



## Laboratorio Reconocimiento de Señales con Bancos de Filtros (FFT)

Deivid J. Hernandez <sup>1</sup>, Jimmy. S. Clavijo <sup>2</sup>, Kevin S. Osma <sup>3</sup>, Brandon F. Barreto <sup>4</sup>, Juan F. González <sup>5</sup>.

1. 160004211  
2. 160004508

3. 160004527  
4. 160004701

5. 160004710

Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías.  
Programa

---

### Resumen

La Transformada Rápida de Fourier (FFT) ha transformado el análisis de señales de audio al permitir descomponerlas en sus componentes de frecuencia de manera eficiente. Esta herramienta ha simplificado el procesamiento de señales, siendo crucial para el análisis en tiempo real. El análisis espectral mediante FFT revela detalles sobre el contenido armónico y temporal de las señales de audio. La energía de una señal discreta representa su potencia total, sin importar su distribución de frecuencia. El teorema de Parseval establece una relación entre la energía en el dominio del tiempo y la frecuencia. Esta comprensión es vital para diversas aplicaciones, desde la música hasta la medicina. La combinación de la FFT y el análisis de energía ofrece una herramienta poderosa para caracterizar y procesar señales de audio en tiempo real de manera eficiente..

**Palabras clave:** Transformada rápida de fourier, señales, frecuencia, análisis espectral, energía de una señal.

---

### Introducción

La Transformada Rápida de Fourier (FFT) ha revolucionado el procesamiento de señales en diversas áreas, incluida la ingeniería de audio. En el contexto del análisis de señales de audio, la FFT proporciona una herramienta fundamental para descomponer una señal en sus componentes de frecuencia, permitiendo un análisis detallado de su contenido espectral. Las señales de audio, al ser representaciones de fenómenos acústicos en el dominio del tiempo, se caracterizan por su variación en amplitud y frecuencia a lo largo del tiempo. La FFT permite una representación alternativa de estas señales en el dominio de la frecuencia, revelando información crucial sobre su contenido armónico y temporal. Este laboratorio se centra en la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier en el análisis de señales de audio. Se explorará la relación entre la energía de las señales discretas, una medida fundamental de la potencia contenida en una señal, y el espectro de la señal obtenido mediante la FFT. Comprender esta relación es fundamental para la caracterización y procesamiento eficiente de señales de audio en una amplia gama de aplicaciones, que van desde la música y el entretenimiento hasta la ingeniería de telecomunicaciones y la medicina.

## Marco Teórico

### Transformada de Fourier y su aplicación en señales de audio.

La Transformada de Fourier (TF) de una señal  $x(t)$  se define como:

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

donde  $X(f)$  es la representación en el dominio de la frecuencia de la señal  $x(t)$ . En el contexto de las señales de audio, la TF se utiliza para analizar la composición espectral de la señal, descomponiéndose en sus componentes de frecuencia.

### La Transformada Rápida de Fourier (FFT).

La Transformada Rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo eficiente para calcular la Transformada de Fourier discreta (DFT) de una secuencia de  $N$  muestras  $x[n]$ . La DFT se define como:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j2\pi kn/N}$$

donde  $X[k]$  es la representación en el dominio de la frecuencia de la señal discreta  $x[n]$ . La FFT reduce la complejidad computacional de calcular la DFT de  $O(N^2)$   $O(N \log N)$ , lo que la hace especialmente adecuada para el procesamiento en tiempo real de señales de audio.

### Análisis espectral de señales de audio mediante FFT.

La aplicación de la FFT en señales de audio permite descomponer la señal en sus componentes de frecuencia. La magnitud de  $X(k)$  proporciona información sobre la amplitud de cada componente de frecuencia presente en la señal, mientras que su fase indica la fase relativa de cada componente. Esta representación espectral es esencial para el análisis detallado de las características armónicas y temporales de la señal de audio.

### Energía de las señales discretas.

La energía de una señal discreta  $x[n]$  se define como:

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2$$

Esta medida representa la potencia total contenida en la señal. En el contexto de las señales de audio, la energía de una señal discreta proporciona información sobre la intensidad global de la señal, independientemente de su distribución espectral.

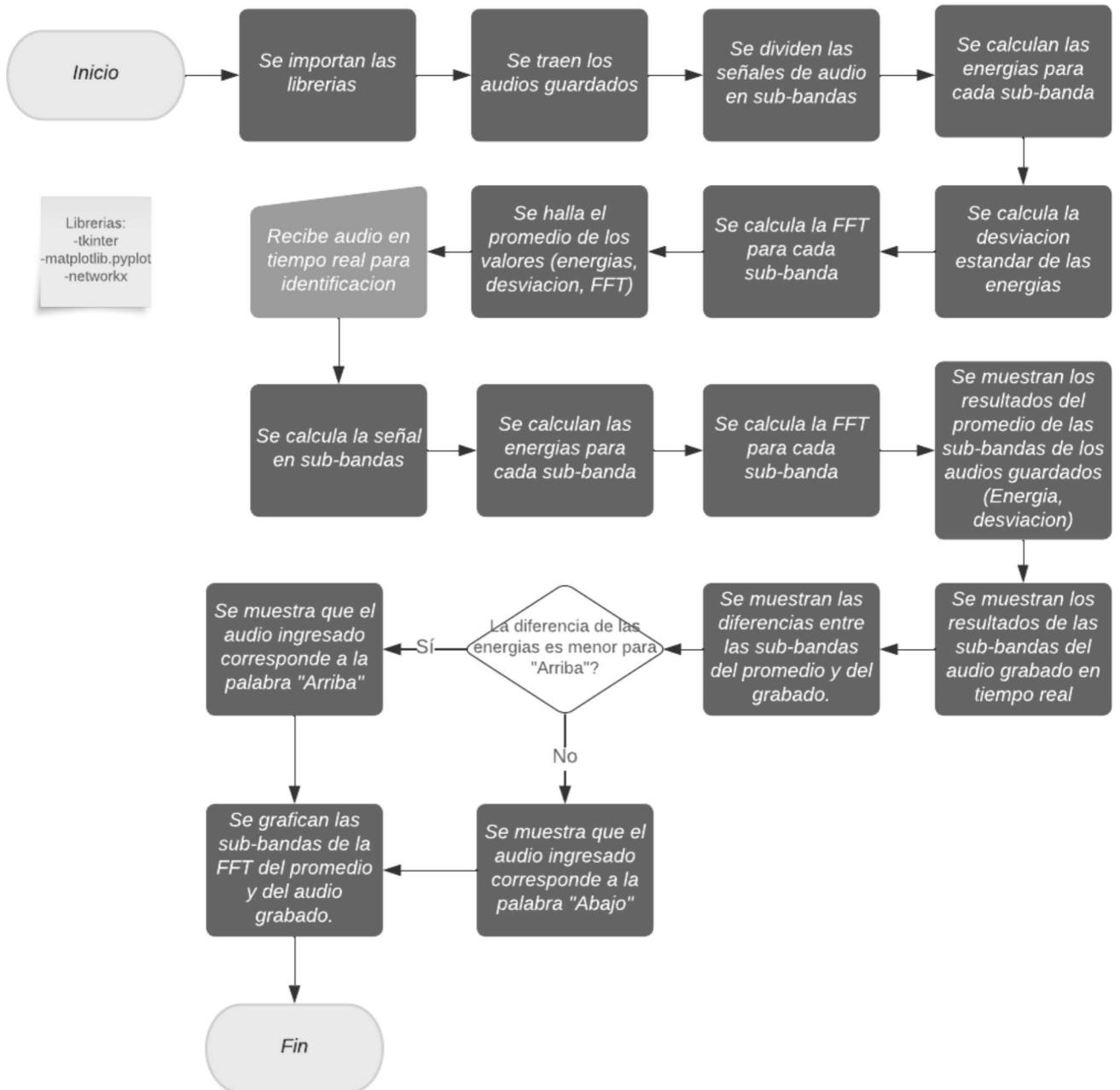
### Relación entre energía de las señales discretas y espectro de la señal.

Existe una relación importante entre la energía de una señal discreta y su espectro en el dominio de la frecuencia. La energía total de la señal se distribuye entre los diferentes componentes de frecuencia presentes en el espectro de la señal. Esta relación se expresa mediante el teorema de Parseval, que establece que la energía de una señal en el dominio del tiempo es igual a la energía de su transformada en el dominio de la frecuencia.

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2 = \sum_{n=0}^{N-1} |x[k]|^2$$

### Sección experimental

Para el desarrollo del programa se siguió el proceso que se evidencia en el diagrama de flujo (figura 1), asegurando un correcto funcionamiento y satisfaciendo las condiciones requeridas.



**Figura 1.** Diagrama de flujo.

Para realizar la práctica, se usó como lenguaje de programación Python, debido al conocimiento previo en el lenguaje, y por la versatilidad de este en cuanto a problemas matemáticos.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import sounddevice as sd
import os
import wave
from scipy import signal
```

**Figura 2.** Librerías implementadas.

En la figura 2 se pueden evidenciar las librerías que se utilizaron para la realización de la práctica. “numpy” es utilizada para crear y manipular los arrays de las señales de audio, y para calcular la FFT junto con la energía de las señales. “matplotlib” es utilizada para graficar el espectro de las sub-bandas de frecuencias. “os” es utilizada para obtener la ruta donde están los archivos de audio y listarlos. “wave” se utiliza para obtener la longitud de las señales de audio. “sys” es utilizado para obtener el directorio de los archivos de los audios.

```
# Función para procesar un directorio y obtener las energías promedio de las sub-bandas
def procesar_directorio(directorio):
    file_names = [os.path.join(directorio, file) for file in os.listdir(directorio) if file.endswith(".wav")]

    energies_sub_band1 = []
    energies_sub_band2 = []
    for file_name in file_names:
        signal_sub_band1, signal_sub_band2 = procesar_audio(file_name)

        energy_sub_band1 = calcular_energia(signal_sub_band1)
        energy_sub_band2 = calcular_energia(signal_sub_band2)

        energies_sub_band1.append(energy_sub_band1)
        energies_sub_band2.append(energy_sub_band2)

    mean_energy_sub_band1 = np.mean(energies_sub_band1)
    mean_energy_sub_band2 = np.mean(energies_sub_band2)
    std_energy_sub_band1 = np.std(energies_sub_band1)
    std_energy_sub_band2 = np.std(energies_sub_band2)

    # Calcular la FFT de las sub-bandas
    fft_sub_band1 = np.fft.fft(signal_sub_band1)
    fft_sub_band2 = np.fft.fft(signal_sub_band2)
```

**Figura 3.** Cálculo de la FFT, la energía y la desviació.

En la figura 3, la función “*procesar\_directorio*” toma la ruta de un archivo de audio (en formato WAV) y la longitud máxima de la señal como argumentos de entrada. Se abre el archivo de audio mediante la biblioteca “*wave*” en modo solo lectura ('rb'). Luego se lee todos los frames del archivo de audio y los convierte a un array de numpy de enteros de 16 bits (np.int16), y si la longitud de la señal es menor que la longitud máxima, se rellena la señal con ceros hasta alcanzar la longitud máxima. Esto se hace mediante la función “*np.concatenate*”. Luego se calcula la Transformada Rápida de Fourier (FFT) de la señal mediante la función “*np.fft.fft*” de la biblioteca numpy. Para finalizar se calcula el valor absoluto de la FFT mediante la función “*np.abs*”, se calcula la energía de las señal con la función “*calcular\_energia*”, y devuelve la energía de señal junto con la FFT absoluta. .

```

plt.subplot(2, 2, 1)
plt.plot(np.abs(fft_input_sub_band1))
plt.title('FFT - Sub-banda 1 (Señal Grabada)')
plt.xlabel('Frecuencia')
plt.ylabel('Magnitud')

plt.subplot(2, 2, 2)
plt.plot(np.abs(fft_input_sub_band2))
plt.title('FFT - Sub-banda 2 (Señal Grabada)')
plt.xlabel('Frecuencia')
plt.ylabel('Magnitud')

plt.subplot(2, 2, 3)
plt.plot(np.abs(fft_sub_band1_arriba))
plt.title('FFT - Sub-banda 1 (Arriba)')
plt.xlabel('Frecuencia')
plt.ylabel('Magnitud')

plt.subplot(2, 2, 4)
plt.plot(np.abs(fft_sub_band2_arriba))
plt.title('FFT - Sub-banda 2 (Arriba)')
plt.xlabel('Frecuencia')
plt.ylabel('Magnitud')

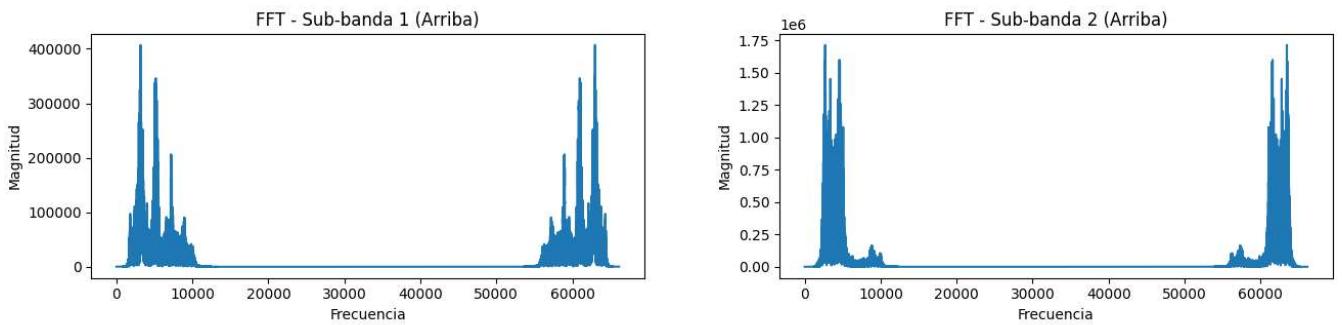
```

**Figura 4.** Graficar las sub-bandas.

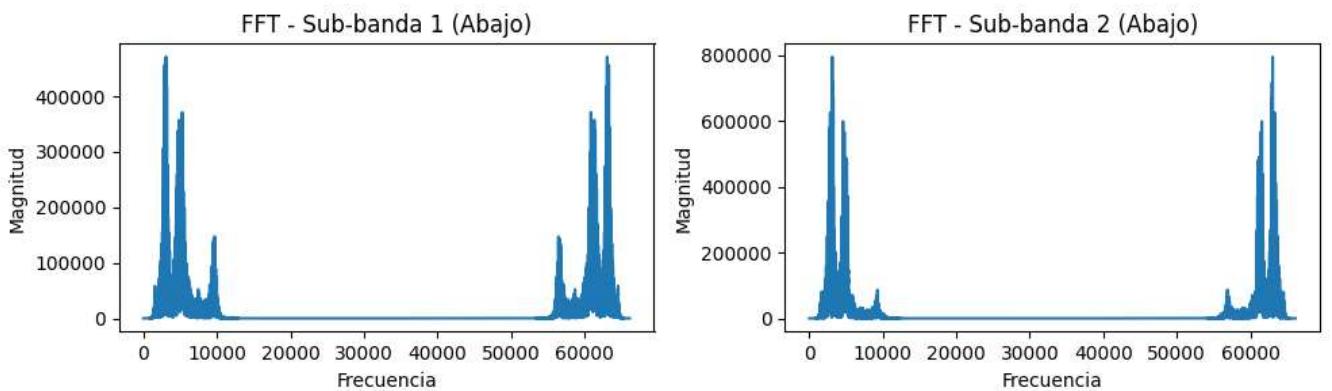
En la figura 4, se obtiene la longitud del espectro promedio “*fft\_promedio*” y se calcula el índice medio de la longitud. Luego, se crean dos sub-bandas del espectro promedio, con esto ya se grafican las dos sub-bandas con la función “*plt.plot*” de la biblioteca matplotlib para graficar las magnitudes de las frecuencias de cada sub-banda.

### Resultados y análisis

Tras la realización de las pruebas del programa con diferentes tipos de ruido de fondo al grabar las señales de audio, se logra obtener una señal de audio con ruido blanco minimizado después de que el filtro fuera aplicado.



**Figura 7.** Gráfica del espectro promedio del audio 1 “Arriba”.



**Figura 8.** Gráfica del espectro promedio del audio 1 “Abajo”.

### Conclusiones

- El procesamiento de grabaciones de voz mediante técnicas como la FFT y el cálculo de energía es esencial para comprender y extraer información relevante de las señales de audio.
- La FFT es una herramienta esencial en el reconocimiento de voz, ya que permite analizar y extraer características importantes de la señal de voz que son fundamentales para la identificación y clasificación de hablantes y para la comprensión del contenido del habla.

### Referencias.

- Matemáticas, G. en. (s/f). UNIVERSIDAD DE MURCIA. Www.um.es. Recuperado el 21 de abril de 2024, de  
[https://www.um.es/documents/118351/9850722/Mart%C3%ADnez+Manzano+TF\\_48705250\\_v2.pdf/c44507c8-e990-4aac-b282-927acadcedd1](https://www.um.es/documents/118351/9850722/Mart%C3%ADnez+Manzano+TF_48705250_v2.pdf/c44507c8-e990-4aac-b282-927acadcedd1)
- Lucía, A. (s/f). FFT: Transformada Rápida de Fourier. Edu.ar. Recuperado el 21 de abril de 2024, de  
<http://lcr.uns.edu.ar/fvc/NotasDeAplicacion/FVC-Schmidt%20Ana%20Luc%C3%ADA.pdf>
- de señales en TD, A. F. (s/f). Sistemas y Señales I. Edu.ar. Recuperado el 21 de abril de 2024, de [https://www.fceia.unr.edu.ar/tesys/html/Analisis\\_Frecuencial\\_TD.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/tesys/html/Analisis_Frecuencial_TD.pdf)