de nuevo la señal del audio en el dominio del tiempo. Para utilizar la función *ifft*, se le debe pasar los datos transformados por la función *fft*. Como resultado la función dará un arreglo con datos (al igual que *fft()*) complejos por lo que es necesario obtener la parte real con *.real*.

Es importante recalcar que cuando se utiliza la función $fft()$ para el caso de esta experiencia, se está normalizando los datos (dividiendo cada dato de la fft por el total de datos de la señal de audio), por lo que al hacer la transformada inversa, se regresa al gráfico original de la señal vs tiempo, sin embargo, con las amplitudes de la señal a otra escala.

2.4. Truncamiento de la transformada inversa de Fourier

Al hacer la transformada de Fourier se obtiene la señal del audio en función de las frecuencias que se emiten. Teniendo esto en cuenta es posible editar este dominio de las frecuencias, eliminando ciertas partes de los datos.

La forma en la que se hizo para eliminar ciertas frecuencias es utilizar un límite como cota superior de amplitudes donde, las amplitudes de aquellas frecuencias que tengan una amplitud menor a la del límite fijado se harán 0.

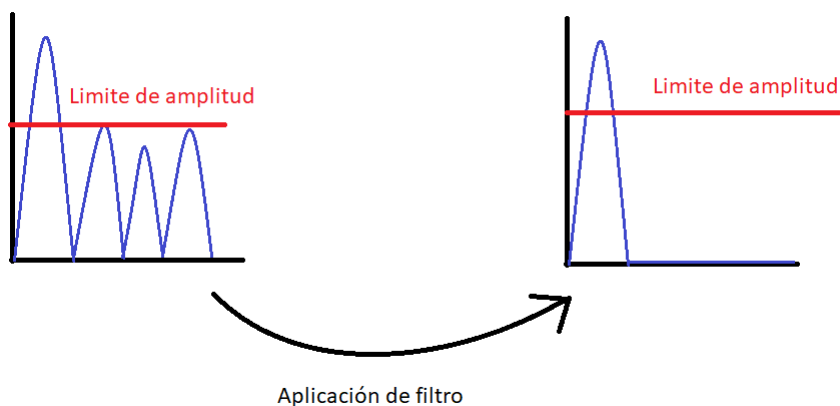


Figura 4: Explicación de filtro de amplitud

De esta forma se pueden hacer todas las amplitudes de frecuencias con menos amplitud que el filtro, iguales a 0.

La forma en que se aplicó esta parte es recorrer el arreglo que posee los datos de las amplitudes de las frecuencias y cada vez que se encontraba una amplitud menor a la del filtro (o sensibilidad) se hacían 0. Esto permite dejar en la transformada de Fourier todas aquellas frecuencias con amplitudes altas.

Con los datos truncados se puede empezar a experimentar haciendo la transformada inversa, antes explicada, para obtener de nuevo la señal en el dominio del tiempo.

2.5. Obtención del nuevo archivo .wav

Como última parte es necesario explicar el cómo se vuelve a obtener un archivo de audio .wav ya que parte importar es experimentar como resulta la señal al volverla audio y escucharla. Para hacer esto se necesita ocupar la función *write()* de la *libreriascipy.io.wavfile* a la que se le debe entregar el nombre del archivo resultante con ".wav" incluido, la tasa de muestras (número de muestras obtenidas por segundo del .wav original) y la data que se desea pasar a audio. Es importante destacar que los datos que se le entregan a la función deben ser datos en el dominio del tiempo, es decir, no se le debe entregar los datos resultantes de la función *fft*. Con el uso de la función *write*, se tendrá el audio a escuchar finalmente.

3. Análisis de los resultados

Como resultado del desarrollo de la experiencia se obtuvieron 14 gráficos los cuales serán mostrados y analizados a continuación.

3.1. Espectro amplitud versus tiempo

La señal obtenida representa al audio "Handel.wav" (fragmento de la canción aleluya). Esta señal tiene diferentes periodos, se debe a que tarda en pasar de una cresta a otra en distintos tiempos. En otras palabras se mantiene constante una parte de la canción durante un periodo de tiempo mas grande. Esto se ilustra en la Figura 5. Como se puede ver en la

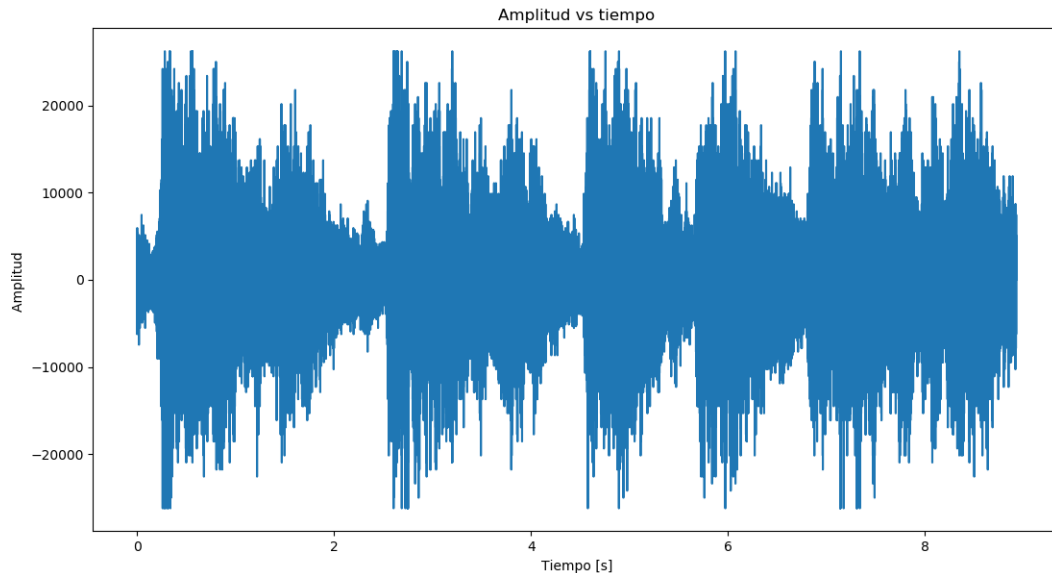


Figura 5: Amplitud vs Tiempo

Figura la duración del audio es de casi 9 segundos, y se pueden distinguir picos de intensidad al inicio los cuales van decayendo hasta volver a otro picos. Si se analiza esa parte se puede dar cuenta que estos piks son por el ".^AAA" del Aleluya que se esta cantando. Es importante mencionar que la tasa de elementos del audio fue de 8192 datos por segundo.

3.1.1. Zoom al espectro audio versus tiempo

En la Figura 6 se puede apreciar los diferentes periodos que tiene la señal, en el intervalo $[0,0.16]$ aproximadamente.

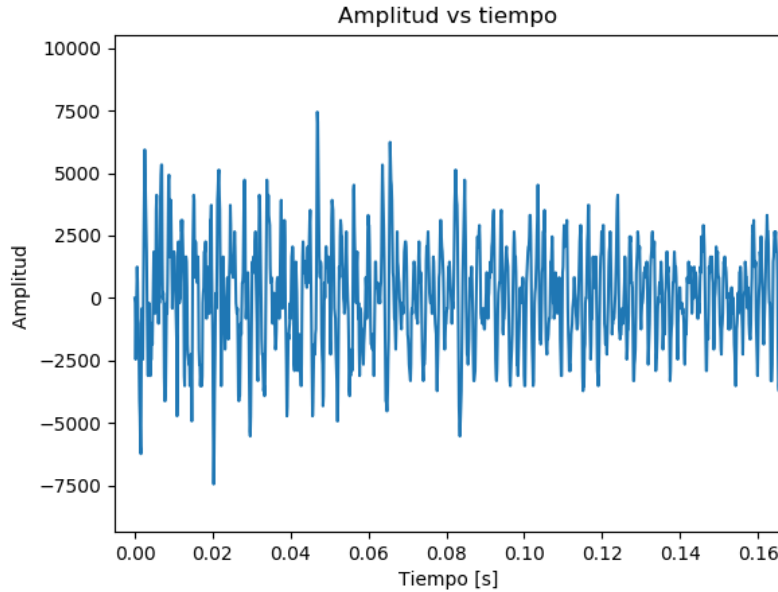


Figura 6: Amplitud vs Tiempo

Se puede ver que la señal de audio en el tiempo posee varios periodos incluso antes de llegar a la parte donde se comienza a cantar.

3.2. Espectro de la Transformada de Fourier normalizada (audio original)

Esta señal obtenida en el dominio de la frecuencia (Hz) entrega información importante sobre cuales frecuencias son relevantes, en este caso las frecuencias importantes se encuentran en las bajas frecuencias, esto se debe a que ahí podemos notar los picks (picos) mas altos. Cabe mencionar que esta señal esta normalizada, es decir, que su amplitud esta a una escala mas pequeña. Respecto a los picks (picos) mas altos, indica que la señal es mas lenta. Si se estuviera en el dominio del tiempo esto haría referencia a que la señal es "constante" durante un intervalo de tiempo. Esto se muestra en la Figura 7.

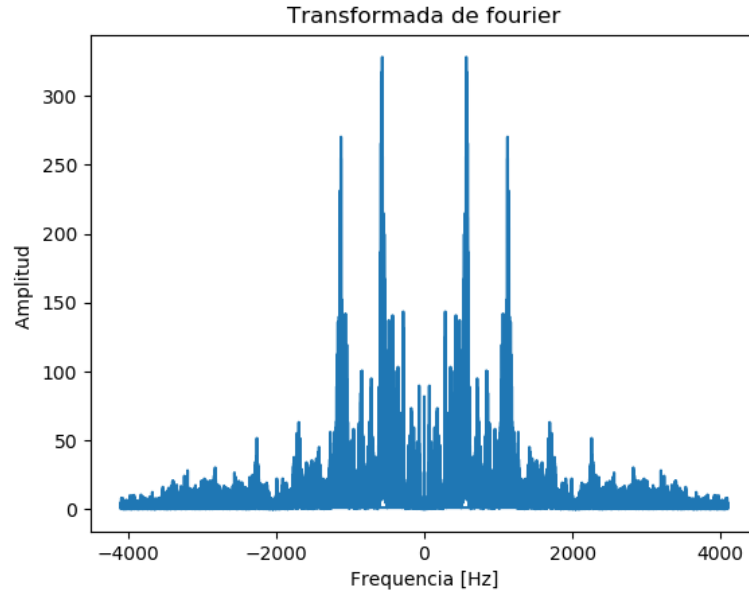


Figura 7: Amplitud vs Frecuencia

3.3. Espectro de la transformada de Fourier inversa normalizada

La señal obtenida regresa al dominio del tiempo, a priori se podría pensar que la señal debería ser igual a la del audio original, pero realmente no es el caso a causa de que la transformada de Fourier a la cual le aplicamos la inversa esta normalizada. Si se escuchara el audio se puede notar que el audio se escucha relativamente mas suave a causa de la amplitud. Esto se puede visualizar en la Figura 8.

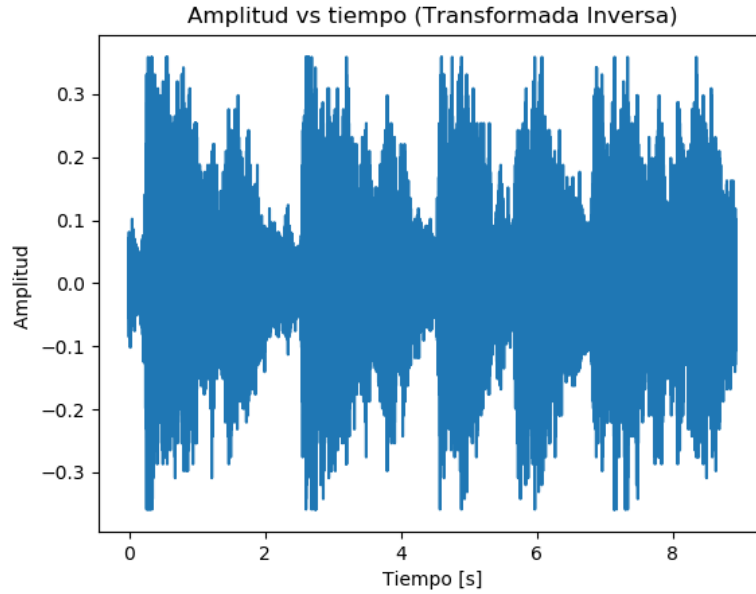


Figura 8: Amplitud vs Tiempo (Transformada de Fourier inversa)

3.4. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 25

Como parte de la experiencia se quiso experimentar que pasaba con el audio si se iba quitando partes de las frecuencias que fueran mas bajas en amplitud. Esta señal del audio versus tiempo con truncamiento 25 significa que en la transformada de Fourier se eliminaron las amplitudes menores a 25, por lo tanto al aplicar la inversa la amplitud del espectro audio versus tiempo, disminuye. De manera gráfica se ilustra todo lo mencionado en la Figura 9.

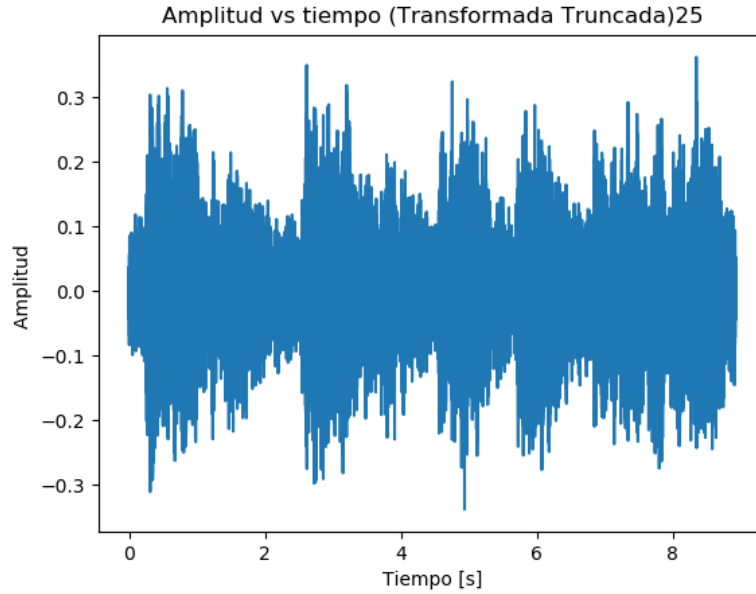


Figura 9: Amplitud vs Tiempo con truncamiento 25

3.5. Espectro de la transformada de Fourier truncada 25

Como se menciono anteriormente las amplitudes menores a 25 son eliminadas, y además las frecuencias altas también lo hacen. En base a esto se puede inferir y probar que la energía del audio se concentra en las frecuencias bajas. Esto es negativo debido a que si se aumenta la amplitud para eliminar las que están bajo a ella, no se podría distinguir lo que dice por que el oído humano es incapaz de escuchar a esa frecuencias. En este caso aun podemos oír por que quedan frecuencias altas las cuales se pueden distinguir. El siguiente espectro que se muestra en la Figura 10 muestra principalmente las frecuencias altas que sobrevivieron y que las frecuencias bajas son las predominantes.

Es importante mencionar que las frecuencias eliminadas no representaran ningún sonido en el tiempo.

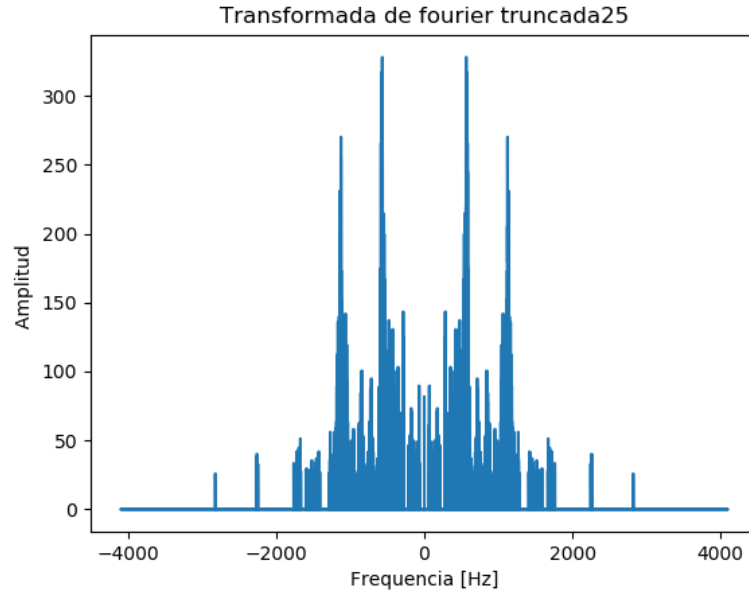


Figura 10: Amplitud versus Frecuencia (transformada de Fourier con truncamiento 25)

3.6. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 50

Con truncamiento 50 significa que las amplitudes menores a esa son eliminadas al igual que las frecuencias en la transformada de Fourier, al aplicar la antitransformada de fourier se logra apreciar que las frecuencias bajas predominan aun. A pesar de esto se puede en el audio percibir sonidos. Esto se ilustra en la Figura 11.

Entiéndase percibir sonidos como: existen frecuencias que los humanos podemos distinguir y que el audio tiene amplitud (volumen).

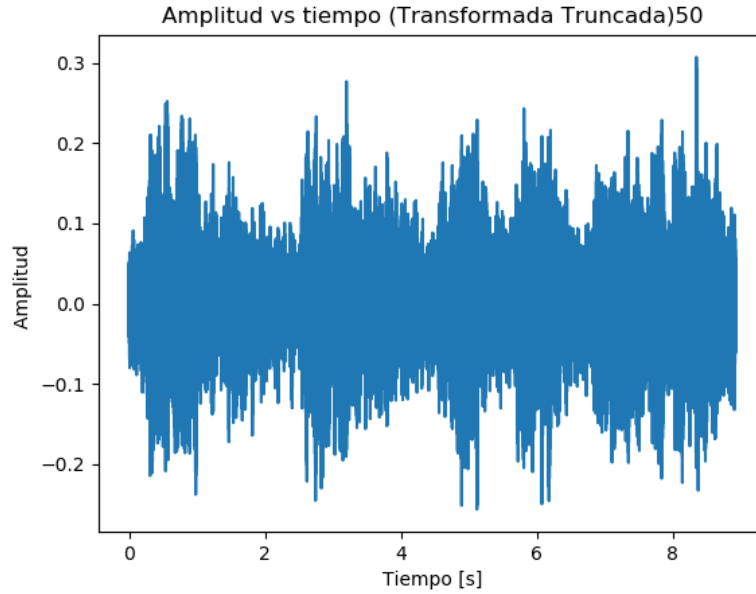


Figura 11: Amplitud vs Tiempo con truncamiento 50

3.7. Espectro de la transformada de Fourier truncada 50

En esta señal se eliminan las frecuencias con amplitud menor a 50, y el espectrograma que se muestra en la Figura 12 indica la disminución de frecuencias. Si aplicamos la transformada inversa y escuchamos el audio resultante podríamos aun distinguir los sonidos.

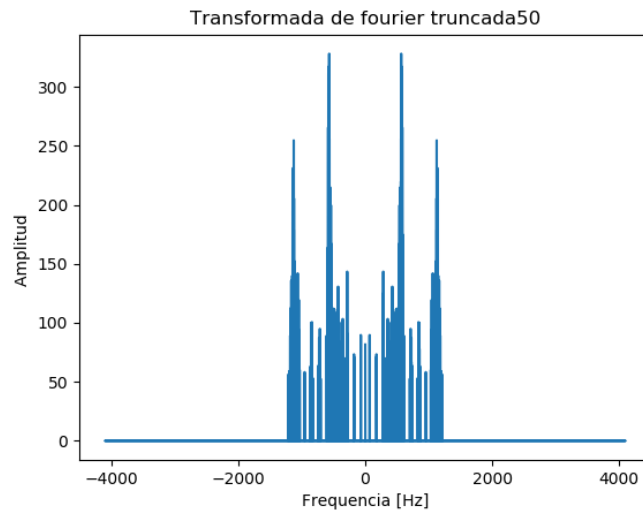


Figura 12: Amplitud versus Frecuencia (transformada de Fourier con truncamiento 50)

Si se escucha el audio luego del truncamiento, la canción de Aleluya, se va haciendo mas débil y casi solo se distingue la letras 'A', como el 'A' del inicio y el 'ya' del final . A partir del truncamiento de 50 va disminuyendo la distinción del 'Aleluya'. Los siguientes 4 gráficos serán mostrados, pero no analizados ya que el comportamiento es similar hasta llegar al truncamiento en 250.

3.8. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 75

Visualizar la Figura 13.

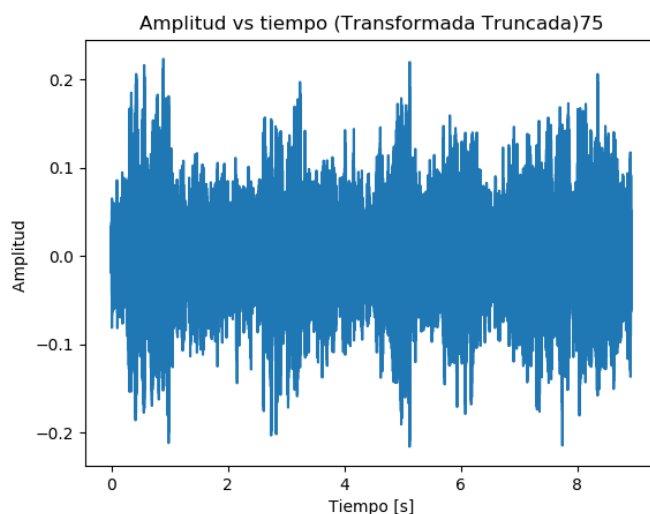


Figura 13: Amplitud versus Tiempo con truncamiento 75

3.9. Espectro de la Transformada de Fourier truncada 75

Visualizar la Figura 14.

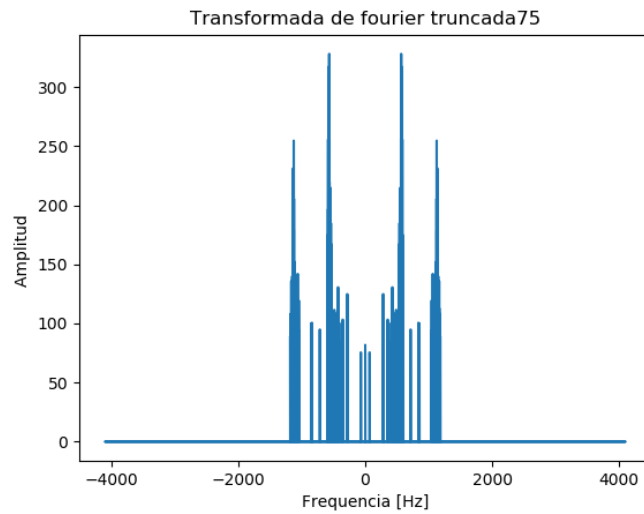


Figura 14: Amplitud versus Frecuencia (transformada de Fourier con truncamiento 75)

3.10. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 100

Visualizar la Figura 15.

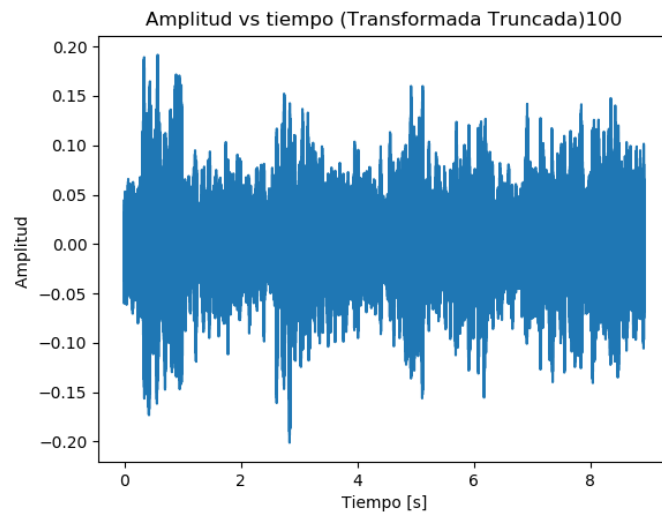


Figura 15: Amplitud versus Tiempo con truncamiento 100

3.11. Espectro de la Transformada de Fourier truncada 100

Visualizar la Figura 16.

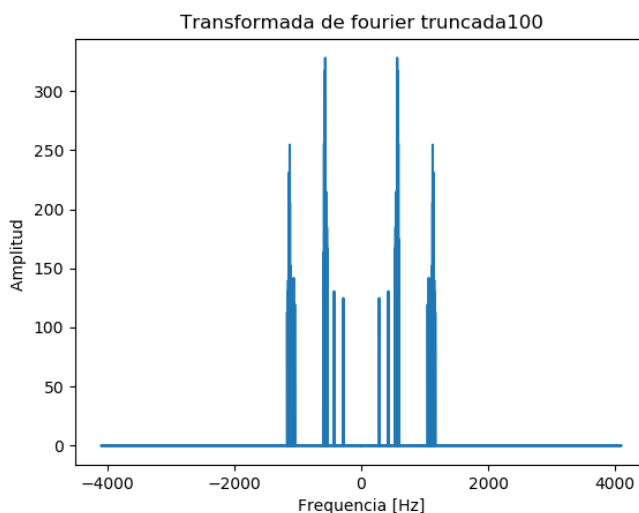


Figura 16: Amplitud versus Frecuencia (transformada de Fourier con truncamiento 100)

3.12. Espectro del audio versus tiempo con truncamiento 250

La señal del audio con truncamiento 25, al reproducir el audio se percibe un (aaaaaaa) constante. Esto se debe a la transformada de Fourier truncada en 250. La amplitud del audio es pequeño, por lo cual se escucha muy bajo. Esto se ilustra en la Figura 17.

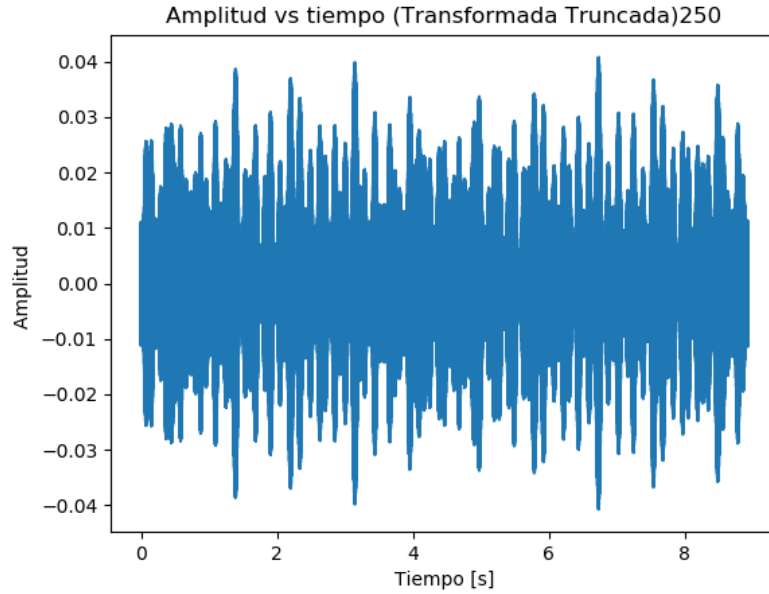


Figura 17: Amplitud versus Tiempo con truncamiento 250

3.13. Espectro de la transformada de Fourier truncada 250

El pick mas alto representa ese (aaaa) que se escucha en el audio con truncamiento 250, ese pick se logra percibir por que esta dentro de las frecuencias que podemos oír los humanos. La Figura 18 ilustra los picks mas altos.

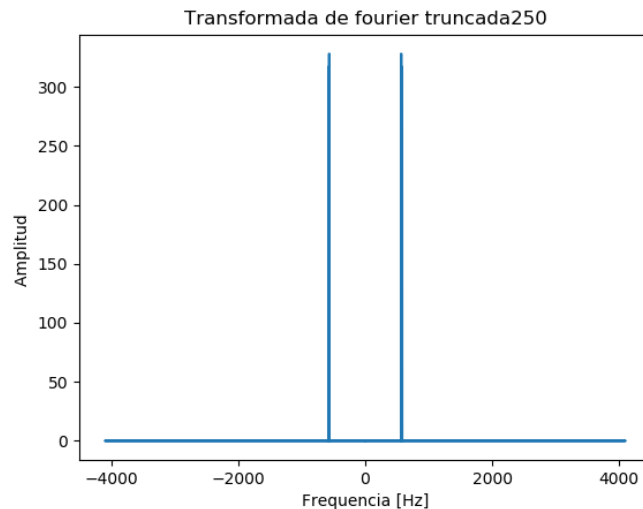


Figura 18: Amplitud versus Frecuencia (transformada de Fourier con truncamiento 250)

4. Conclusiones

En esta experiencia se logró implementar lo solicitado, es decir, transformar señales. Lo más difícil de haber realizado este trabajo fue la interpretación de los resultados. Se realizaron 5 experimentos, en los cuales se pudo notar que al subir el límite de truncamiento las frecuencias altas se iban eliminando en la transformada de Fourier, y al aplicar la anti transformada de Fourier volvíamos al dominio del tiempo. Gráficamente se podía ver que el espectro audio versus tiempo disminuía su amplitud, y al momento de reproducir el audio se escucha más despacio, también se notaba que ciertas partes de la canción original permanecían. En el último experimento cuando el límite de truncamiento fue igual a 250. Se pudo observar que en el espectro de la transformada de Fourier quedaron los dos picos más altos, a esta transformada se le aplicó la inversa, y posteriormente se transformó en audio. Al momento de reproducir esta última versión del Handel.wav se pudo percibir un (aaaaa) de fondo, esto quiere que los picos representaban de manera aproximada esa (aaaa).

En todos los audios que fueron generados con la transformada de Fourier truncada se podían escuchar o percibir sonidos, esto se debe a que las frecuencias estaban en los rangos que podemos los seres humanos detectar, debido a esto es posible escuchar el (aaaa).

Como se mencionó anteriormente la implementación no fue difícil, de todas formas, surgieron algunos problemas con la transformada de Fourier normalizada y la transformada inversa. Respecto de la transformada de Fourier normalizada pudimos visualizar que la señal amplitud vs frecuencia su amplitud estaba en una escala más pequeña, por consecuencia al momento de aplicar la inversa y volver al dominio del tiempo el gráfico audio versus tiempo también tenía la amplitud en otra escala. Se quiso trabajar con la transformada de Fourier no normalizada, pero al aplicar la inversa el audio salía distorsionado, por lo tanto, todos los cálculos de truncamiento se hicieron a partir de la transformada de Fourier normalizada.

El desarrollo de la experiencia y el análisis de resultados fueron hechos a partir de una base teórica. Pero este último tiene apreciaciones hechas por los desarrolladores de la experiencia, por lo cual puede haber errores en las opiniones emitidas en este informe. Se recomienda al lector verificar cualquier cosa que tengan duda.

Bibliografía

- (2018). Rango de audicion del oido humano. [Online] http://www.audix.cl/hrf_faq/que-rango-de-sonidos-son-acceptables-para-el-oido-humano/.
- (2019). Enunciado laboratorio 1. [Online] http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/pluginfile.php?file=%2F250970%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FLaboratorio%201%20Enunciado.pdf.