

# Proyecto Integrador I: Identificación y Detección de Onda Gravitacional

Sebastián Bustos Vásquez, Ingeniería Civil electrónica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

**Abstract**—La detección de ondas gravitacionales es compleja, requiere de tecnología avanzada y configuraciones altamente sensibles, y un sofisticado procesamiento de la señal para reducir el ruido presente descubrir la onda gravitatoria. Existen varios procedimientos y aplicaciones matemáticas para resolver y encontrar señales presente con alto nivel de ruido. En el siguiente documento se realizó una práctica de detección de onda gravitatoria aplicando los principios de Fourier y análisis de la densidad de potencia para clasificar y encontrar la señal gravitatoria de un evento ya ocurrido, con la implementación de blanqueo y de ventanas, como Hann o Tukey, en la señal correspondiente.

**Index Terms**—Onda gravitacional, LIGO, VIRGO, Fourier, Hanford, Livingstone, Ventana de Tukey, Ventana de Hann.

## I. INTRODUCTION

LAS señales gravitacionales son una fuente de información importante de los sucesos que ocurren en el universo y de las diferentes características y cuerpos que han sido estudiadas a lo largo del tiempo. Según la teoría de la relatividad general, las concentraciones compactas de energía (por ejemplo, estrellas de neutrones y agujeros negros) deforman el espacio-tiempo de manera significativa, y cada vez que tal concentración de energía cambia de forma, crean una deformación dinámica del espacio-tiempo que se propaga por el Universo a la velocidad de la luz [1]. Esta deformación propagante se denomina onda gravitacional, un nombre que surge de la descripción de la gravedad en la relatividad general como consecuencia de la deformación del espacio-tiempo.

Estas detecciones se han logrado gracias a la colaboración entre los experimentos LIGO y VIRGO, un hito importante en la astronomía. Estas ondas resultan de eventos astronómicos intensos como colisiones de agujeros negros y supernovas. La detección es compleja debido a la debilidad de las señales y la interferencia del ruido, requiriendo tecnología avanzada y configuraciones de interferometría láser altamente sensibles y aisladas. Los observatorios de LIGO-VIRGO, ubicados en Livingston, Hanford y Virgo (L1, H1, V1), permiten contrastar y verificar mediciones, esenciales para identificar las señales conocidas como “chirps”.

La base de datos de Ondas Gravitacionales Transitorias (GWTC) de libre acceso que ofrece la colaboración de LIGO/Virgo/KAGRA [2] permite acceder a eventos de ondas gravitacionales grabadas y poder descargar los datos medidos para trabajar con ellos. A continuación, se eligió un evento de los presentes en la base para llevar a cabo el proceso de identificación de la onda gravitatoria, de tal forma de obtener la señal que se descubrió en el evento escogido.

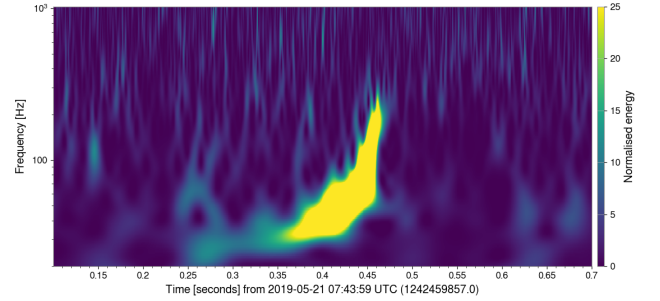


Fig. 1. Deformación de onda gravitacional para GW190521\_074359-v2 para L1

## II. SELECCIÓN DE EVENTO DE ONDA GRAVITACIONAL

Para no complejizar el procedimiento de detección de una onda gravitatoria, se decidió escoger un evento donde su escalograma, representación gráfica de la variación de energía de una señal a lo largo de diferentes escalas y tiempos, presenta una señal clara y fuerte para facilitar su representación a medida que se trabaja con la señal original. Para ello se escogió el evento “GW190521\_074359-v2” del observatorio Livingston (L1), al poseer una fuerte concentración de energía en la onda detectada, ver Fig. 1.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

De las opciones de formato para descargar el evento, se decidió por escoger el archivo de 32 segundos de duración con un muestreo por segundo de 16382 [Hz], así, se facilita el análisis del evento a estudiar. El análisis y procesamiento de la señal se llevó a cabo en jupyter notebook, el cuál se puede trabajar con el lenguaje de programación “Python” y utilizar diferente librerías para trabajar con la señal.

### A. Análisis de Fourier

El archivo en primera instancia viene en formato “TXT” comprimido como “GZ”, por lo que se procedió a cargar los datos y convertirlos en formato de audio “WAV” para ser analizada. Para ello se utilizaron la librerías gzip y scipy, para descomprimir y transformar datos en audio, respectivamente.

Luego de obtener la señal de audio lista, se le aplicó la transformada rápida de fourier para analizar el comportamiento de energía de las distintas componente de frecuencias presente en el audio. En la Fig. 2, se observa la densidad de potencia (PSD) de las distintas componentes de frecuencia presentes

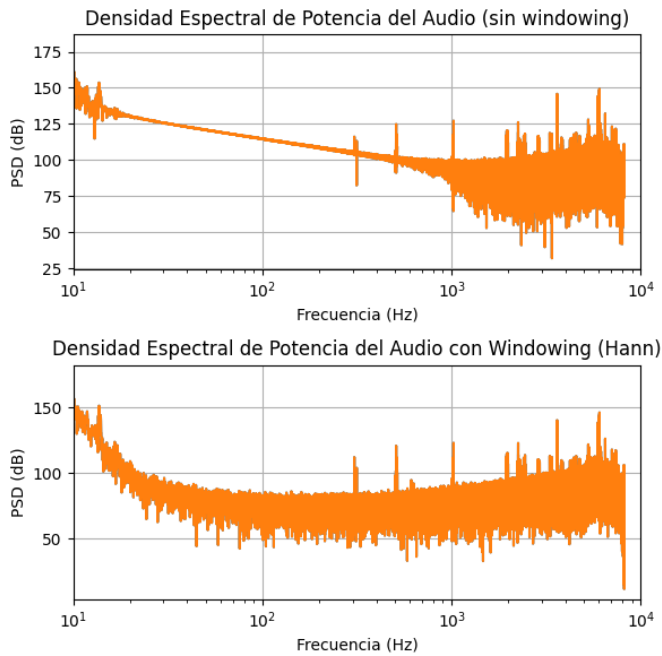


Fig. 2. Análisis espectral de potencia para las distintas frecuencias presentes en el audio. La gráfica superior corresponde a la señal original sin modificar, y la gráfica inferior se le aplicó una ventana de Hann.

en la señal sin ninguna modificación en el tiempo (gráfica superior), y con la agregación de la ventana de Hann.

Al aplicar una ventana de Hann, se modifica la señal multiplicándola por una función que tiene un valor de cero en ambos extremos y uno en el centro. Esto reduce significativamente los efectos de discontinuidad al principio y al final de la señal. Como resultado, la energía de las frecuencias está más localizada y el "leakage" o fuga espectral es menor, lo cual generalmente proporciona un espectro más limpio y preciso de la señal. Sin embargo, aún se precisa de más detalle para encontrar la señal gravitatorio, lo anterior sólo refleja posibles frecuencias en donde se detectó o ruido proveniente del sistema.

### B. Procesamiento de la Señal de audio

La Fig. 3, gráfica superior, enseña la señal de audio original completa, de la cual no se puede obtener ningún análisis, por lo que no se puede trabajar directamente con ella. Para ello, primeramente se le aplicó una ventana de "Tukey", un tipo de ventana que une dos ventanas conocidas en procesamiento de audio.

La ventana de Tukey, es una función que cae a cero en los bordes de la ventana de tiempo seleccionada y es constante en el centro. Esta ventana combina las características de la ventana rectangular (buena resolución en frecuencia) y la ventana de Hann (reducción de las fugas espectrales) [3]. Al aplicar esta ventana, se suavizan los extremos de la señal, lo que reduce el efecto de fugas en el espectro de frecuencia resultante al realizar la transformada de Fourier.

Por otro lado, El blanqueado es un proceso que intenta igualar la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal

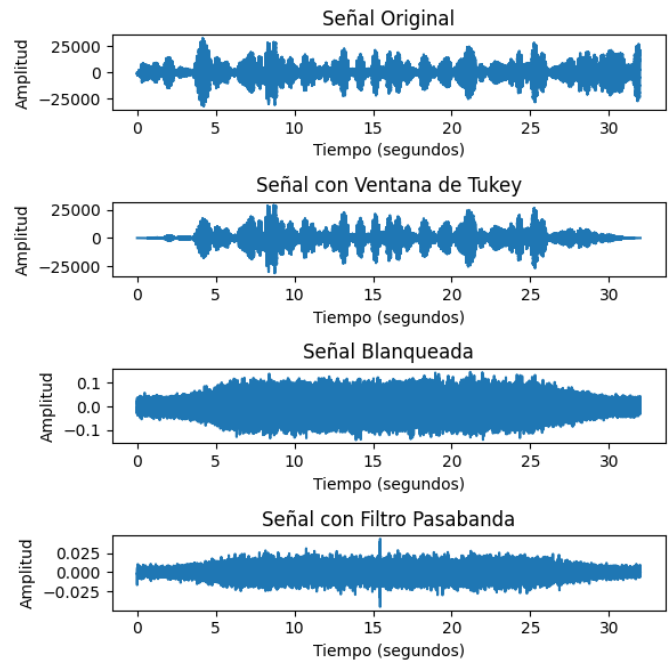


Fig. 3. Comparación de señal original con la aplicación de ventana de Tukey, blanqueado y filtrado con filtro pasa bandas, secuencialmente de arriba hacia abajo.

en todas las frecuencias, dando como resultado un espectro "blanco" donde todas las frecuencias tienen igual poder [4]. Ayuda a destacar características importantes de la señal que pueden estar ocultas debido a variaciones no uniformes en la potencia espectral. Es especialmente útil en el procesamiento de señales para detectar señales débiles en presencia de ruido.

Después de modificar el espectro de la señal en el dominio de la frecuencia (como el blanqueado), la IFFT se utiliza para convertir la señal de nuevo al dominio del tiempo. Esto permite que la señal procesada sea interpretada o analizada en su forma temporal, que es el formato más útil para la mayoría de las aplicaciones de audio y otras señales temporales.

### C. Segmentación de audio y Re-sampleo

Observando la gráfica de la señal filtrada se observa un pico de amplitud sobresaliente pasado el segundo 15, por lo que se decidió tomar un segmento de 3 segundos que van desde los 14 hasta los 17 segundos para poder analizarlo más en profundidad. Se realizó el mismo procedimiento que el anterior realizado en este artículo, con la implementación de un escalograma para observar la potencia de ese pico de amplitud, ver Fig. 4.

## IV. CONCLUSIÓN

La necesidad de suavizar el ruido en señales de muy baja frecuencia y potencia ha llevado a diseñar una gran variedad de métodos de procesamiento y análisis de señales, para entender y manipular señales de manera eficaz en diferentes contextos. la combinación de estas técnicas permite una comprensión más profunda y detallada de las señales, facilitando la detección de

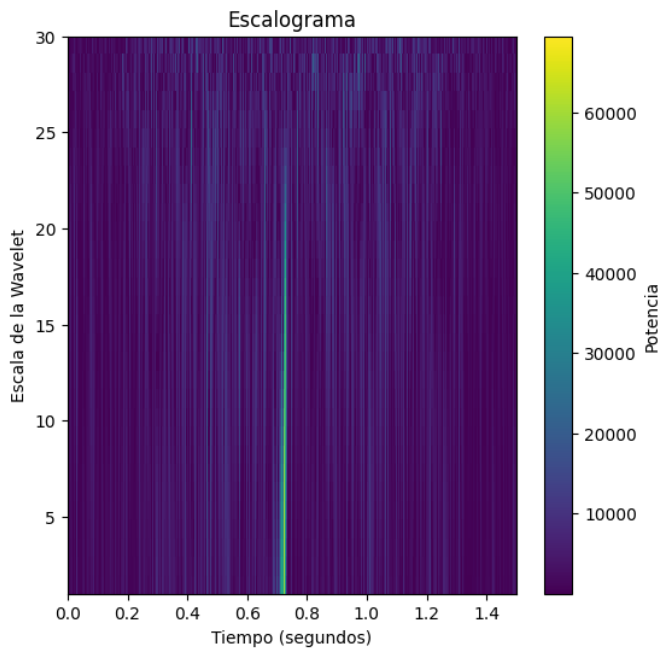


Fig. 4. Escalograma de la señal segmentada, blanqueada y filtrada para analizar el pico de amplitud encontrado en la Fig. 3

eventos significativos, la caracterización de señales y la mejora de la calidad de las señales para diversas aplicaciones.

Para este caso, la Fig. 2 y Fig. 4 demuestran cómo es posible encontrar una señal que está oculta en una gran cantidad de ruido, y quizás están revelando la presencia de un evento transitorio y características ocultas dentro de las señales complejas como la de una señal de onda gravitatoria.

#### REFERENCES

- [1] Kip S. Thorne, "Gravitational Waves," in *Proceedings of the Snow-mass 95 Summer Study on Particle and Nuclear Astrophysics and Cosmology 1995*, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA.
- [2] GWTC, Gravitational-wave Transient Catalog. [Online]. Available: <https://gwosc.org/eventapi/html/GWTC/>.
- [3] Nezih C. GeGkinl, "Some Novel Windows and a Concise Tutorial Comparison of Window Families", in *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. assp-26, no. 6, 1978.
- [4] Osvaldo M. Moersch, "Primera detección de ondas gravitacionales", in *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 28, No. 1, Jun. 2016, 59-72, Córdoba, Argentina.