

# Informe Proyecto 1

## Analisis de ondas gravitacionales

Por: Javier Brito, *PUCV, Escuela de Ingenieria Electrica,*

**Abstract**—En el presente informe se mostrara detalladamente el proceso realizado a datos recopilados por el detector LIGO VIRGO, los datos de las ondas gravitacionales fueron previamente descargados en el sitio Gravitational Wave Transient Catalog.

**Index Terms**—Detector LIGO VIRGO, Gravitational waves, datos, ondas .

### I. INTRODUCTION

SEGÚN la teoría de la relatividad general publicada por Albert Einstein en la cual propuso la teoría de la relatividad general, dicha teoría postula la existencia de un manto llamado espacio-tiempo que se ve deformado en presencia de energía y masa. La detección y medición de ondas gravitacionales han sido cruciales para el entendimiento de la física moderna y el universo observable.

Aunque la teoría de la relatividad general fue propuesta hace más de 100 años, hasta hace poco se ha contado con la tecnología necesaria para medir estos eventos astronómicos. Por ejemplo, LIGO, uno de los principales observatorios de ondas gravitacionales actualmente, inició su primera fase de observación científica en 2002. Pasaron unos años antes de que se anunciara la primera detección directa de ondas gravitacionales. Dicho evento documentó la primera detección medible de la fusión de dos agujeros negros masivos.

### II. MARCO TEÓRICO (FORMULAS Y TEORIA)

#### A. Método Windowed

La aplicación de este metodo consiste en utilizar una funcion de ventana antes de calcular su transformada de Fourier, con esto minimizando las discontinuidades en la señal original y reduciendo el efecto de fugas espectrales.

1) *Método de Welch*: El método windowed de Welch divide la señal original en segmentos solapados. Luego, aplica una función de ventana a dichos segmentos con el propósito de minimizar las fugas espectrales de la señal original. Por último, se calcula la transformada de Fourier y se promedian los coeficientes para obtener un espectro suavizado.

2) *Método de Tukey*: El método de Tukey utiliza una función de ventana con forma trapezoidal para suavizar los bordes de la señal. Esta ventana combina una sección recta con una sección curva para lograr una transición suave entre las ventanas y minimizar el efecto de la atenuación en los extremos de la señal.

Este documento fue producido por la Escuela de Ingenieria Electrica. PUCV, Mayo de 2024

#### B. Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una herramienta utilizada en muchas áreas de las ciencias puras. Consiste en realizar una operación matemática a una señal real. Después de aplicar la transformada, la señal queda en el dominio de la frecuencia, donde posee una magnitud y una fase.

El correcto tratamiento y análisis de estos parámetros tiene aplicación en el filtrado de señales, procesamiento de imágenes, análisis de audio, entre otros.

La expresión matemática de la transformada de Fourier para una señal  $f(t)$  en el dominio del tiempo y su transformada  $F(\omega)$  en el dominio de la frecuencia se define como:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

Donde los terminos utilizados son:

- $F(\omega)$  corresponde a la transformada de Fourier de la señal  $f(t)$  en el dominio de la frecuencia.
- $f(t)$  es la señal original en el dominio del tiempo.
- $\omega$  Corresponde a la frecuencia angular.

### III. METODOLOGIA APLICADA

Pasos en orden del procesamiento de la señal:

1. Aplicación de ventana tipo Tukey a la señal original L1 (Los datos procesados en Fourier y para el análisis serán los del detector L1, los datos H1 se utilizarán solo para comparar con PSD).
2. Transformada de Fourier de la señal previamente filtrada.
3. Aplicación del método de Whitening en la señal, para minimizar el ruido y poder visualizar de manera más clara la información de interés.
4. Se utilizó un filtro pasa banda para obtener solo la información de las bandas laterales.
5. Se utilizó un segundo filtro para reducir la importancia de la banda central y así poder escuchar claramente qué sucede en la información presentada lateralmente.

### IV. RESULTADOS

1) *Carga de datos*: Primero se cargaron los datos descargados de la web de GWTC, y posteriormente fueron procesados para su visualización.

Se puede apreciar la duración de la señal obtenida, la cual es de 32 segundos y tiene una tasa de muestreo de 16384 muestras.

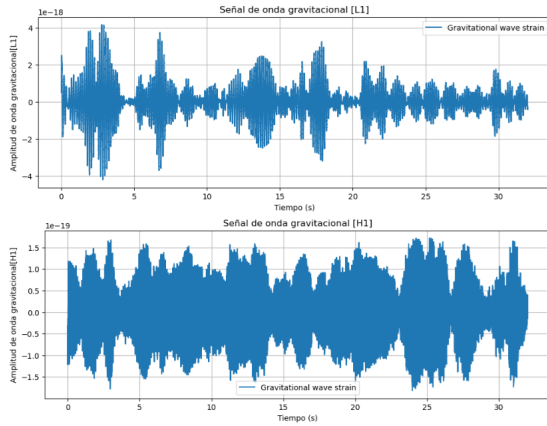


Fig. 1. Datos procesados en Python de L1 y H1 respectivamente.

### 2) Obtención de gráficos PSD(Power Spectral Density):

Se obtuvieron los gráficos de concentración de potencia en el espectro de las frecuencias de ambas mediciones, las cuales fueron obtenidas por los detectores H1 y L1, respectivamente. Las figuras obtenidas se muestran a continuación: Es impor-

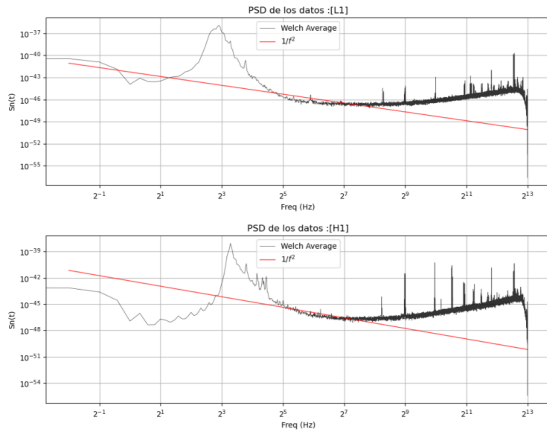


Fig. 2. Gráficos correspondientes a la concentración de potencia (PSD).

tante observar ambos gráficos para verificar qué tan confiables son los datos medidos. Al tener espectros similares, se pueden obtener mejores aproximaciones al momento de analizar.

3) *Método de Windowed tipo Tukey*: A los datos visualizados anteriormente se les aplicó una ventana del tipo Tukey, con el propósito de obtener una transición más suave y agregar suavizado a los bordes de la señal. La transformación se puede apreciar a continuación:

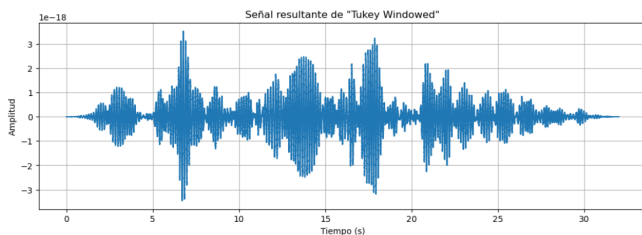


Fig. 3. Gráfico obtenido utilizando el metodo Windowed Tukey.

4) *Transformada de Fourier*: Se realiza la transformada de Fourier a los datos previamente filtrados por la ventana Tukey. Luego se les aplicó un proceso de whitening, el cual consiste en calcular un promedio de la potencia en la frecuencia. Con este promedio se normalizará la energía, distribuyéndola de manera más uniforme en el dominio de la frecuencia. Finalmente, se aprecian la transformada de Fourier de la señal windowed y la señal con whitening aplicado. Se pueden

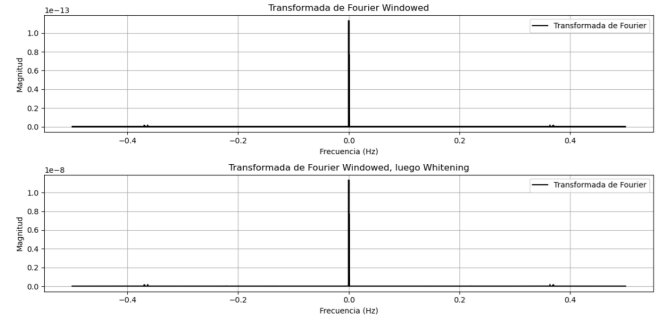


Fig. 4. Transformada de Fourier de la señal original y la señal "whitened".

observar las bandas laterales que contienen información enterrada en los datos originales. Dichos datos serán filtrados por un filtro pasa banda para conservar la información de las bandas laterales. La figura resultante se puede apreciar a continuación: Dicha forma de onda, al reproducirse como

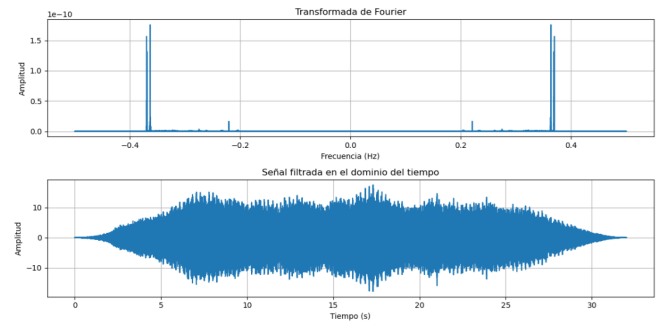


Fig. 5. Representación en frecuencia y dominio temporal de la señal obtenida.

audio, suena muy similar a una colisión de agujeros negros rotando y aumentando su velocidad debido a la conservación del momento angular.

## V. CONCLUSIONES

Para el análisis de filtrado de frecuencias, es necesario tener mucho cuidado con el orden de aplicación de los filtros. Dicho orden puede afectar significativamente la señal resultante después de pasar por todo el proceso.

También se concluyó, mediante la investigación realizada, la posibilidad de poder estimar la masa de los cuerpos involucrados en el audio trabajado. Con un análisis más exhaustivo, se podría llegar a limpiar completamente la onda en el instante de la colisión. Esto depende de la amplitud y la fase de dicha onda, muy similar a una wavelet. Dichas amplitud y fase determinan, mediante fórmulas físicas, cuánta energía y masa están involucradas en la colisión..

La transformada wavelet también se puede utilizar en un análisis más conciso de ondas gravitacionales. Al trabajar con otros conjuntos de datos, el uso de la transformada wavelet proporcionó una información clara sobre un evento en torno a los 6000 Hz. Por lo cual disponer de esta transformada puede contribuir como una herramienta muy útil en el estudio de las ondas gravitacionales. Cabe destacar que dependiendo del tipo de onda madre utilizada, nos proporcionara distinta información de distintos eventos u ondas gravitacionales.

Bibliografía: [1]. "A guide to LIGO-Virgo detector noise and extraction of transient gravitational-wave signals". By: B. P. Abbott, Feb. de 2020 [2]. "Fourier Transform, the Practical Python Implementation". [3]. "Ventana (función) - Wikipedia, la enciclopedia libre". By: Wikipedia, the free encyclopedia. [4]. "A Data Scientist's Guide to Signal Processing — DataCamp". By: Datacamp.

Links:

<https://gwosc.org/>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis\\_de\\_Fourier/](https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_Fourier/)  
<https://towardsdatascience.com/fourier-transform-the-practical-python-implementation-acdd32f1b96a>  
<https://arxiv.org/abs/1908.11170/>