

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



## **Laboratorio N 1**

Integrantes: Felipe González M. - Bryan Santelices

Curso: Redes de Computadores

Profesor(a): Carlos González

16 de Septiembre de 2019

# Tabla de contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Marco teórico . . . . .	1
<b>2. Desarrollo de la experiencia</b>	<b>3</b>
<b>3. Análisis de los resultados</b>	<b>7</b>
3.1. Análisis del archivo de audio . . . . .	7
3.2. Análisis de la señal de audio . . . . .	7
3.3. Análisis Transformada de Fourier de la señal de audio . . . . .	7
3.4. Análisis espectro de frecuencias de la Transformada de Fourier . . . . .	8
<b>4. Conclusiones</b>	<b>9</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>10</b>

# 1. Introducción

El objetivo del presente laboratorio es conocer y comprender la importancia de la Transformada de Fourier en el análisis de las características ondulatorias de distintas ondas. En particular, en esta experiencia se espera analizar un extracto del coro *Hallelujah* compuesto por *G.F. Handel*.

En esta experiencia se aplica la Transformada de Fourier al archivo de audio de entrada en formato *WAV* para poder determinar los rangos de frecuencia predominantes. Luego, se realiza la Transformada Inversa de Fourier para estudiar el error asociado al aplicar estos cálculos. Finalmente, se altera la Transformada de Fourier truncando los rangos de frecuencia menos importantes, para luego aplicar la Transformada Inversa de Fourier y así poder comparar el resultado con el audio original.

## 1.1. Marco teórico

Se espera poder aplicar la Transformada de Fourier al archivo de entrada, que en este caso viene en formato *WAV* (*formato de audio digital normalmente sin compresión de datos*), ya que dicha transformación del dominio del tiempo a la frecuencia promete revelar la importancia de ciertas frecuencias en la pista de audio. Entre las aplicaciones de esto se tiene como a la música o más bien el sonido, su almacenamiento y reproducción. El sonido es una onda mecánica de señal analógica, pero dada las implementaciones de la tecnología del hombre, resulta necesaria una digitalización principalmente por la imposibilidad de almacenar una onda continua en los limitados sistemas de almacenamiento. Los elementos característicos del sonido son digitalizados a través de una conversión de señales analógicas a digital (DAC), para luego realizar un procedimiento inverso cuando se intente reproducir la música en un nuevo emisor (ADC). La transformada de Fourier es un elemento que también ayuda en la descripción de ondas, descomponiéndola en ondas "simples" o también llamadas "armónicos". Esto en simples palabras permite explicar cualquier fenómeno ondulatorio en base a los mismo armónicos, variando solamente sus componentes, ya sea frecuencia, amplitud y fase. La transformada de Fourier juega un rol fundamental en intercambio de información a través de las redes computacionales, por ende resulta imperante saber como analizar sus resultados

y poder interpretar los datos de dichas señales.

## 2. Desarrollo de la experiencia

La experiencia consta de dos partes, la primera es el análisis del muestreo del archivo musical entregado en formato *WAV*. Para ello se utilizó la función *read* de la biblioteca *Scipy* lo que retornó un número entero (8192) y un arreglo de enteros (de tamaño 73113). Se grafica la señal de audio en función del tiempo utilizando la función *plot* de la biblioteca *Matplotlib*, dando como resultado el siguiente gráfico:

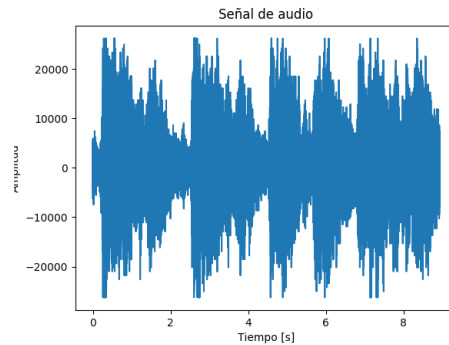


Figura 1: Señal de audio

Luego, se aplica la Transformada de Fourier, para ello se utiliza la función *fft*, la cual se encarga de encontrar los coeficientes espectrales que se buscan en la serie de Fourier, de manera particular, en la transformada de Fourier discreta, y *fftfreq* las frecuencias correspondientes. Ambas de la biblioteca *Scipy*.

Esto se grafica obteniendo el siguiente resultado:

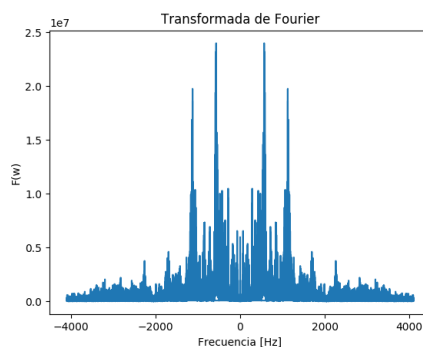


Figura 2: Gráfico Transformada de Fourier.

Con el fin de demostrar la reversibilidad del proceso realizado por la transformada de Fourier, se aplica la transformada inversa, esto se reescribe como archivo de audio, obteniendo como resultado *out1.wav*. Cabe destacar que dichos resultados en su mayoría contaban con una componente compleja, y dada la implementación en Python, se tuvo que realizar una conversión al formato de entero de 16 bits para poder graficar nuevamente en el dominio del tiempo.

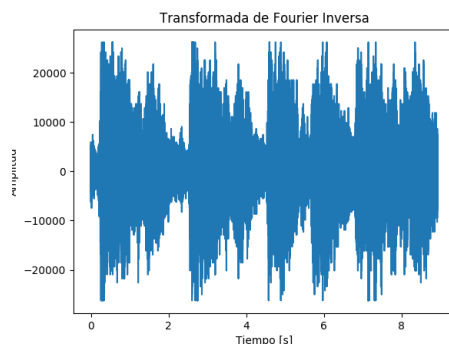


Figura 3: Gráfico Transformada de Fourier Inversa.

Para comparar el audio original con el resultante, se grafica la diferencia entre los valores esperados y obtenidos con la Transformada Inversa de Fourier.

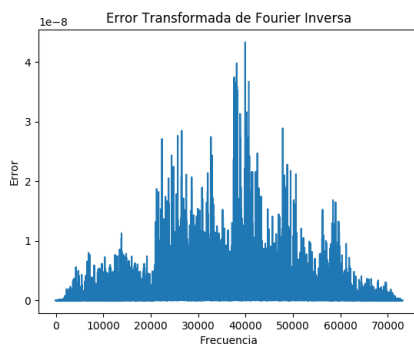


Figura 4: Gráfico errores Transformada de Fourier Inversa.

En la segunda etapa se procede a truncar el espectrograma, dejando solo las frecuencias de mayor importancia y anulando el valor de las demás. Dicho proceso se realiza calculando un promedio ponderado (resultando 949333.50) de las amplitudes de la Transformada de Fourier, esto se amplificó (por 4.88) para poder conservar solo las frecuencias

importantes (1981 frecuencias). Resultando el siguiente gráfico:

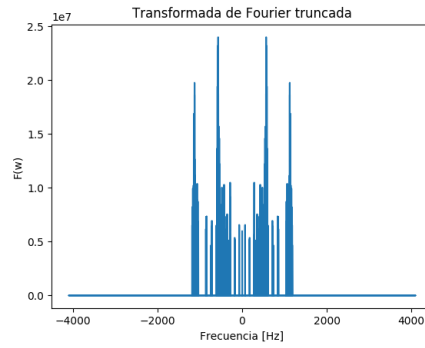


Figura 5: Gráfico Transformada de Fourier Truncada.

Finalmente, se aplica la Transformada Inversa de Fourier de la misma forma que antes. Resultando el archivo *out2.wav* y el siguiente gráfico:

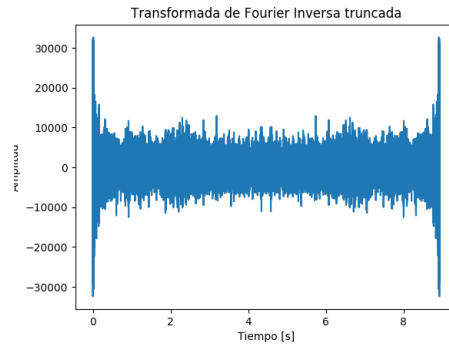


Figura 6: Gráfico Transformada de Fourier truncada inversa.

Comparando con la señal del audio original, grafican los errores obteniendo el gráfico de la figura 7. Cabe destacar que se tuvo que hacer un cambio de escala logrística para poder entender mejor el gráfico.

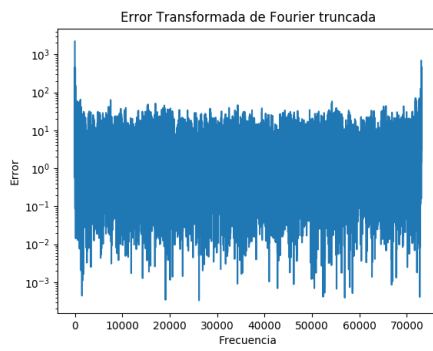


Figura 7: Gráfico errores de Transformada de Fourier truncada.



### 3. Análisis de los resultados

El análisis de resultado se estructura de la misma forma que el desarrollo del enunciado

#### 3.1. Análisis del archivo de audio

Los resultado obtenidos de la lectura del archivo de audio corresponde a la frecuencia en Hertz y un arreglo con las amplitudes ordenadas temporalmente.

#### 3.2. Análisis de la señal de audio

Del gráfico obtenido se rescata que la duración del audio es de casi nueve segundos. Además, las magnitudes mas altas de la amplitud coinciden en el tiempo con las partes del audio donde se pronuncia la primera sílaba de *Hallelujah*, que corresponde a las partes del audio que se escucha más fuerte. De forma análoga, los sectores del audio donde no hay coro coinciden en el tiempo con las amplitudes mas cercanas a cero.

#### 3.3. Análisis Transformada de Fourier de la señal de audio

1. Del gráfico de la Transformada de Fourier se intuye que la función es simétrica. Se destacan cuatro puntos donde la amplitud toma valores fuera del promedio que se concentran en las frecuencias bajas. Coinciden los valores mas bajos de la amplitud con los extremos del gráfico
2. El gráfico de la Transformada Inversa de Fourier tiene las mismas características que el audio original.
3. El error máximo encontrado entre el audio original y la Transformada de Fourier Inversa es menor a  $5e-8$ , lo que se considera ínfimo. Además, no se detectan diferencias entre el audio original y el resultante de la Transformada de Fourier Inversa.

### 3.4. Análisis espectro de frecuencias de la Transformada de Fourier

1. Los rangos de frecuencia más importantes son a los que le corresponde una amplitud más alta. El promedio de las amplitudes amplificado por 4.88 resulta ser 4632747.51 y este valor se utiliza como umbral para identificar frecuencias significantes.
2. En el gráfico de la figura 5 Se aprecia la Transformada de Fourier truncada. Se puede observar que se mantienen solo las frecuencias mayor al umbral establecido.
3. En la figura 6 se aprecia el resultado de haber truncado la Transformada de Fourier. Se puede ver que al principio y al final existe un alza en la amplitud de la señal. Además, ya no se puede distinguir el sector del gráfico donde se pronuncia la primera sílaba de *Hallelujah*. En cuanto al archivo exportado *out2.wav*, se escucha ruido justo al principio y al final del audio, lo que puede explicar el alza de amplitud al principio y al final del gráfico de la señal. El resto del audio se escucha plano y no se distingue mucho la pronunciación del *Hallelujah*. Como si se tratase de una multitud a lo lejos cantando desincronizados dentro de un baño. Dado que al truncar se vieron afectadas 71132 frecuencias, el error presentado en el gráfico de la figura 7 es muy grande. Se destaca el error en los extremos del gráfico, que puede explicar el ruido en el audio de salida.

## 4. Conclusiones

En esta experiencia se lograron los objetivos que eran comprender la transformada de Fourier, logrando así obtener información de las frecuencias proliferantes de la canción analizada. Se logra también la correcta aplicación de la transformada inversa de Fourier, logrando llegar tanto del dominio del tiempo al de las frecuencias y viceversa. De esta manera queda comprobado que la transformada ayuda enormemente en el proceso de análisis de los fenómenos ondulatorios, entregando información mucho más útil que los poco interpretables datos de las amplitudes en unidad de tiempo.

Esta información resulta bastante útil para reconocer tanto los tonos, intensidad sonora, frecuencias, etc, de manera que se puede reconocer la riqueza en el espectro de las frecuencias de distintas pistas musicales.

Si bien en este laboratorio no calculamos directamente la transformada, ya que las herramientas que nos entrega python con sus distintas librerías realizaron dicha labor por nosotros, esta experiencia resulta útil para ver un caso real de aplicación de la materia vista en cátedra, y como la transformada de Fourier resulta preponderante en un campo tan real como es la música.

## Bibliografía

(2019). Enunciado laboratorio 1. [Online] [http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/pluginfile.php?file=%2F257760%2Fmod\\_resource%2Fcontent%2F1%2FLaboratorio%201%20Redes.pdf](http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/pluginfile.php?file=%2F257760%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FLaboratorio%201%20Redes.pdf).