

Procesamiento de Señal de Onda Gravitacional Utilizando Python

Simón Delgado, *Estudiante Ingeniería Civil Eléctrica, PUCV,*

Abstract—Este documento presenta un procedimiento comprensible para el procesamiento de señales con ruido mediante Python con el fin de extraer información de interés de la señal.

Index Terms—Ondas Gravitacionales, Densidad Espectral de Potencia, Transformada de Fourier, Ruido.

I. INTRODUCCIÓN

LA detección de Ondas Gravitacionales (OG) le ha permitido a la ciencia entender el universo de una forma distinta. En un medio vacío como lo es el espacio, las OG permiten "oír" eventos lejanos de muy alta magnitud, como la colisión de agujeros negros. El problema que se presenta es la cantidad de ruido en la señal. Desde la densa atmósfera terrestre hasta las vibraciones en la tierra, la OG llega de manera muy atenuada y por lo tanto estos efectos "entierran" la onda en una señal ruidosa. Para poder extraer la información útil, se debe utilizar un procedimiento que permita caracterizar el ruido y eliminar cuanto sea posible de éste.

II. PROCEDIMIENTO

El procedimiento aplicado a la señal es el propuesto en [1]. Para esto, se utilizará Python en Google Colab. En primera instancia, se aplica una función de ventana o "windowing" para evitar la filtración en la Densidad Espectral de Potencia (PSD). Luego, se caracteriza la PSD del ruido y se aplica un proceso de blanqueado, con lo que se disminuye la relevancia del ruido al normalizar la varianza. Luego, se aplica un filtro pasa banda para aislar las frecuencias de interés. Finalmente, la señal es resampleada con el fin de mejorar la calidad de la señal a través de interpolaciones.

III. SEÑAL

La señal de OG utilizada es la "GW200322_091133" extraída del catálogo <https://gwosc.org/eventapi/html/GWTC/>, la cual se presenta en la fig. 1.

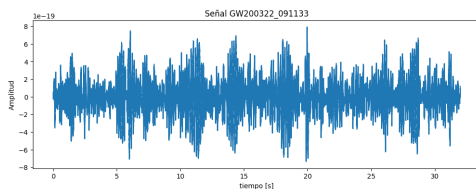


Fig. 1. Señal Original.

En el dominio de frecuencias, se comporta de la siguiente manera

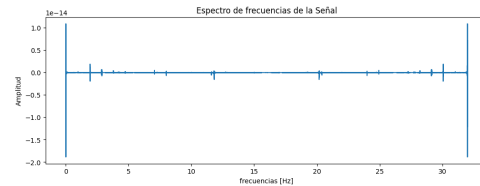


Fig. 2. Transformada de Fourier de la Señal.

La frecuencia de muestreo "fs" es de 16384 [Hz] y la cantidad total de muestras "M" es de 524288 muestras

IV. ANÁLISIS DE FOURIER Y WINDOWING

El procedimiento aplicado a la señal es el propuesto en [1]. Cuando se analizan señales con ruido, se pretende eliminar las componentes de frecuencia que lo caracterizan, por lo que se utiliza la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para estudiar el espectro de frecuencias. La FFT asume la señal que se repite en un tiempo infinito. Normalmente, las señales medidas en la realidad suelen ser discontinuas si se concatenan en un tiempo infinito. Esto genera una filtración en la densidad espectral de potencia [1].

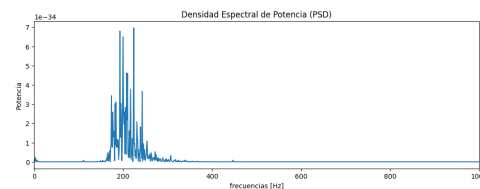


Fig. 3. Densidad Espectral de Potencia.

Para aminorar este efecto, se utiliza una función de ventana (windowing) para obligar a la señal a ser continua.

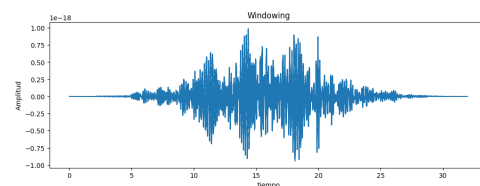


Fig. 4. Windowing para evitar filtraciones por discontinuidad.

Con esto, el PSD queda de la siguiente forma

Esto se aplica en el proceso de whitening en espacios de 4

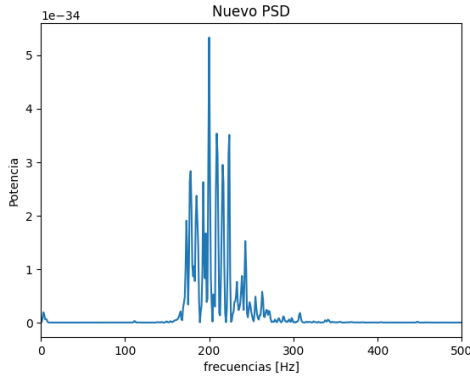


Fig. 5. PSD después del Ventaneo.

V. PROCESAMIENTO

El proceso de whitening tiene la función de disminuir la relevancia del ruido en la señal; es un proceso de normalización de la varianza (varianza unitaria). El procedimiento es el siguiente:

$$d(t) \xrightarrow{\text{FFT}} \tilde{d}(f) \xrightarrow{\text{Whiten}} \tilde{d}_w(f) = \frac{\tilde{d}(f)}{S_n^{1/2}(f)} \xrightarrow{\text{iFFT}} d_w(t).$$

De la señal "d" se transforma al dominio de frecuencia con la FFT. Se calculó el promedio del espectro de potencia del ruido (S_n). El whitening se consigue dividiendo la d en fourier por la raíz de S_n . Luego se aplica la transformada inversa para conseguir una señal blanqueada.

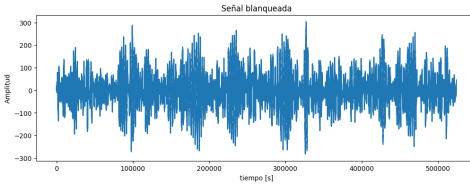


Fig. 6. Señal Blanqueada.

VI. FILTRADO Y RESAMPLEO

Para extraer información de interés, se aplica un filtro pasabandas que elimine las frecuencias que no interesan para el análisis. El filtro aplicado es un Butterworth de orden 3, entre 35 [Hz] y 350 [Hz]. Al aplicar el filtro a la señal blanqueada, se percibe un BUMP leve, el cual no es visible en la gráfica.

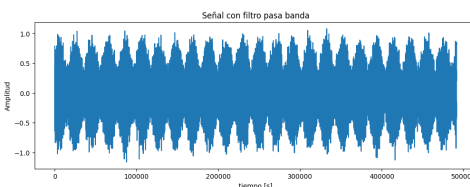


Fig. 7. Señal Filtrada.

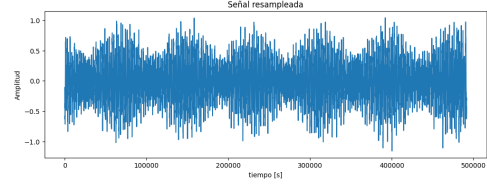


Fig. 8. Señal Resampleada.

Para mejorar la resolución del audio, se resamplea a una frecuencia de 4 veces fs.

En esta nueva señal no se aprecia gráficamente el punto de la OG. Al convertirla en audio, se aprecia un pequeño "bump" a la mitad del audio de 4 s con una frecuencia de sampleo de 8 veces fs.

VII. CONCLUSION

El correcto procesamiento de señales permite la extracción de información útil que puede estar muy escondida en una señal con ruido. Los procesos de blanqueamiento y filtrado permiten disminuir la relevancia y la potencia de las componentes de ruido y así resaltar la señal buscada. El resampleo permite mejorar la calidad del archivo, con lo que se resaltan detalles que podrían pasar desapercibidos. Finalmente, la conversión en audio permite percibir detalles que visualmente no se pueden mostrar.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

REFERENCES

- [1] B P Abbott et al, *A guide to LIGO–Virgo detector noise and extraction of transient gravitational-wave signals*. 2020 Class. Quantum Grav. 37 055002 .<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6382/ab685e>