

UNIVERSIDAD DE GRANADA



Departamento de Física Teórica y del Cosmos



DEPARTAMENTO DE FÍSICA TEÓRICA Y DEL COSMOS

INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFÍSICA Y
PREVENCIÓN DE DESASTRES SÍSMICOS

“Sistema de Análisis de Características Espectrales

De Registros Sísmicos”

(Spectral Features Analysis System for Seismic Records)

MANUAL DE USUARIO: VERSIÓN 1.1



Autor:

Ligdamis A. Gutiérrez E. PhD.

Volcán Masaya, Nicaragua
Foto por: Ligdamis A. Gutiérrez E.

Granada, España 2021- 2023

Índice General

<u>1.- Introducción</u>	3
<u>2.- Pantalla Inicial del Sistema</u>	4
<u>2.1.- Elementos de la pantalla inicial</u>	6
<u>3.- Pantalla de Análisis</u>	7
<u>3.1.- Elementos de la pantalla de análisis</u>	7
<u>3.1.1.- Bloque de Selección</u>	7
<u>3.1.2.- Bloque de presentación de Datos, metadatos y No. De Trazas del Registro</u>	8
<u>3.1.3.- Bloque de presentación de estadísticas generales del Registro</u>	8
<u>3.1.4.- Bloque de ruta y comandos de acción de gráficas, Salida y Regreso</u>	8
<u>3.2.- Elementos del bloque de selección</u>	8
<u>3.2.1.- Botón de Carga de Registro</u>	9
<u>3.2.2.- Botón Cleaning (Limpieza)</u>	10
<u>3.2.3.- Selección de tipo de filtro</u>	10
<u>3.2.4.- Selección de entradas</u>	11
<u>3.2.5.- Tipo de filtro Paso Bajo (Lowpass)</u>	11
<u>3.2.6.- Tipo de filtro Paso Alto (Highpass)</u>	12
<u>3.2.7.- Tipo de Filtro Paso Banda (Bandpass)</u>	13
<u>3.2.8.- Tipo de Filtro Suprime Banda (Bandstop)</u>	14
<u>3.2.9.- Selección de tipo de Análisis Espectral</u>	15
<u>3.2.10.- Espectro de Transformada de Fourier en el Dominio de la Frecuencia</u>	15
<u>3.2.11.- Espectrograma por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT)</u>	16
<u>3.2.12.- Espectrograma con filtro paso-banda incluido (Bandpass)</u>	17
<u>3.2.13.- Envolvente de la señal filtrada mediante filtro paso bajo (Lowpass)</u>	17
<u>3.2.14.- Densidad espectral de potencia mediante el método de Welch</u>	18
<u>3.2.15.- Periodograma con método clásico y cinco tipos de ventana Welch</u>	19
<u>3.2.16.- Transformada Wavelet Continua (CWT) del Registro</u>	19
<u>3.2.17.- Análisis de los Coeficientes Discretos de la Transformada Wavelet</u>	20
<u>3.3.- Bloque de presentación de Datos y metadatos</u>	22
<u>3.4.- Bloque de presentación de estadísticas generales del Registro</u>	23
<u>3.5.- Bloque de ruta y comandos de acción de gráficas, Salida y Regreso</u>	24
<u>3.5.1.- Validación de errores en registro o entradas</u>	25
<u>4.- Resultados de Secciones de Filtro y Análisis</u>	26
<u>4.1.- Ejemplo de resultados de selección de filtrado de registros</u>	26
<u>4.2.- Ejemplo de resultado de selección de análisis espectral</u>	27
<u>5.- Gráficas Resultantes</u>	28
<u>5.1.- Gráficas de Filtros y Zoom de los mismos</u>	28
<u>5.2.- Gráficas de Análisis Espectrales y Zoom de los mismos</u>	37
<u>6.- Barra de Herramientas de las gráficas</u>	43
<u>6.1.- Guardar las gráficas</u>	43
<u>6.2.- Edición de los ejes e imágenes de las Gráficas</u>	45
<u>Conclusión</u>	48
<u>Agradecimientos</u>	48
<u>Anexo A</u>	49
<u>A1.- Instalación de Python y librerías adicionales</u>	49
<u>A1.1. Contenido del paquete de Instalación</u>	49
<u>A1.2.- Instalación de Python en Windows</u>	49
<u>A1.3.- Instalación de librerías adicionales</u>	50
<u>A1.4 Instalación automática de las librerías en Windows a partir del PIP</u>	53
<u>Anexo B</u>	54
<u>Instalar librerías Python, para el correcto funcionamiento del sistema</u>	54

1.- Introducción

El Módulo: “*Sistema de Análisis de Características Espectrales de Registros Sísmicos (Spectral Features Analysis System for Seismic Records)*” constituye una interfaz amigable, que permite una fácil y eficiente gestión de los principales métodos de análisis espectrales para registros sísmicos. Se dispone de una versión del sistema en castellano y otra en inglés. En los anexos, se podrá encontrar información de la estructura de las carpetas y su contenido. El fácil acceso a cada uno de los elementos de análisis sísmico, facilita el que el observador pueda tener una visión mucho más clara de los diferentes tipos de registros sísmicos que se producen en un volcán. Lo que constituye, en una ayuda primordial al observador humano en la comprensión de los procesos que se desarrollan en un determinado período de actividad de los volcanes.

La aplicación, a través de las librerías incorporadas, permite la lectura de diversos formatos sísmicos como son: SAC, MSEED, GSE2, EVT, WAV entre otros. Pudiéndose aplicar a continuación, diversas técnicas de filtrado y análisis espectrales para de esta forma, comprender mucho mejor las características de cada registro. Logrando así, un mejor conocimiento del tipo de evento al que pueda pertenecer y por lo tanto, brindar al observador un mayor valor añadido para concluir a posteriori, en una clasificación más eficiente y un mejor entrenamiento de las señales sísmicas.

Esta versión actualizada (1.1) del módulo de análisis la compone una sola interfaz, que abarca diversas herramientas que servirán para el análisis de los registros sísmicos. El módulo, además brinda la capacidad de poder almacenar los resultados gráficos en diversos formatos, tales como: PNG, JPG, EPS, PS, PDF, RAF, TIF, entre otros.

El módulo y todo el sistema, han sido desarrollados en el lenguaje Python, versión 3.8.6. (*El conjunto de librerías son compatibles con la versión 3.10.10*). Asimismo, se incluyen una serie de librerías de libre acceso que, en conjunción con Python, trabajan y facultan el uso de herramientas gráficas y de análisis, otorgando sencillez en su uso e incrementando la potencia de cálculo para el usuario. Enumerando algunos de los principales elementos y librerías aquí utilizados, se encuentran los siguientes:

- **Matplotlib**: Para generar gráficos. (<https://matplotlib.org/stable/users/index.html>)
- **NumPy**: Para el cálculo numérico. (<https://numpy.org/doc/stable/user/quickstart.html>)
- **PyQt5**: Herramienta que enlaza con la biblioteca gráfica Qt5 en C++ (<https://pypi.org/project/PyQt5/>)
- **Obspy**: Para el procesamiento de datos sismológicos. (<https://docs.obspy.org/>)
- **Tkinter**: Interfaz gráfica de usuario GUI (<https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>)

Otra de las características principales del sistema es su definición como multiplataforma, es decir, que puede funcionar bajo diversas plataformas o sistemas operativos, tales como Windows (7, 8, 10, 11), en versiones para 32 y 64 bits. Además de sistemas Linux, como Ubuntu y otros sistemas similares (*Debian, Red Hat, Fedora, SUSE, etc.*), Mac, o Android para Tablets y móviles (*previa adecuación de Python para estos dispositivos*).

NOTA: *En los anexos de este mismo documento (al igual que en los ficheros Readme.txt e Initials_requirements.txt), se podrá acceder a los aspectos generales de la instalación en sistemas Windows y Linux, así como establecer las pautas necesarias de la instalación de los programas principales y las librerías adicionales que Python requiere, para ejecutar correctamente los programas desarrollados en su entorno.*

2.- Pantalla Inicial del Sistema

En los anexos de este documento y en el fichero “README.txt” adjunto en la carpeta “Documentos” se presentan las instrucciones para la instalación del sistema en Windows (*El proceso en sistemas Linux es similar*). Básicamente hay que realizar dos acciones:

- Copia de la carpeta “Set_tools_System_1_1” en “Mis documentos” de Windows.
- Copia del fichero “Set_tools_System_1_1.bat” en el escritorio de Windows.

Asimismo, están las instrucciones para instalar las librerías de Python necesarias en el sistema. Una vez copiado “Set_tools_System_1_1.bat” en el escritorio, se debe de dar clic derecho e indicar: “Ejecutar como administrador”.

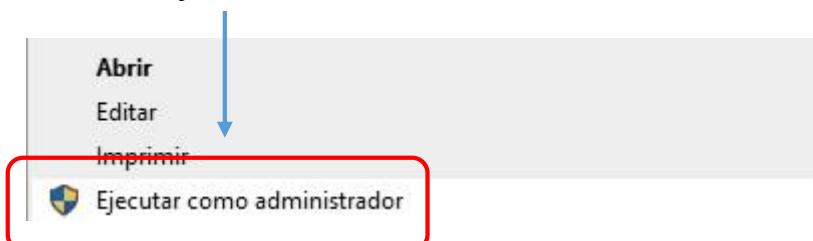


Fig. 1 Ventana emergente al dar clic derecho del ratón al fichero “Set_tools_System_1_1.bat”

En la pantalla que se abre, dar clic en el botón “Sí”, cuando pregunte “*Desea permitir que esta aplicación realice cambios en su ordenador*”. Este es un mensaje de advertencia. Sin embargo, la aplicación no realiza ningún cambio. Por lo que se debe de confiar en su ejecución.

Al dar clic a “*SI/Yes*”, se abre la siguiente ventana de comandos, que indica la bienvenida al sistema.

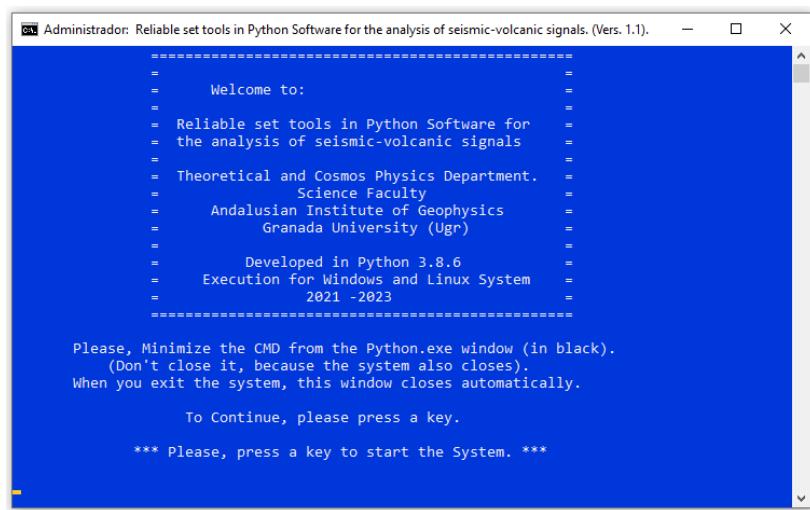


Fig. 2 Pantalla de Bienvenida e instrucciones para carga del sistema.

Después de leer lo que indica la ventana, solo se debe de proceder a presionar cualquier tecla, para acceder a la pantalla inicial del sistema. Este ya debe estar previamente copiado en “*Mis documentos*” y el fichero “*Set_tools_System_1_1.bat*” tiene todas las instrucciones de carga.

La pantalla inicial del sistema es “[Menu.py](#)”. Se visualiza cuando se presiona cualquier tecla en la pantalla de Bienvenida. Adicionalmente, se presenta la ventana o consola de comando de Python, similar a la siguiente:

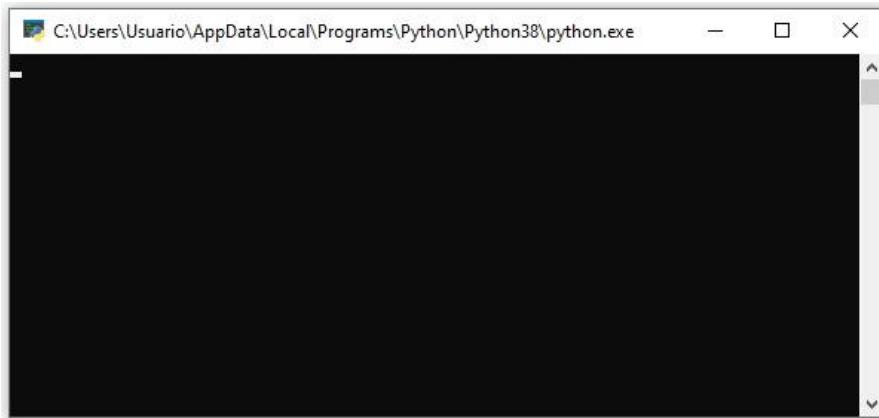
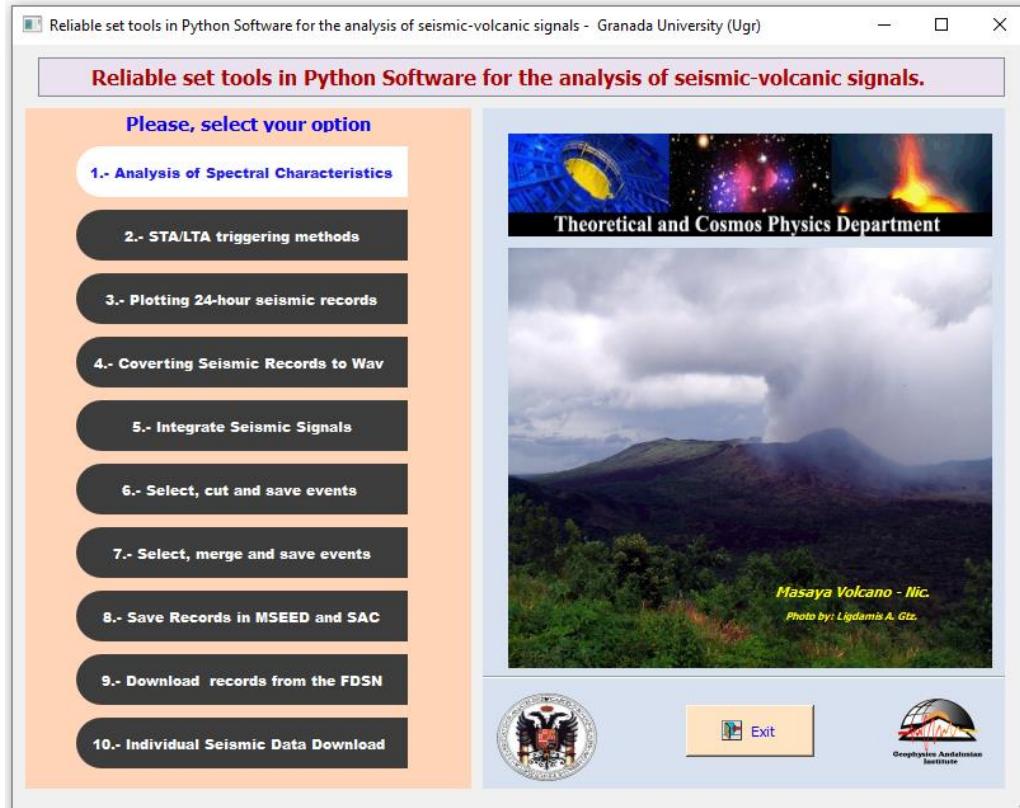


Fig. 3 Pantalla de consola (CMD) de Python (*Se debe de minimizar*)

Para que no obstruya la visión, se puede y es conveniente “[minimizar](#)” dicha pantalla. “**No**” hay que cerrarla, ya que esto también cerraría la ventana de inicio del sistema. Una vez finalizado los trabajos con el sistema. Al salir, esta ventana se cierra automáticamente. La pantalla inicial de presentación del sistema (*el menú de los módulos*) es la siguiente.



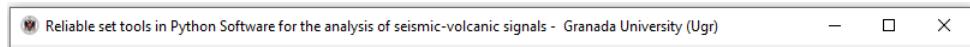
NOTA: Al pulsar o dar clic al botón del módulo, se cierra la ventana de inicio y se abre la ventana del módulo (dependiendo de la memoria del PC esto tarda un poco. Es recomendable disponer de al menos 8 GB de memoria en el sistema, 16 GB sería lo ideal.).

Fig. 4 Pantalla Menú principal. Resultado se observa el módulo a trabajar. Módulo 1 (*Analysis of Spectral Characteristics*).

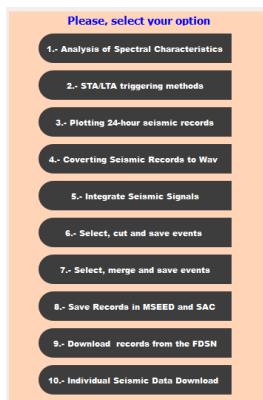
2.1.- Elementos de la pantalla inicial

Como se observa en la figura anterior, la pantalla inicial o de presentación, es una ventana sencilla, que está compuesta por:

- a) la barra superior de herramienta con la información básica del módulo.
- b) En la parte izquierda se presentan 10 botones de ejecución o de comandos de llamada a cada módulo del sistema.
- c) En la parte inferior un botón de comando que permite la salida del sistema.
- d) Además se presentan: una imagen de fondo, que representa un volcán (*Masaya de Nicaragua*), tres imágenes con los logotipos de la Universidad de Granada, el Instituto Andaluz de Geofísica y el departamento de física teórica y del cosmos.
- a) En la parte superior se encuentra visible el icono de la Universidad, el título del módulo y la reseña a la Universidad de Granada (Ugr).



- b) En la parte izquierda se presentan 10 botones de ejecución o de comandos de llamada a cada módulo del sistema. Cuando se coloca el puntero del ratón (mouse), sobre cada uno de los botones quedan resaltados en blanco, para indicar que está siendo seleccionado. Al pulsar o dar clic a dicho botón, se cierra la ventana de inicio del menú y se abre la ventana del módulo indicado (*dependiendo de la memoria del PC esto tarda un poco*).



- c) En la parte inferior se observan un botón de comandos: Exit (Salir). Cuando se coloca el puntero del ratón (mouse), sobre cada uno de los botones, se presenta un texto que indica la acción de dicho botón (salida Sistema, Inicio Sistema).



Si se pulsa o da clic al botón de “Salir”, se presenta una ventana que pregunta al usuario, si está seguro de abandonar el sistema.

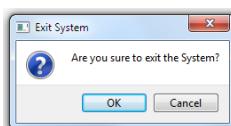


Fig. 5 Caja de texto que indica si se desea salir del sistema.

En caso de dar “OK”, se cierra la pantalla y se completa la salida del sistema. En caso de dar clic a “cancelar”, se continúa en la pantalla inicial.

3.- Pantalla de Análisis

La “pantalla de análisis” es la interfaz principal del módulo, donde se realizan las actividades que componen las herramientas de lectura de registros, filtrado y análisis espectral de los registros sísmicos. Dicha pantalla que se compone de 6 partes siguientes.

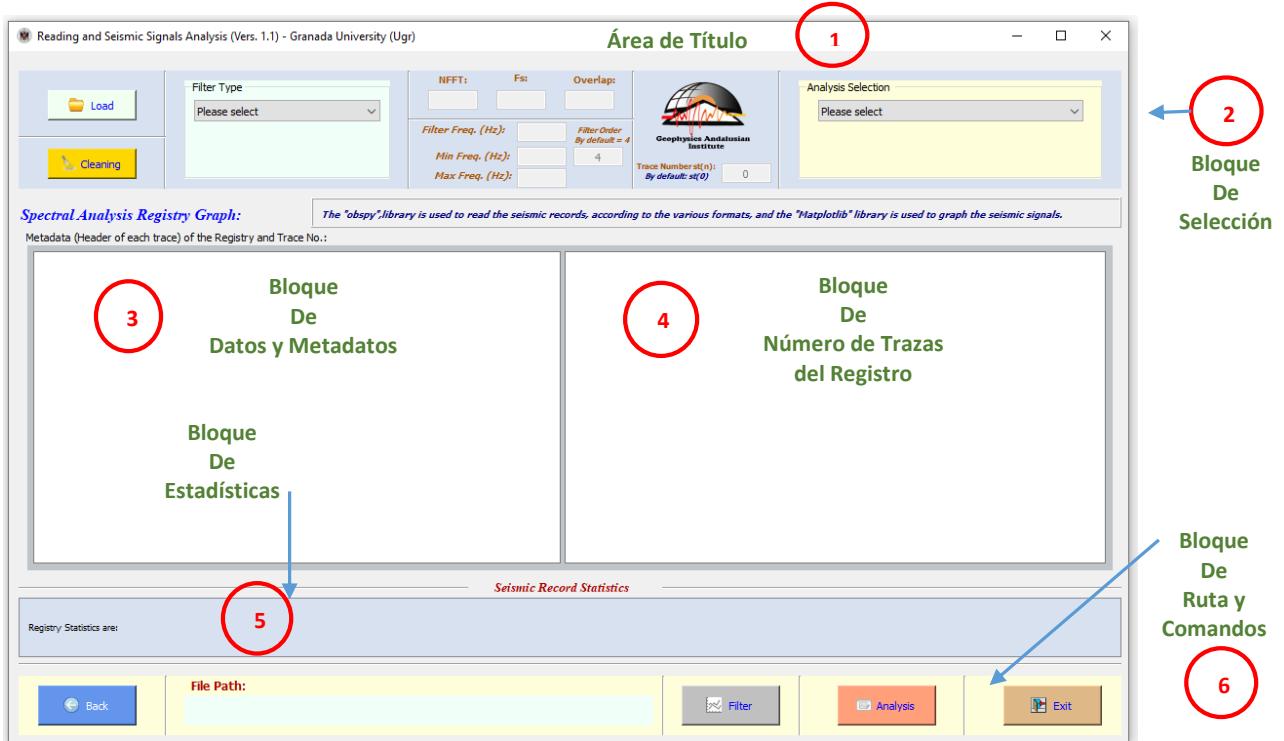
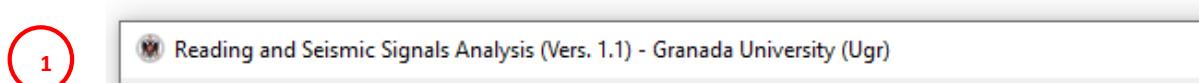


Fig. 6 Elementos de la Pantalla de análisis del sistema.

La pantalla se conforma de diversos elementos para su utilización. En la parte superior se observa; Nombre del programa, icono, nombre de la Universidad y autor como título (1).



Los elementos que integran la pantalla principal se detallan a continuación.

3.1.- Elementos de la pantalla de análisis

Aparte del número 1, se han distribuido los 5 elementos de la pantalla de análisis en cinco bloques principales que se enumeran del (2-6) en los círculos rojos.

3.1.1.- Bloque de Selección. (2)

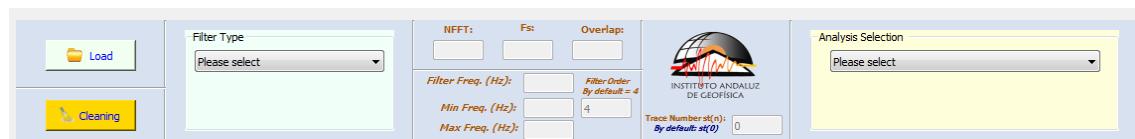


Fig. 7 Bloque de elementos de selección.

3.1.2. – Bloque de presentación de Datos, metadatos y No. De Trazas del Registro (3 y 4)

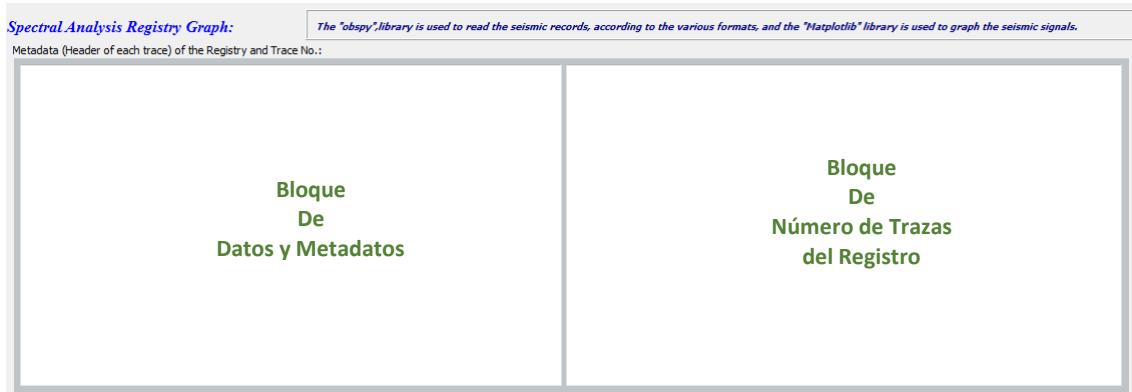


Fig. 8 Bloque de Datos, Metadatos y No. De Trazas del Registro

3.1.3.- Bloque de presentación de estadísticas generales del Registro (4).



Fig. 9 Bloque de Estadísticas generales del Registro

3.1.4.- Bloque de ruta y comandos de acción de gráficas, Salida y Regreso (5)

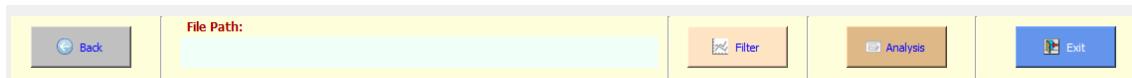


Fig. 10 Bloque de ruta, comandos de gráficos y análisis. Salida y regreso

3.2.- Elementos del bloque de selección

Este bloque, lo configuran en primer lugar, la sección que agrupa los botones de acción para cargar el registro y limpieza de datos.

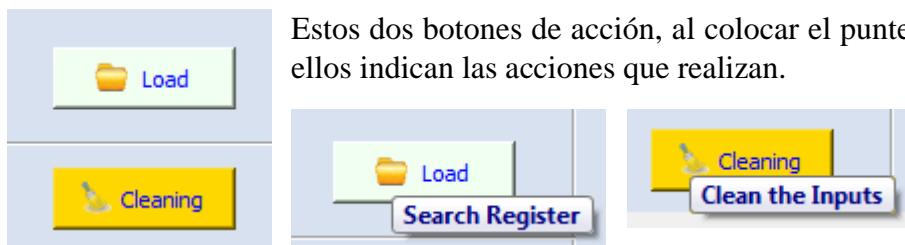


Fig. 11 Botones de Registro y Limpieza de datos.

Como se observa, el botón “**Load**”, realiza la búsqueda y carga de los registros sísmicos de diversos formatos. El botón de “**Cleaning (Limpieza)**”, limpia o borra los elementos de entrada, además de cerrar los gráficos existentes y dejar la pantalla de análisis como al inicio, preparada para una nueva búsqueda y análisis espectral de los eventos.

3.2.1.- Botón de Carga de Registro.



La acción del botón de “**Load (Carga de Registro)**”, permite al hacer clic, abrir una ventana de explorador (*por defecto, se encuentra el camino en el directorio raíz “C” del PC*), presentando las opciones de los diversos tipos de formatos a buscar y permitiendo realizar dicha búsqueda en el directorio del ordenador. Esto se observa en la siguiente pantalla.

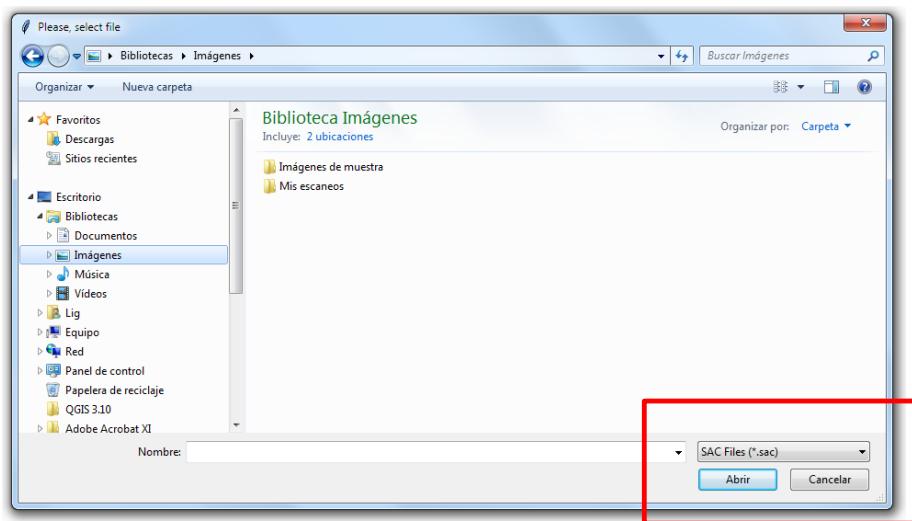


Fig. 12 Pantalla de Selección de Registros.

En esta pantalla (*El Idioma de acuerdo al sistema*), se seleccionan los registros de acuerdo al formato (**cuadro rojo**) que se deseé (SAC, MSEED, GSE2, EVT, etc.). Esto es posible a través de la librería de lectura de formatos sísmicos “**Obspy**”. Una vez seleccionados, se da clic al botón de “**Abrir**” y este se cargará a la pantalla de análisis. En caso contrario se da clic al botón de “**Cancelar**” y la acción regresa a la pantalla de análisis. El proceso de selección de un registro se observa en la siguiente pantalla.

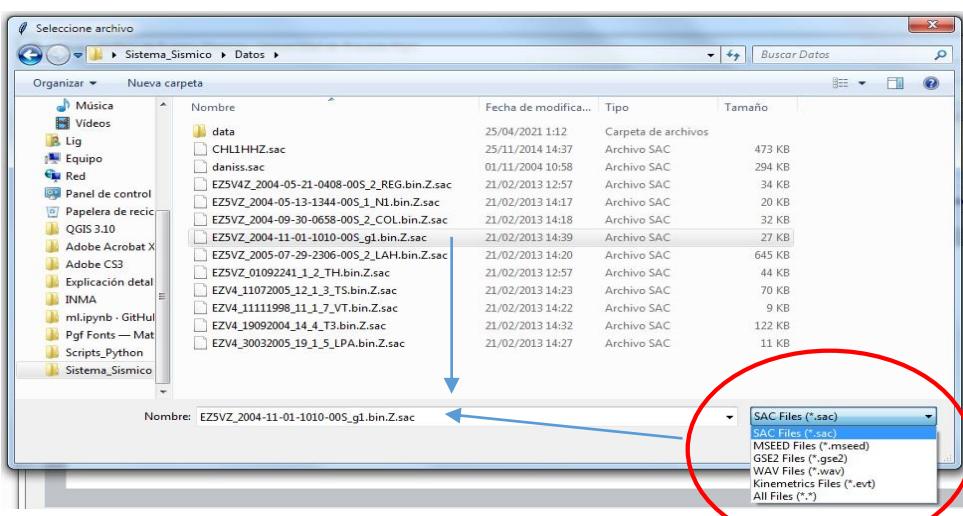


Fig. 13 Pantalla de Selección de un registro SAC

En la pantalla se observa en la parte inferior derecha, señalado mediante el círculo rojo, desplegados mediante la flecha, la lista de los más generales tipos de formatos sísmicos soportados y/o utilizados en observatorios e institutos a nivel mundial (*SAC*, *MSEED*, *GSE2*, *WAV*, *EVT*).

Al seleccionar un determinado tipo, se presentan los registros de acuerdo a dicho formato. Ejemplo los “*SAC*” que se encuentran almacenados. Al dar clic al registro que se deseé, como se observa, este se coloca en el cuadro “Nombre”. En este momento es cuando se da clic al botón que se presentó en la pantalla anterior “Abrir”, lo que hace que cargue, la dirección o ruta “Path”, de la ubicación física del registro en el sistema. Dicha ruta se presentará en el cuadro “Ruta Archivo”, situado en la parte inferior de la pantalla de análisis.

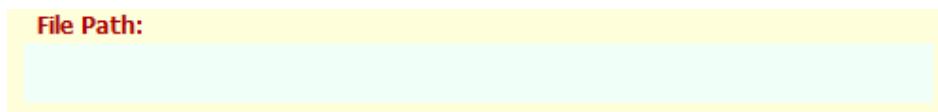
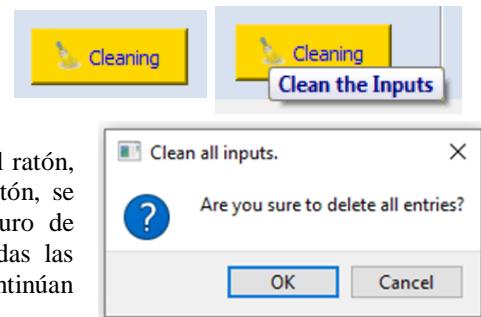


Fig. 14 Cuadro de ruta de archivo, que presenta la ubicación del registro.

Este es un aspecto importante, ya que de ello depende que posteriormente se pueda ubicar el archivo físico donde se encuentra almacenado el registro en el ordenador, para poder ser analizado. En caso de que el archivo sea inválido, o no se encuentre, se presentará una ventana de validación que lo indicará (Cfr. Fig. 48, página 25).

3.2.2.- Botón Cleaning (Limpieza).

Al dar clic en este botón, se borran todas las entradas en la pantalla. Se limpiarán los cuadros de texto de entrada de datos y de la ruta o carpeta donde se almacenará el registro a descargar y borrarán todas las entradas que en ese momento se encuentren activas y con datos. Se restaura los valores iniciales de la interfaz principal (Cfr. Fig. 6). Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función. Al dar clic al botón, se presenta una ventana que pregunta al usuario, si está seguro de eliminar los ingresos de datos. En caso positivo, borra todas las entradas y deja la interfaz a su forma inicial. Caso contrario, continúan las actuales entradas en la interfaz.



3.2.3.- Selección de tipo de filtro

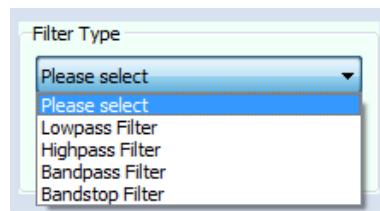


Fig. 15 Selección de tipo de filtro mediante listado

En esta sección, se presenta un listado desplegable de los diversos tipos de filtros disponibles para analizar los registros. Aquí se encuentran como se pueden observar el cálculo de filtros de tipo: *Paso-Bajo* (*Lowpass*), *Paso-Alto* (*Highpass*), *Paso-Banda* (*BandPass*) y *Suprime-Banda* (*BandStop*). Al seleccionar cada uno de estos elementos, se activará una o varias de las casillas situadas en la sección continua, que corresponden a las entradas de datos para realizar los cálculos. En el valor inicial “Please Select (Seleccione)”, las entradas retornan a los valores iniciales, al igual que el listado de análisis.

3.2.4.- Selección de entradas.



Fig. 16 Selección de entrada a calcular y número de traza del registro (por defecto = 0)

Dichas entradas estarán en correspondencia de acuerdo al tipo de selección, tanto de filtro como de análisis se realice por parte del(a) usuario (el orden del filtro por defecto = 4). El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí. Las entradas están validadas para aceptar solo números, incluyendo decimales y negativos, a excepción de las entradas de los coeficientes discretos Wavelet (*donde cambian las etiquetas y el tipo de dato*). Respecto al tipo de filtro, las entradas a activarse son las siguientes:

3.2.5.- Tipo de filtro Paso-Bajo (Lowpass)¹



Fig. 17 Ejemplo Selección de tipo Paso Bajo (Lowpass). En los círculos rojos las entradas a realizar (Frecuencia y Orden del Filtro).

Al seleccionar este tipo de filtro, se activan las casillas de:

- Frecuencia de Filtro (Hz): Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.
- Orden del Filtro: En esta casilla se debe dar un valor válido al orden del filtro con el que se desea realizar el cálculo. Generalmente de orden 2 o 4 (*por defecto se establece a un valor = 4*).

Como se observa, las demás casillas permanecen inactivas. Además de que se inactiva el listado de selección de análisis y su correspondiente comando para graficar. Una vez realizadas las acciones, dar clic en el botón de “**Filter**” En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de Gráfica), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las dos casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las dos entradas incorrectas a presentar son las siguientes:

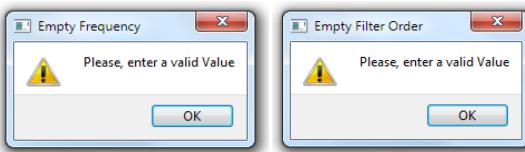


Fig. 18 Validación entradas frecuencia y orden de filtro.

¹ El filtro Paso-bajo bloquea las señales de alta frecuencia y deja pasar las de baja frecuencia (frecuencias inferiores a la frecuencia de corte).

3.2.6.- Tipo de filtro Paso-Alto (Highpass)²



Fig. 19 Selección de tipo Paso Alto (Highpass). En los círculos rojos las entradas a realizar (Frecuencia y Orden del Filtro).

De forma similar al anterior filtro, al seleccionar este tipo de filtro, se activan las casillas de:

- Frecuencia de Filtro (Hz): Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.
- Orden del Filtro: En esta casilla se debe dar un valor válido al orden del filtro con el que se desea realizar el cálculo. Generalmente de orden 2 o 4 (por defecto se establece a un valor = 4).

Como se observa, las demás casillas permanecen inactivas. Además de que se inactiva el listado de selección de análisis y su correspondiente comando para graficar. Una vez realizadas las acciones, dar clic en el botón de “**Filter**”



El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí. En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de **Filter**), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las dos casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indica que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además, permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las dos entradas incorrectas a presentar son las siguientes:

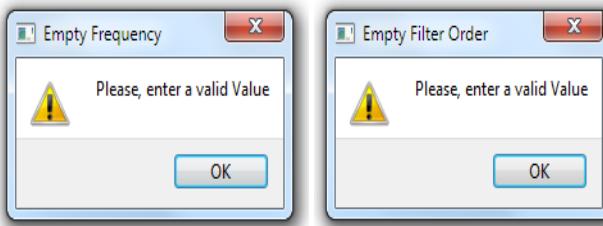


Fig. 20 Validación entradas frecuencia y orden de filtro.

² El filtro Paso-alto bloquea las señales de baja frecuencia y deja pasar las de alta frecuencia (frecuencias superiores a la frecuencia de corte).

3.2.7.- Tipo de Filtro Paso-Banda (Bandpass)³



Fig. 21 Selección de tipo Paso-Banda (Bandpass). En el cuadro rojo se observan las entradas (Frec. Min, Frec. Máx. Y Orden de Filtro).

Al seleccionar este tipo de filtro, se activan las casillas de:

- Frecuencia Mínima de Filtro (Hz):** Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia mínima que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.
- Frecuencia Máxima de Filtro (Hz):** En esta casilla se debe ingresar un valor válido a la frecuencia máxima que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.
- Orden del Filtro:** En esta casilla se debe dar un valor válido al orden del filtro con el que se desea realizar el cálculo. Generalmente de orden 2 o 4 (por defecto se establece a un valor = 4).

Como se observa, las demás casillas permanecen inactivas. Además de que se inactiva el listado de selección de análisis y su correspondiente comando para graficar. Una vez realizadas las acciones, dar clic en el botón de “**Filter**”



El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí. En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de **Filter**), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las tres casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las tres entradas incorrectas a presentar son las siguientes:

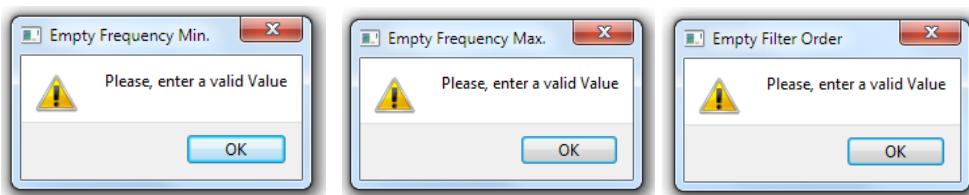


Fig. 22 Validación de las entradas para filtro Paso-Banda (Bandpass).

³ El filtro Paso-banda deja pasar el contenido espectral sólo en un entorno de la frecuencia central. Esta ventana es creada a través de un valor de frecuencia mínimo y un valor de frecuencia máximo. Elimina el ruido asociado a bajas y altas frecuencias generadas (y/o residuales).

3.2.8.- Tipo de Filtro Suprime-Banda (Bandstop)⁴



Fig. 23 Selección de tipo Suprime-Banda (Bandstop). En el cuadro rojo se observan las entradas (Frec. Min., Frec. Máx. Y Orden de Filtro).

Al seleccionar este tipo de filtro, se activan las casillas de:

- Frecuencia Mínima de Filtro (Hz): Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia mínima que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.
- Frecuencia Máxima de Filtro (Hz): En esta casilla se debe ingresar un valor válido a la frecuencia máxima que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.
- Orden del Filtro: En esta casilla se debe de dar un valor válido al orden del filtro con el que se desea realizar el cálculo. Este generalmente es de orden 2 o 4.

Como se observa, las demás casillas permanecen inactivas. Además de que se inactiva el listado de selección de análisis y su correspondiente comando para graficar. Una vez realizadas las acciones, dar clic en el botón de “**Filter**”.



El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí. En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de **Filter**), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las tres casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las tres entradas incorrectas a presentar son las siguientes:

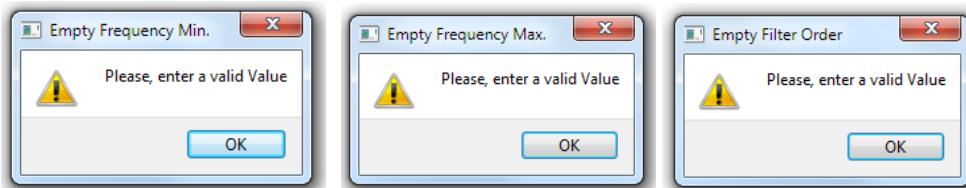


Fig. 24 Validación de las entradas para filtro Suprime-Banda (Bandstop).

⁴ El filtro Suprime-banda no permite el paso de señales cuyas frecuencias se encuentran comprendidas entre las frecuencias de corte superior e inferior. Es decir, elimina frecuencias o detiene una banda de frecuencias en particular.

3.2.9.- Selección de tipo de Análisis Espectral

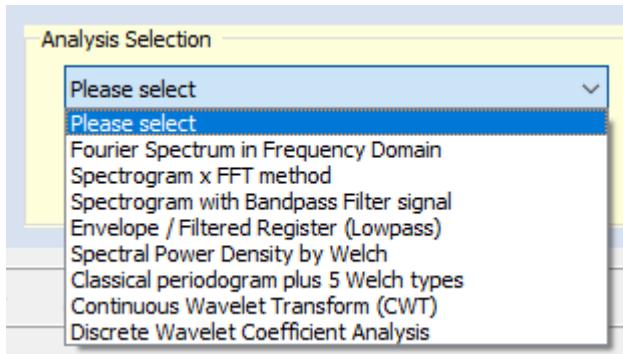


Fig. 25 Selección de tipo de análisis espectral mediante listado.

En esta sección, se presenta un listado desplegable de los diversos tipos de análisis espectrales disponibles para analizar los registros. Al igual que en los filtros, las entradas solo aceptan números, incluyendo decimales y negativos. Aquí se encuentran, como se pueden observar ocho tipos de análisis espectrales más generales:

- Espectro de Transformada de Fourier en el Dominio de la Frecuencia.
- Espectrograma por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT).
- Espectrograma con filtro paso-banda incluido.
- Envolvente de la señal filtrada mediante filtro paso-bajo (Lowpass).
- Densidad espectral de potencia mediante el método de Welch.
- Periodograma clásico más cinco tipos de ventana Welch.
- Transformada Wavelet Continua (CWT) del Registro.
- Análisis de los Coeficientes Discretos de la Transformada Wavelet.

Al seleccionar cualquier elemento de esta sección, se activa automáticamente el botón para graficar dichos análisis y se desactivará tanto la selección como el botón de gráfica de la selección de filtrados. De la misma forma que en el listado de filtrado, en el valor inicial “Seleccione”, los valores retornarán a los iniciales, al igual que el listado de filtrado. Los elementos que componen el listado de análisis se detallan a continuación.

3.2.10.- Espectro de Transformada de Fourier en el Dominio de la Frecuencia⁵

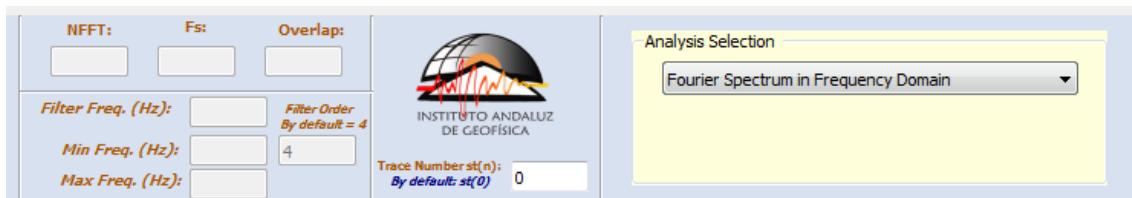


Fig. 26 Selección de Espectro de Transformada de Fourier en el Dominio de la Frecuencia

Los cálculos para representar el espectro del registro en el dominio de la frecuencia se encuentran determinados de forma automática. Como resultado se presenta: a) El Registro original, b) La transformada FFT en Frecuencia, c) La Magnitud logarítmica del espectro y d) La magnitud en Fase del Espectro. Una vez seleccionada esta opción, dar clic en el **Analysis**

⁵ Bracewell, R., & Kahn, P. B. (1966). The Fourier transform and its applications. *American Journal of Physics*, 34(8), 712-712.

No existen valores de entrada. Los cálculos están incluidos en el código. El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí.

3.2.11.- Espectrograma por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT)⁶

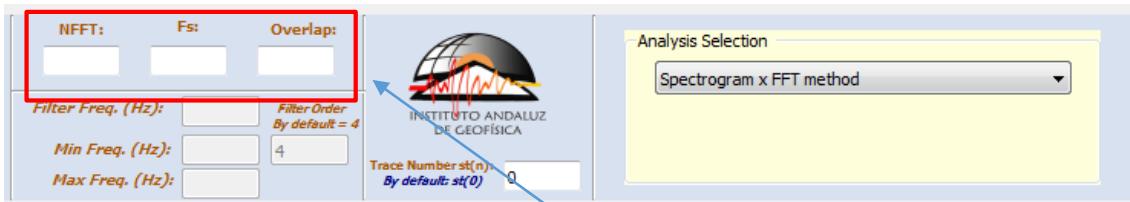


Fig. 27 Selección de Espectrograma por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT)

Al seleccionar este tipo de análisis se activan **tres casillas** en la entrada de datos:

- Valor en número de FFT (NFFT): Número de muestras (samples) de la Transformada rápida de Fourier (N-FFT). Ejemplo: (128, 512, 1024, 2048 o 4096)
- Valor de la frecuencia de muestreo “Fs”.
- Valor en número del solapamiento (overlap)

Como se observa, las demás casillas permanecen inactivas. Además, de que se inactiva el listado de selección de filtro y su correspondiente comando para graficar. Una vez seleccionada esta opción, para ver la gráfica, se debe dar clic en el botón de “**Analysis**”



El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí. En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de *Analysis* para Graficar), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las tres casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las tres entradas incorrectas a presentar son las siguientes:



Fig. 28 Validación de las entradas (NFFT, Fs y Overlap) para el cálculo del Espectrograma por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT)

⁶ Thyagarajan, K. S., & Thyagarajan, K. S. (2019). Fast Fourier Transform. *Introduction to Digital Signal Processing Using MATLAB with Application to Digital Communications*, 385-426.

3.2.12.- Espectrograma con filtro paso-banda incluido (Bandpass)

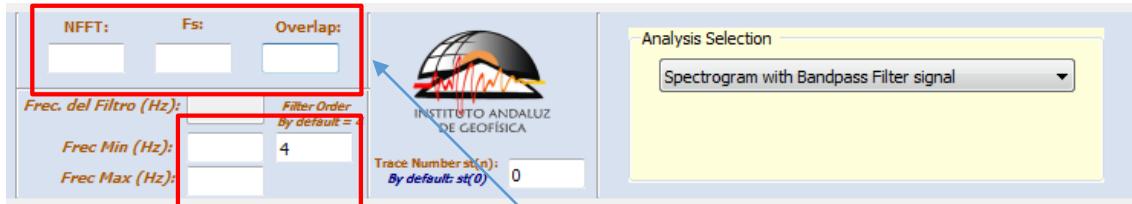
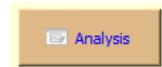


Fig. 29 Selección de Espectrograma con filtro paso-banda incluido (Bandpass)

Al seleccionar este tipo de análisis se activan **seis casillas** en la entrada de datos:

- Valor en número de FFT (NFFT)
- Valor de la frecuencia de muestreo “Fs”
- Valor en número del solapamiento (overlap)
- Valor de la Frecuencia Mínima de Filtro (Hz)
- Valor de la Frecuencia Máxima de Filtro (Hz)
- Valor del orden del filtro (por defecto = 4).

Como se observa, las demás casillas permanecen inactivas. Además, de que se inactiva el listado de selección de filtro y su correspondiente comando para graficar. Una vez seleccionada esta opción, para ver la gráfica, se debe dar clic en el botón de “**Analysis**”



El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí. En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de **Analysis** para Graficar), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las tres casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las tres entradas incorrectas a presentar son las siguientes:

3.2.13.- Envolvente de la señal filtrada mediante filtro paso-bajo (Lowpass)

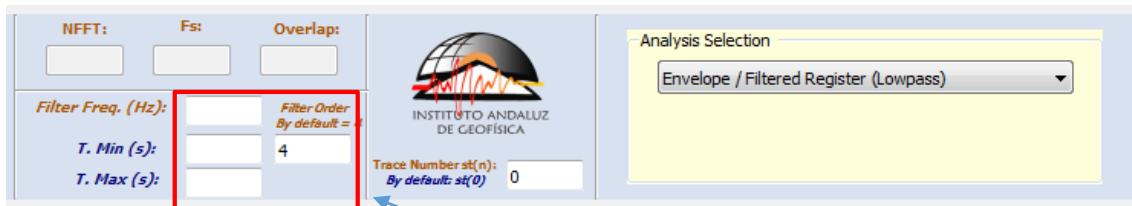


Fig. 30 Selección de Envolvente de la señal filtrada mediante filtro paso bajo (Lowpass)

Al seleccionar este tipo de análisis se activan **cuatro casillas** en la entrada de datos:

- Valor de la Frecuencia del Filtro (Hz)
- Valor del tiempo mínimo a calcular en segundos (s)
- Valor del tiempo máximo a calcular en segundos (s)
- Valor del orden del filtro (por defecto = 4).

Como se observa, se cambia el texto en las casillas anteriores destinadas a frecuencia mínima y máxima, por el de **tiempo mínimo** y **máximo** (este valor retornara al seleccionar otro tipo de análisis, filtro o limpieza de la entrada de datos), las restantes casillas permanecen inactivas. El número de traza por defecto = 0. La validación, convierte las entradas a números enteros en lugar de decimales. Además, se inactiva el listado de selección de filtro y su correspondiente comando para graficar.

Una vez seleccionada esta opción, dar clic en el botón de “**Analysis**”



El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí. En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de **Analysis** para Graficar), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las cuatro casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las cuatro entradas incorrectas a presentar son las siguientes:

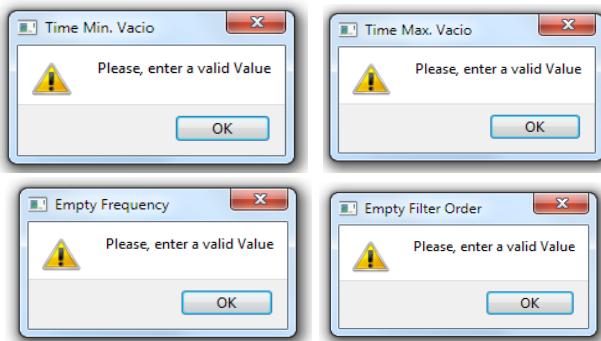


Fig. 31 Validación de las entradas (Tiempo Mínimo, Tiempo Máximo, Frecuencia y Orden del Filtro), para el cálculo de la Envoltoría de la señal filtrada mediante filtro paso-bajo (Lowpass)

3.2.14.- Densidad espectral de potencia mediante el método de Welch

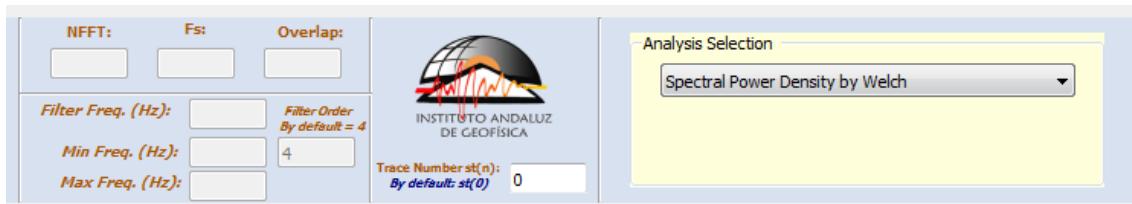
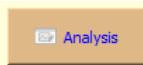


Fig. 32 Selección de Densidad Espectral de Potencia, vía método de Welch

Los cálculos para representar el espectro del registro en el dominio de la frecuencia se encuentran determinados de forma automática, de forma que no se activa ninguna casilla de entrada de datos y por consiguiente no existe validación de entradas. Una vez seleccionada esta opción, dar clic en el botón de “**Analysis**”.



No existen valores de entrada. Los cálculos están incluidos en el código. El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí.

3.2.15.- Periodograma con método clásico y cinco tipos de ventana Welch.

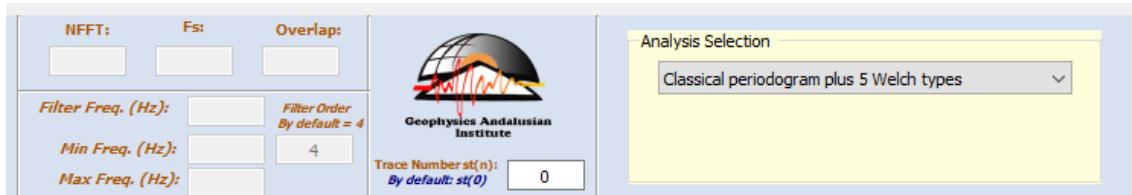


Fig. 33 Selección de Periodograma clásico más cinco tipos de ventana Welch.

Los cálculos para representar el espectro del registro en el dominio de la frecuencia se encuentran determinados de forma automática, de forma que no se activa ninguna casilla de entrada de datos y por consiguiente no existe validación de entradas. Los resultados se presentan a través de gráficas calculados por seis tipos diferentes de métodos: a) El Periodograma **clásico**, b) Periodograma por método **Welch con ventana “Hann”**, c) Periodograma por método **Welch con ventana “Hamming”**, d) Periodograma por método **Welch con ventana “Barlet”**, e) Periodograma por método **Welch con ventana “Backman”**, f) Periodograma por método **Welch con ventana “flattop”**. Adicionalmente, se presenta una nueva gráfica con la comparación de los seis tipos antes mencionados. El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí.

3.2.16.- Transformada Wavelet Continua (CWT) del Registro

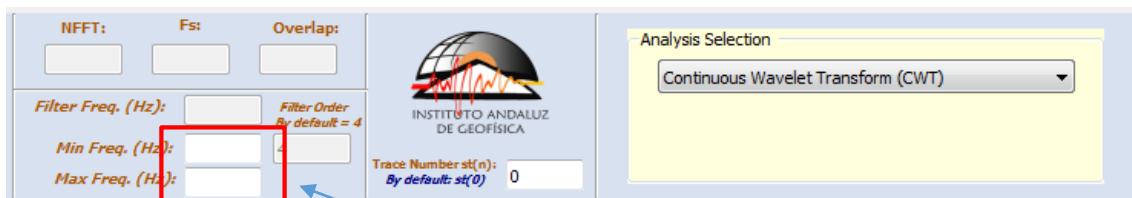


Fig. 34 Selección de Transformada Wavelet Continua (CWT)

Al seleccionar este tipo de filtro, se activan **dos casillas** de:

- Frecuencia Mínima** de Filtro (Hz): Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia mínima que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.
- Frecuencia Máxima** de Filtro (Hz): En esta casilla se debe ingresar un valor válido a la frecuencia máxima que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro.

Como se observa, las demás casillas permanecen inactivas. Además de que se inactiva el listado de selección de Filtros y su correspondiente comando para graficar. Una vez seleccionada esta opción, dar clic en el botón de “Análisis”. (*Se debe tener cuidado con ficheros grandes [1 día o más], debido a que estos precisan mucha capacidad de cálculo de las Wavelets, lo que hace que el sistema se sature*). El valor del número de traza se encuentra por defecto = 0. En caso de haber múltiples trazas, por ejemplo, en registros MSEED o SEISAN, que tengan ya sea las tres componentes o diversos valores, se indicará el número de traza deseado a partir de cero aquí.

En caso de que se quiera graficar (*dar clic al botón de Gráfica*), sin haber ingresado un valor válido o ingresar un valor fuera de rango o no válido en cualquiera de las dos casillas, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. Esta caja de diálogo además permite que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las dos entradas incorrectas a presentar son las siguientes:

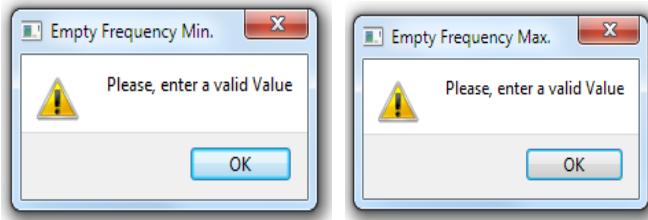


Fig. 35 Validación de las entradas para el cálculo de la Transformada Wavelet Continua (CWT)

3.2.17.- Análisis de los Coeficientes Discretos de la Transformada Wavelet

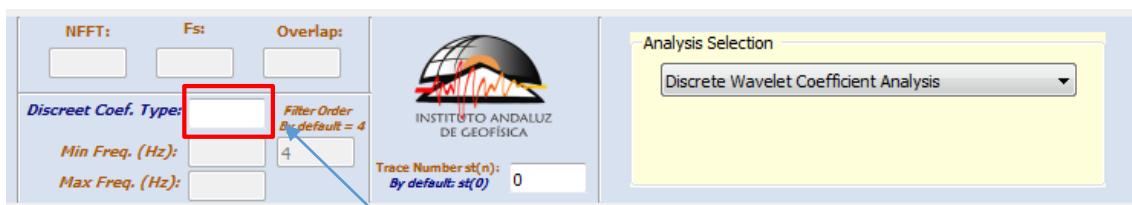


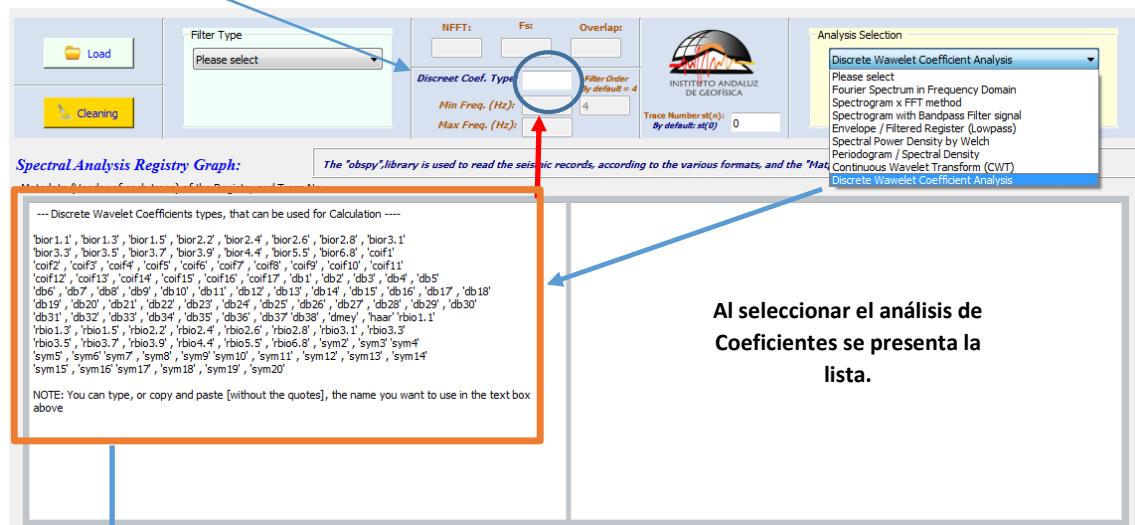
Fig. 36 Selección de Análisis de los Coeficientes Discretos de la Transformada Wavelet

Al seleccionar este elemento, se activa **una casilla** de entrada que pide el ingreso del “Discret Coef. Type (**tipo de coeficiente discreto**)”. A diferencia de las anteriores casillas que solo permiten entradas de tipo numéricas, esta casilla está validada para permitir también el uso de caracteres alfanuméricos que son necesarios en la nomenclatura de los coeficientes discreto Wavelets. A vista del usuario, este proceso es transparente, validado solo en los códigos de programación.

La lista de los tipos de coeficientes discretos disponibles, se visualizan en el cuadro de la sección de datos y metadatos (3). Esto se observa en la figura 37, más abajo indicada. La entrada te texto o del tipo de coeficiente en la casilla se puede realizar tecleando directamente el valor, o aprovechando que el cuadro donde se visualizan los elementos es editable, es decir, se puede copiar (Copy -> Ctrl + C), el elemento o tipo de coeficiente (cuadro rojo), que se desee (desde los más suaves a los más fuertes) y pegarlo (Paste -> Ctrl + V) en la casilla de “tipo de coeficiente discreto” (flecha roja). Ejemplo, copiar “sym5” (sin comillas) y pegarlo en la casilla, y luego dar clic en el botón de “Analysis”.

Esto mismo, se indica como “**NOTA**”, en las instrucciones presentes en el cuadro en la parte inferior del mismo. Al momento de graficar, se presentan dos gráficas, la primera con el registro original y la segunda contiene cinco niveles de coeficientes, calculados a partir del tipo de coeficiente discreto Wavelet elegido.

“NOTA: Puede teclear o copiar y pegar [sin las comillas], el nombre que deseé utilizar en el cuadro de texto”



--- Discrete Wavelet Coefficients types that can be used for Calculation ----

```
'bior1.1', 'bior1.3', 'bior1.5', 'bior2.2', 'bior2.4', 'bior2.6', 'bior2.8', 'bior3.1'
'bior3.3', 'bior3.5', 'bior3.7', 'bior3.9', 'bior4.4', 'bior5.5', 'bior6.8', 'coif1'
'coif2', 'coif3', 'coif4', 'coif5', 'coif6', 'coif7', 'coif8', 'coif9', 'coif10', 'coif11'
'coif12', 'coif13', 'coif14', 'coif15', 'coif16', 'coif17', 'db1', 'db2', 'db3', 'db4', 'db5'
'db6', 'db7', 'db8', 'db9', 'db10', 'db11', 'db12', 'db13', 'db14', 'db15', 'db16', 'db17', 'db18'
'db19', 'db20', 'db21', 'db22', 'db23', 'db24', 'db25', 'db26', 'db27', 'db28', 'db29', 'db30'
'db31', 'db32', 'db33', 'db34', 'db35', 'db36', 'db37', 'db38', 'dmey', 'haar', 'rbio1.1'
'rbio1.3', 'rbio1.5', 'rbio2.2', 'rbio2.4', 'rbio2.6', 'rbio2.8', 'rbio3.1', 'rbio3.3'
'rbio3.5', 'rbio3.7', 'rbio3.9', 'rbio4.4', 'rbio5.5', 'rbio6.8', 'sym2', 'sym3', 'sym4'
'sym5', 'sym6', 'sym7', 'sym8', 'sym9', 'sym10', 'sym11', 'sym12', 'sym13', 'sym14'
'sym15', 'sym16', 'sym17', 'sym18', 'sym19', 'sym20'
```

NOTE: You can type, or copy and paste [without the quotes], the name you want to use in the text box above

En caso de que se quiera graficar (dar clic al botón de Análisis para Graficar), sin haber ingresado un valor válido o se ingrese un valor nulo, se presentará una validación, que visualizará una caja de diálogo que indique que se ha de realizar dicha acción. La figura es la siguiente:



Fig. 38 Validación de las entradas para el cálculo de los coeficientes discretos Wavelet

3.3.- Bloque de presentación de Datos y metadatos (3)

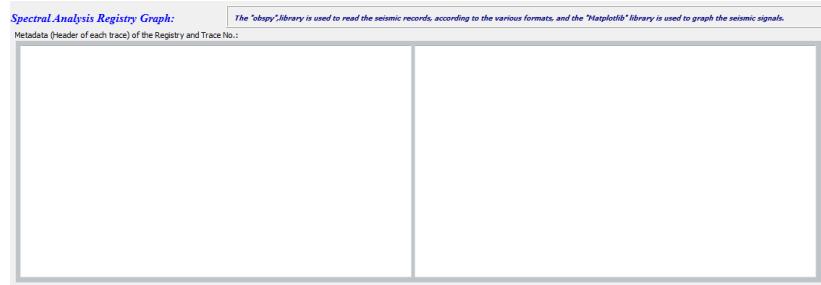


Fig. 39 Bloque de presentación de datos y metadatos.

En este bloque, se presentan los resultados de los análisis concernientes a los metadatos y trazas de los registros. Algo importante a destacar en la sección de “**Datos-Metadatos y Trazas**”, es que dicha área es editable, es decir, que se puede seleccionar y copiar la información, para luego pegarla en un fichero de bloc de notas, Word, etc. Además, como se ha visto anteriormente, sirve para visualizar los diversos coeficientes discretos y así poder elegir para realizar el cálculo de análisis.

Un ejemplo de resultado de los Metadatos y Trazas, que corresponde a registros de tipo “MSEED”, [donde se observan 3 trazas correspondientes a las tres componentes (EHE, EHN, EHZ, Trazas 0, 1 y 2 respectivamente)], se muestra en la siguiente figura.

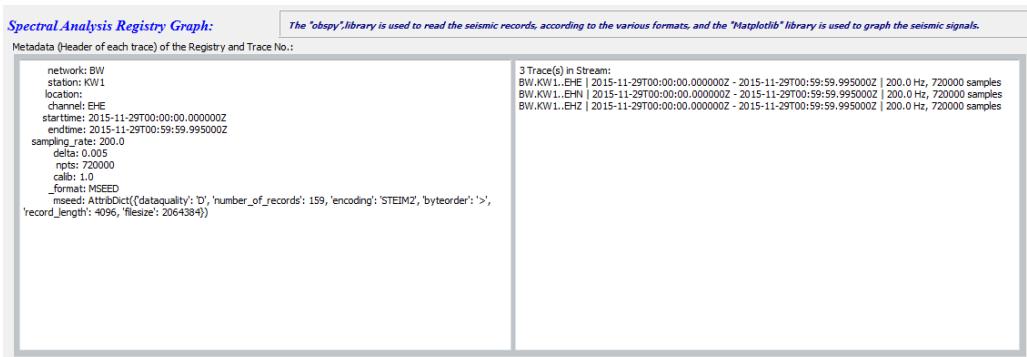


Fig. 40 Bloque de presentación de metadatos y trazas de un registro con formato “MSEED”.

Un ejemplo de resultado (Metadatos y Trazas), que corresponde a un registro de tipo “SAC”, se muestra en la siguiente figura.

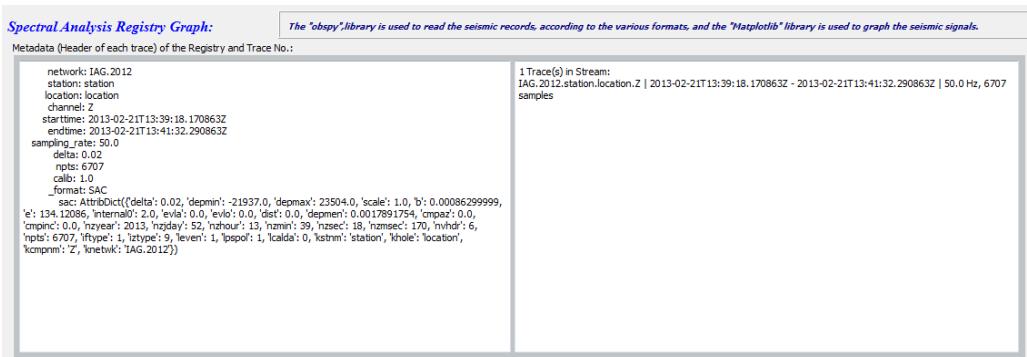


Fig. 41 Bloque de presentación de metadatos y trazas de un registro con formato “SAC”.

Un ejemplo de resultado y que corresponde a un registro de tipo “SEISAN”, mostrando múltiples trazas (44 trazas), se muestra en la siguiente figura.

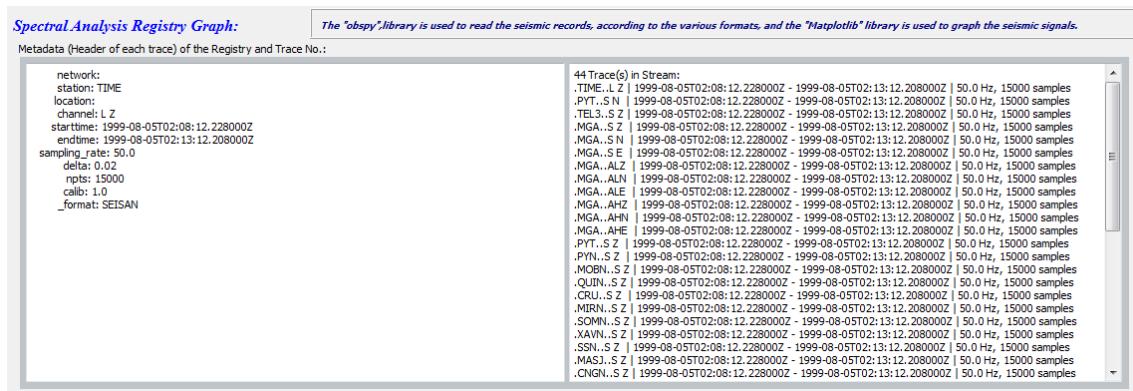


Fig. 42 Bloque de presentación de metadatos de un registro con formato “SEISAN”

Una vez realizados los cálculos y presentadas las gráficas, las entradas a este bloque pueden limpiarse mediante la selección de un nuevo análisis o filtrado, o bien por medio del botón “**Cleaning (Limpieza)**”, que borrará todas las entradas existentes, así como procederá al cierre de cualquier gráfico existente. Por lo que antes de proceder a este paso, es conveniente guardar un resultado (gráfico o datos) si se desea conservar.

3.4.- Bloque de presentación de estadísticas generales del Registro (4)



Fig. 43 Bloque de presentación de estadísticas generales del registro.

En este apartado se presentan las estadísticas generales del registro, que constituyen los elementos siguientes:

- a) La red sísmica que ha grabado los datos.
- b) La estación de dicha red que los ha grabado
- c) La localización
- d) El canal a través del cual han sido grabados los datos.
- e) Hora Inicial de grabación
- f) Hora final de grabación
- g) Frecuencia de muestreo.
- h) Cantidad de muestras que posee el registro.
- i) Tipo de Formato del registro.

Un ejemplo de la salida al realizar los cálculos se observa en las siguientes figuras.

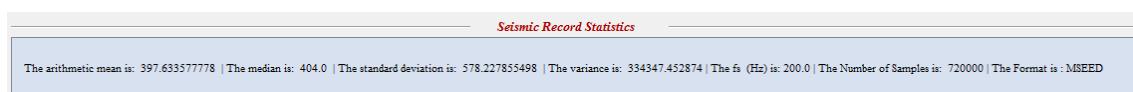


Fig. 44 Bloque de presentación de estadísticas generales de un registro con formato “MSEED”



Fig. 45 Bloque de presentación de estadísticas generales de un registro con formato “GSE2”.



Fig. 46 Bloque de presentación de estadísticas generales de un registro con formato “SAC”.

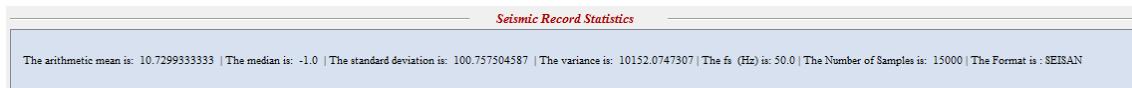


Fig. 47 Bloque de presentación de estadísticas generales de un registro con formato “SEISAN”.

Los datos aquí presentados pueden ser borrados mediante el botón de “**Cleaning (Limpieza)**” A diferencia del bloque de metadatos, los datos dispuestos en este bloque no pueden ser editados o copiados, se encuentran en modo de solo lectura.

3.5.- Bloque de ruta y comandos de acción de gráficas, Salida y Regreso (5)

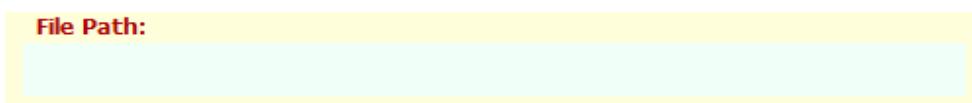


Este último bloque lo componen los siguientes elementos:

- a) Botón “**Back**”: Permite regresar a la pantalla inicial de presentación del sistema. Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



- b) Área de presentación de la ruta del archivo (**File Path**): En dicha área se presenta la ruta (Disco/carpeta/archivo), camino o “path” del fichero físico (donde se encuentra almacenado en el ordenador), para que sea llamado por el sistema a realizar los cálculos que se requieran.



Un ejemplo de la salida al realizar los cálculos se observa en la siguiente imagen.



Se observa el camino “Path” (en el ordenador) de la ubicación del registro.

- c) Botón “**Filter**”: Una vez seleccionados los tipos de filtro y sus entradas, procederá a realizar los cálculos y presentar las gráficas correspondientes. Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



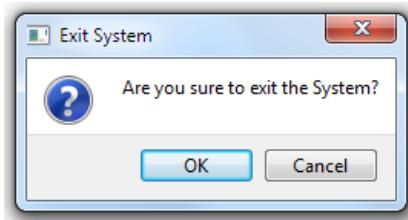
- d) Botón “**Analysis**”: Igual que el de “**Filter**”, solo que este trabaja con la selección del listado de los análisis espectrales. Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función. Al hacer clic al botón, se realiza el cálculo y presenta la(s) grafica(s).



- e) Botón “**Exit**”, permite la salida completa del sistema. Previo presentar la pantalla que pregunta si se desea abandonar el sistema. Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



De la misma forma que en la pantalla de inicio, si se pulsa o da clic al botón de “**Exit**”, se presenta una ventana que pregunta al usuario, si está segur@ de abandonar el sistema.



Al dar clic a “**OK**”, se cierra la pantalla y se completa la salida del sistema. “**Cancel**” continúa en la pantalla de análisis.

3.5.1.- Validación de errores en registro o entradas.

Al acceder a los botones de “**Filter**” y “**Analysis**”, en caso de producirse un error de entrada no válida o de un registro inexistente o no reconocido, se presentará a través de una validación un mensaje que alerta de esta situación. Esto permite al usuario, proceder a modificar las entradas o elegir un registro válido, sin necesidad de que el sistema colapse o se detenga.

La pantalla que se visualiza es la siguiente:

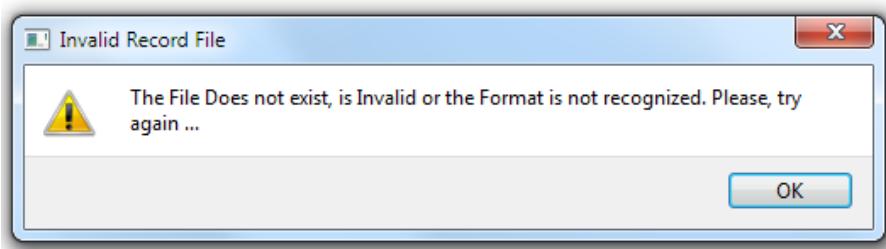


Fig. 48 Validación de entradas inválidas formatos o registros incorrectos.

De acuerdo al mensaje de la figura anterior, se ha producido un error debido a que no se reconoce el formato, no existe o es inválido. Además, puede que también las entradas se encuentren fuera del rango permitido. Al pulsar el botón de “**OK**” se retorna de nuevo al sistema, para corregir las entradas erróneas y continuar con la ejecución de la carga del registro y del análisis.

4.- Resultados de Secciones de Filtro y Análisis

A continuación, se procederá a presentar ejemplos de resultados finales del proceso de filtrado y análisis.

4.1.- Ejemplo de resultados de selección de filtrado de registros

De acuerdo a todo el proceso anteriormente descrito, el proceso para realizar un filtrado de los registros es muy sencillo, consta de los siguientes pasos:

- a) Abrir o seleccionar un determinado registro (se visualiza el registro en “Ruta archivo. Por defecto, la ruta inicial se encuentra en el directorio raíz “C” del PC”, ya sean en el sistema Windows o Linux)
- b) Seleccionar el filtro,
- c) Dar las entradas (si las hubiera) de los parámetros del filtro.
- d) Dar clic al botón de “**Filter**”, para graficar el registro.

Todo esto, presentará:

- a) Los metadatos en la sección de Datos y Metadatos.
- b) La estadística General en la sección de estadística.
- c) La gráfica resultante de dicho análisis, compuesta de la señal original y la señal filtrada. De esta se puede realizar un zoom y guardarla en diversos formatos.

Cabe recordar, que un hecho importante a destacar que el área en la sección de “Datos-Metadatos y Trazas”, es editable, es decir, que se puede seleccionar y copiar la información, para luego pegarla en un fichero de bloc de notas, Word, etc. El proceso resultante se muestra a continuación, a través de un ejemplo con un registro en formato “SAC”. La imagen resultante es la siguiente.

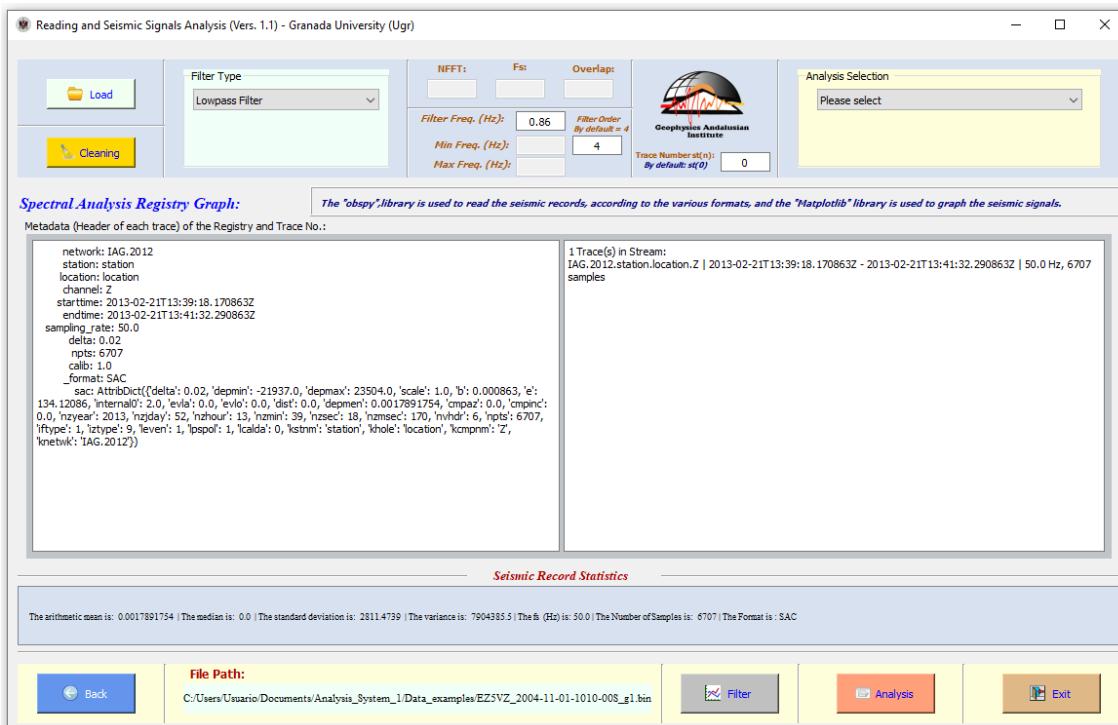


Fig. 49 Resultado final del proceso de filtrado de un registro SAC. Ruta del Archivo, estadísticas y Metadatos.

En la figura se observa en “**Ruta Archivo**”, la ruta completa donde se encuentra almacenando el registro, el cual será analizado. En el listado de “**Tipo de Filtro**”, se ha designado el filtro **Paso-Bajo** (*Lowpass*). En el cuadro de entradas, se observa que se ha establecido una frecuencia de 0.86 Hz. Con un “**orden de filtro**” igual a 4. Como resultado, se observa el contenido tanto en la sección de metadatos, como en la sección de estadística general. El registro solo posee una traza, la traza 0 por defecto.

4.2.- Ejemplo de resultados de selección de análisis espectral

De acuerdo a todo el proceso anteriormente descrito, el proceso para realizar un análisis espectral de los registros es muy sencillo, consta de los siguientes pasos:

- Abrir o seleccionar un determinado registro (se visualiza el registro en “Ruta archivo”). Puede ser el mismo que previamente ya se ha analizado mediante el filtrado.
- Seleccionar el tipo de análisis espectral, en este caso “Espectrograma por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT)”
- Introducir en el cuadro de entradas los datos a calcular (si las hubiera) de los parámetros válidos para cada tipo de análisis.
- Dar clic al botón de “Análisis”

Todo esto, presentará:

- Los metadatos en la sección de Datos y Metadatos.
- La estadística General en la sección de estadística.
- La gráfica resultante de dicho análisis, compuesta de diversas señales de acuerdo al análisis. De esta se puede realizar un zoom y guardarla en diversos formatos.

El proceso resultante se muestra a continuación, a través de un ejemplo con un registro en formato “SAC”. La imagen de la interfaz principal resultante es la siguiente.

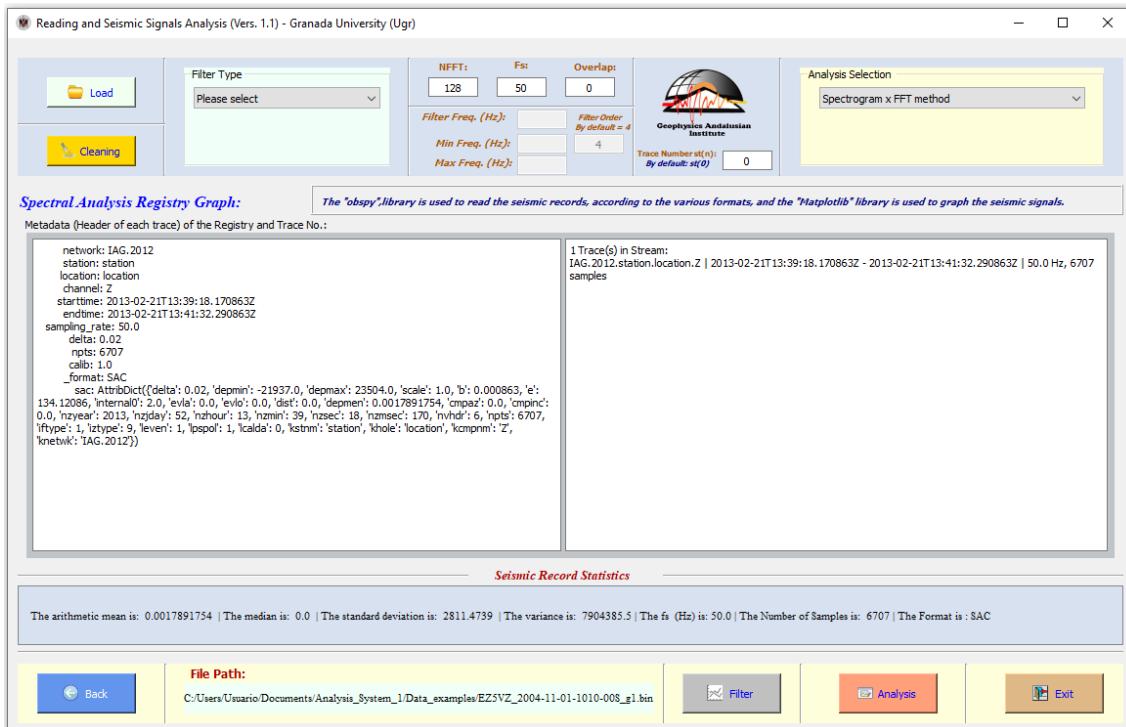


Fig. 50 Resultado final del proceso de análisis espectral de un registro. Ruta del Archivo, estadísticas y Metadatos.

En la figura se observa en “**Ruta Archivo**” (*File Path*), la ruta completa donde se encuentra almacenado el registro, el cual será analizado. En el listado de “Selección de Análisis”, se ha designado “**Espectrograma por método de la FFT**”. En el cuadro de entradas, se observa que se ha establecido: el número de la *FFT* en 128, el valor de la *Frecuencia de muestreo* a 50, dado que esto se puede deducir del cuadro de las estadísticas generales previo del filtrado y se establece un *solapamiento* (*Overlap*) de 0. Como resultado, se observa el contenido tanto en la sección de metadatos, como en la sección de estadística general. El registro solo posee una traza, la traza 0 por defecto.

Los resultados gráficos los podemos observar en las siguientes secciones.

5.- Gráficas resultantes

A continuación, procederemos a presentar un ejemplo de resultados gráficos tanto del proceso de filtrado, como del proceso de análisis espectral.

5.1.- Gráficas de Filtros y zoom de los registros.

A manera de ejemplos, se presenta el resultado gráfico del registro original y del registro filtrado a señales en formato SAC y GSE2. Así como el Zoom, realizado a las gráficas resultantes. Cabe hacer notar que al realizar un Zoom en una de las dos secciones de la gráfica (original y filtrada), la otra se actualiza automáticamente. Es decir, basta hacer zoom solo en una sección, el vector de tiempo se ajusta en las dos gráficas.

- a) Gráfica de registro SAC con filtro Paso-Bajo (Lowpass).

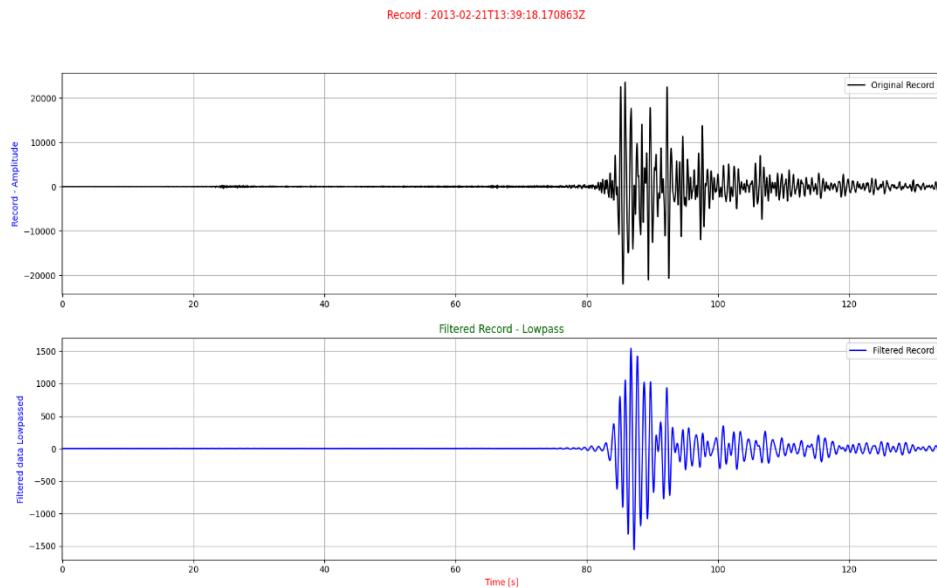


Fig. 51 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro paso-bajo (Lowpass), a 0.86Hz y orden de filtro 4.

- b) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro Paso-Bajo (Lowpass).

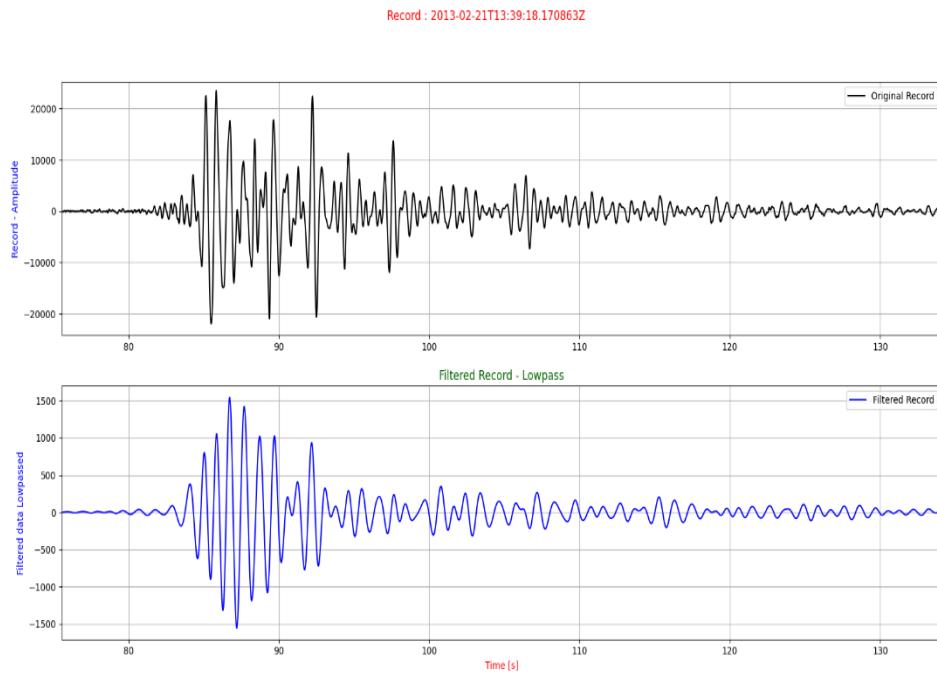


Fig. 52 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro paso-bajo (Lowpass), a 0.86Hz y orden de filtro 4.

- c) Gráfica de registro GSE2 con filtro Paso-Bajo (Lowpass).

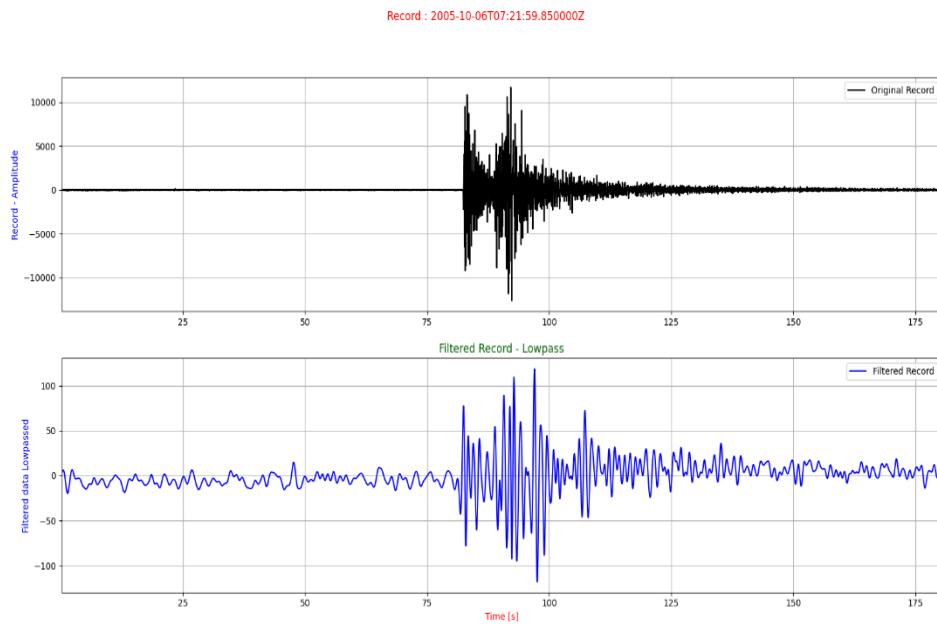


Fig. 53 Ejemplo de Gráfica del registro GSE2, con filtro paso-bajo (Lowpass), a 0.86Hz y orden de filtro 4.

- d) Zoom de la Gráfica de registro GSE2 con filtro Paso-Bajo (Lowpass).

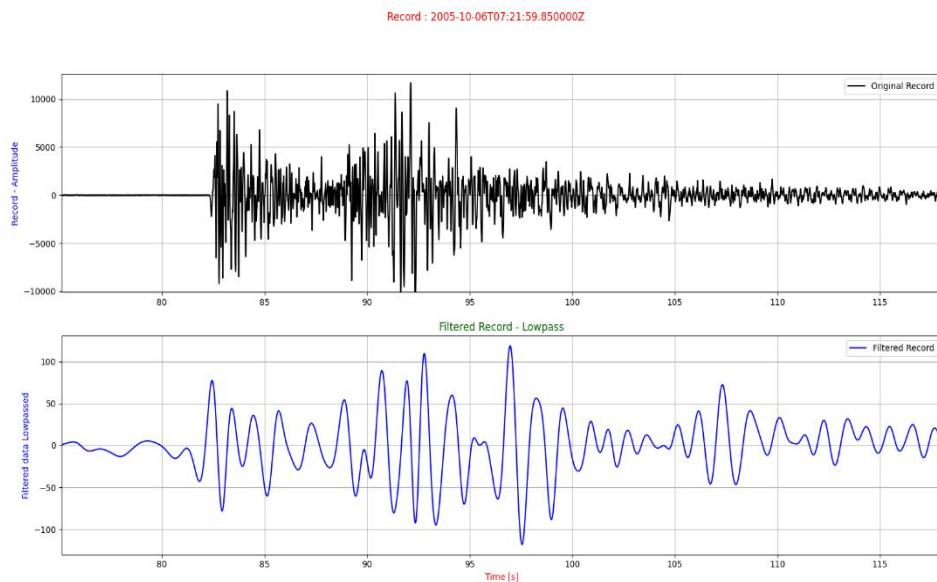


Fig. 54 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro GSE2 con filtro paso-bajo (Lowpass), a 0.86Hz y orden de filtro 4.

- e) Gráfica del registro SAC con filtro paso-alto (Highpass).

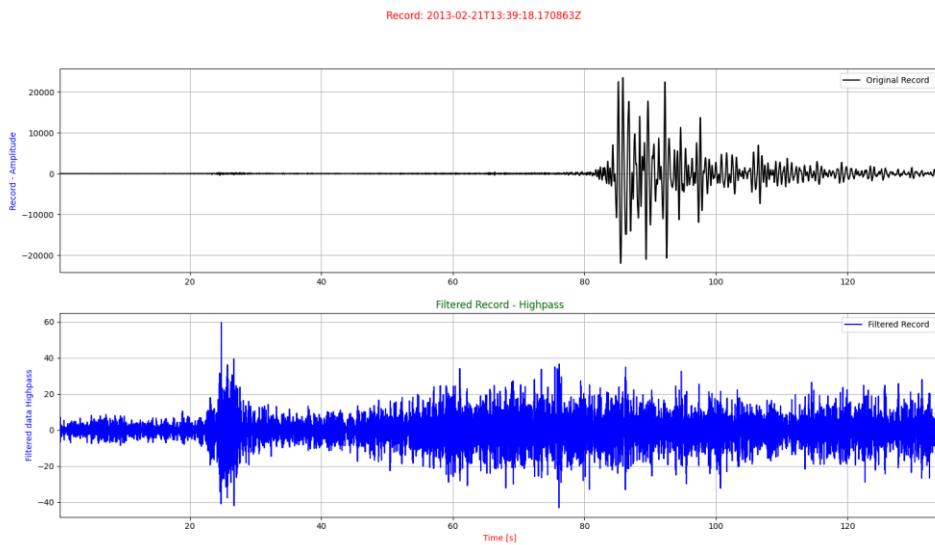


Fig. 55 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro paso-alto (*Highpass*) a 12 Hz de frecuencia y filtro de orden 4.

- f) Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro paso alto (Highpass).

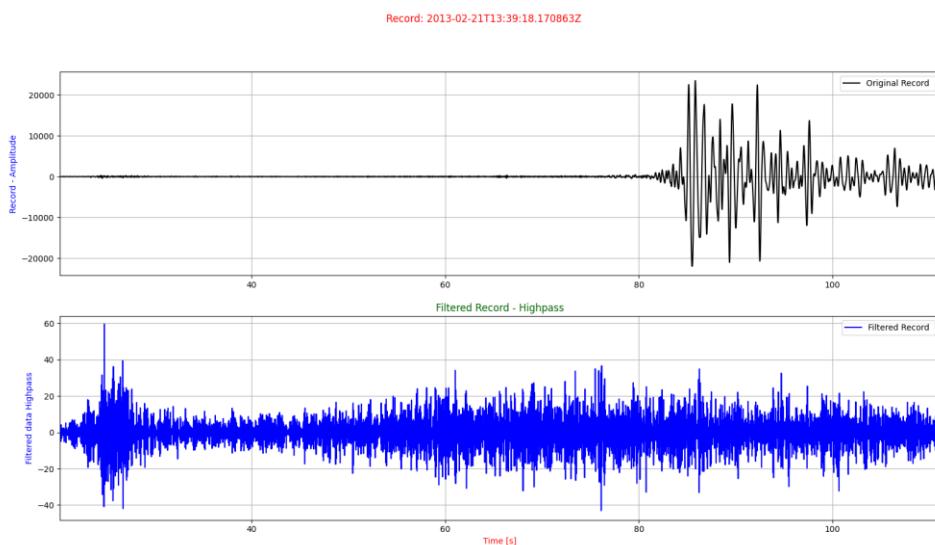


Fig. 56 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro paso-alto (*Highpass*) a 12 Hz de frecuencia y filtro de orden 4.

- g) Gráfica del registro GSE2 con filtro paso-alto (Highpass).

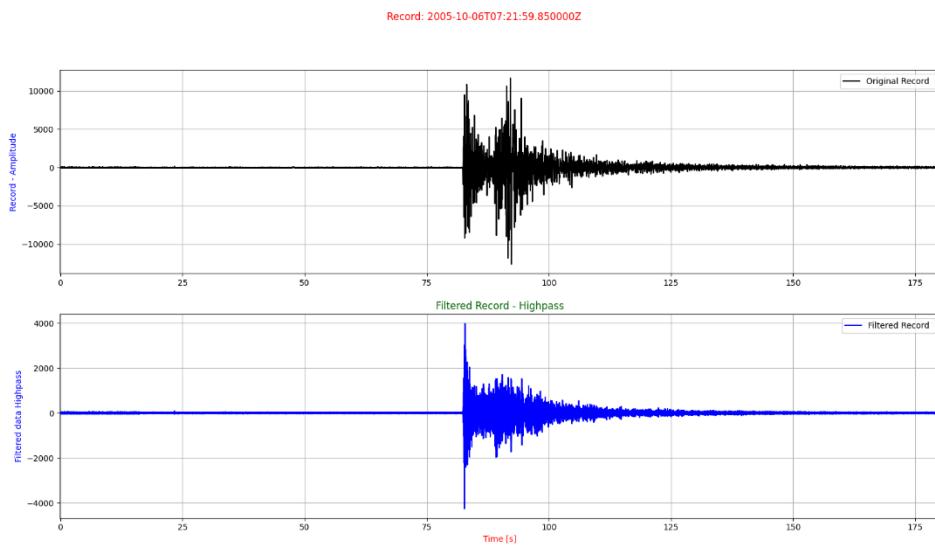


Fig. 57 Ejemplo de Gráfica del registro GSE2, con filtro paso-alto (Highpass) a 12 Hz de frecuencia y filtro de orden 4.

- h) Zoom de la Gráfica del registro GSE2 con filtro paso-alto (Highpass).

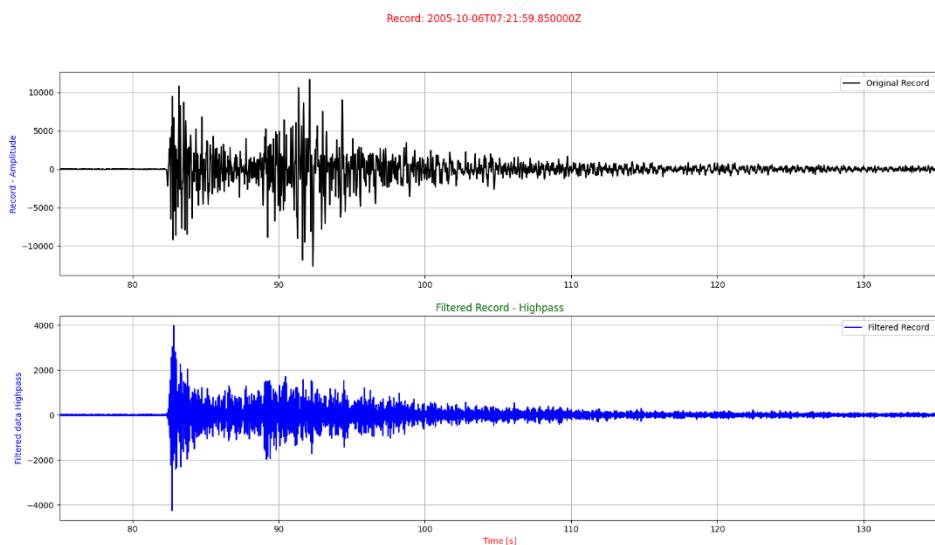


Fig. 58 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro GSE2, con filtro paso-alto (Highpass) a 12 Hz de frecuencia y filtro de orden 4.

[Regresar al Menú](#)

- i) Gráfica del registro SAC con filtro pasa-banda (Bandpass).

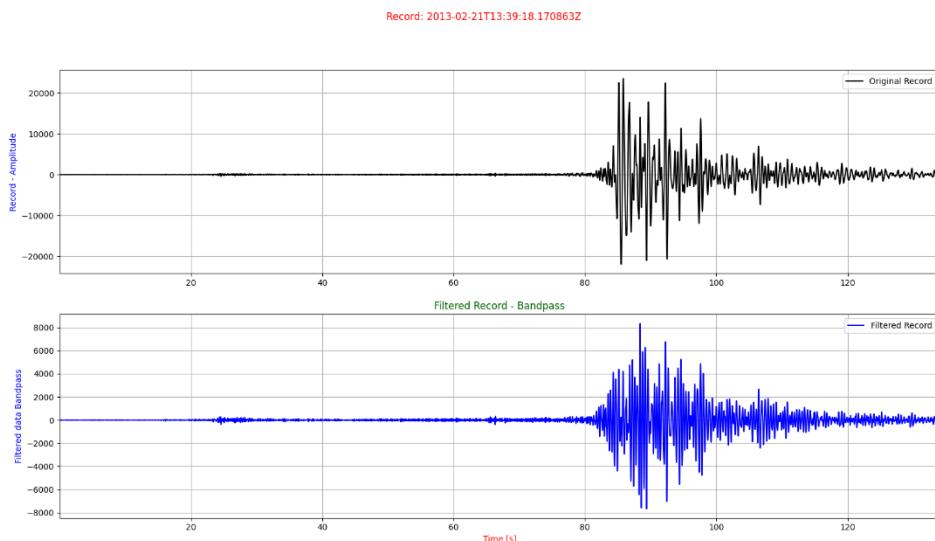


Fig. 59 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro pasa-banda (*Bandpass*). Frecuencia mínima a 0.86, frecuencia máxima a 3 y orden de filtro 4.

- j) Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro pasa banda (Bandpass).

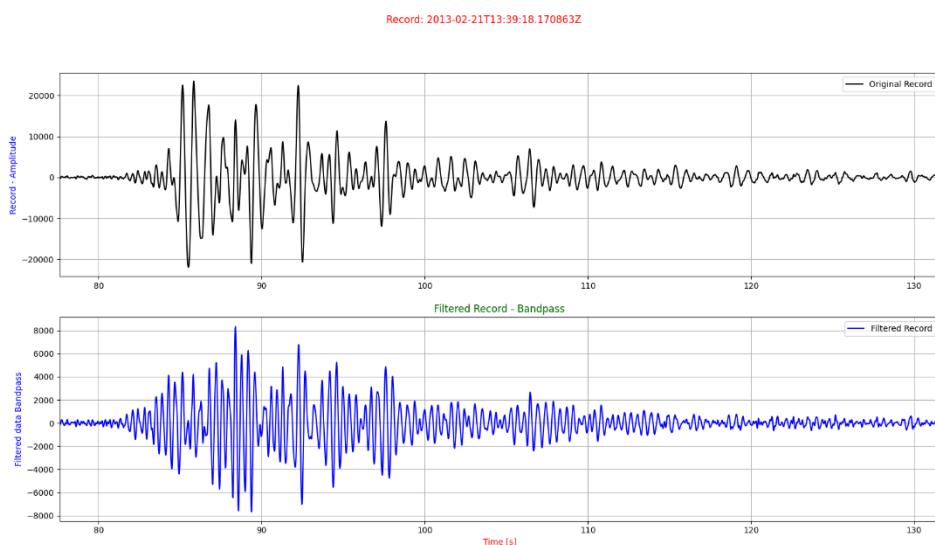


Fig. 60 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro pasa-banda (*Bandpass*), Frecuencia mínima a 0.86, frecuencia máxima a 3 y orden de filtro 4.

k) Gráfica del registro GSE2 con filtro pasa-banda (Bandpass)

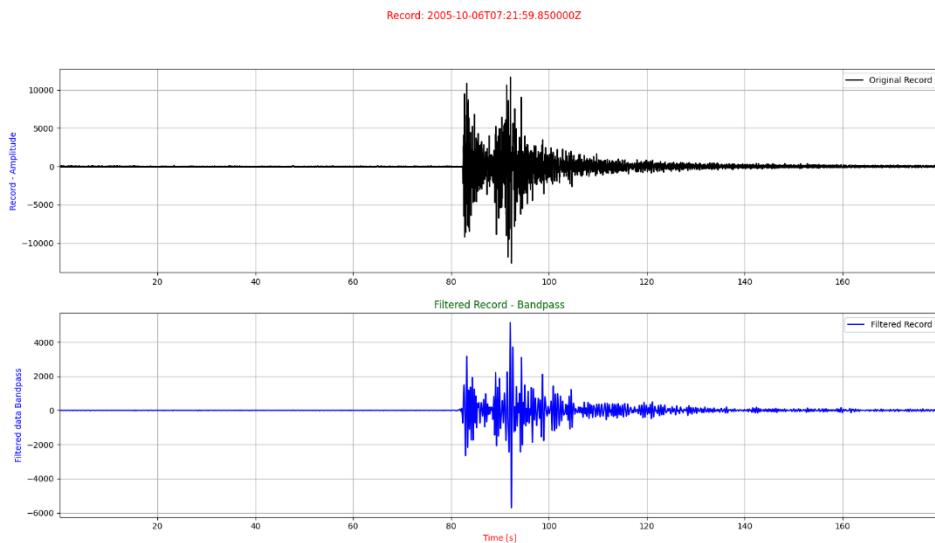


Fig. 61 Ejemplo de Gráfica del registro GSE2, con filtro pasa-banda (*Bandpass*). Frecuencia mínima a 0.86, frecuencia máxima a 3 y orden de filtro 4.

l) Zoom de la Gráfica del registro GSE2 con filtro pasa-banda (Bandpass).

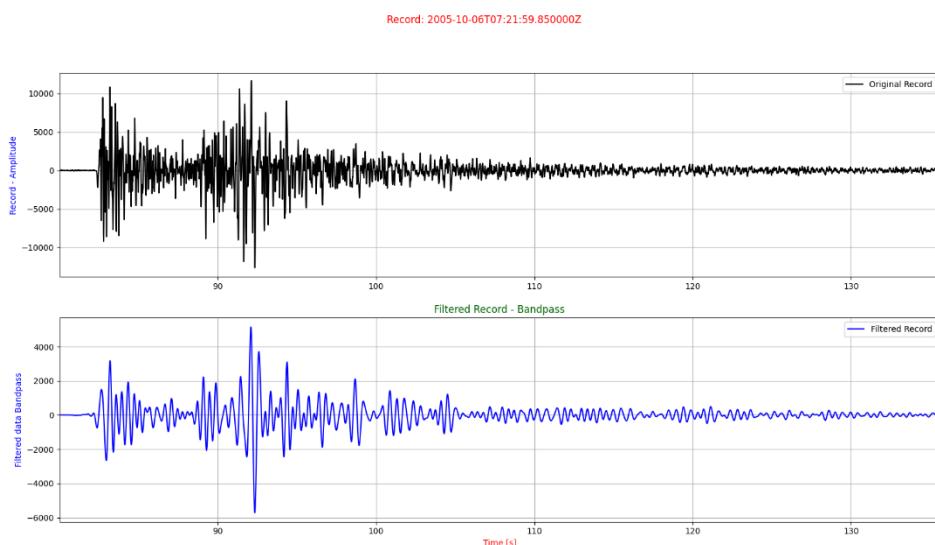


Fig. 62 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro GSE2, con filtro pasa-banda (*Bandpass*), Frecuencia mínima a 0.86, frecuencia máxima a 3 y orden de filtro 4.

m) Gráfica del registro SAC con filtro suprime-banda (Bandstop).

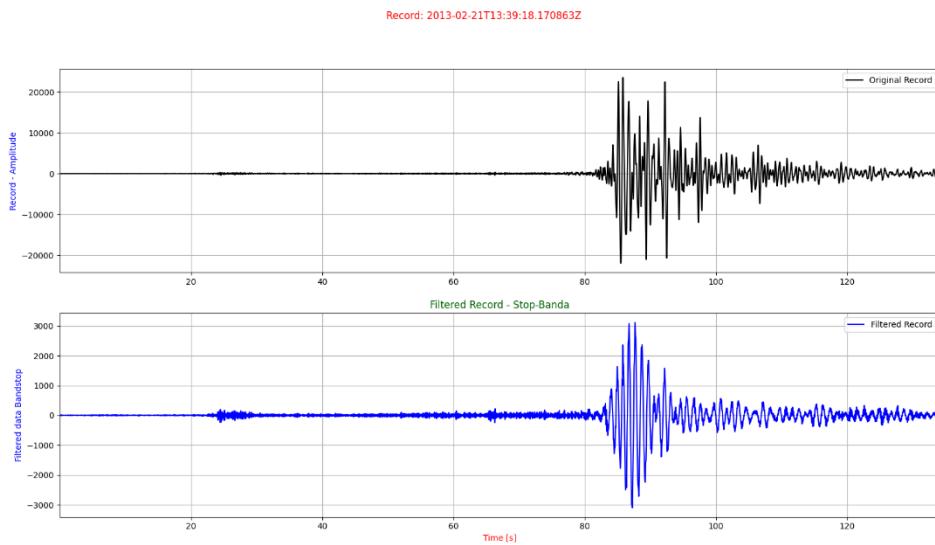


Fig. 63 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro suprime-banda (Bandpass). Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 3 y orden de filtro 4.

n) Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro suprime-banda (Bandstop).

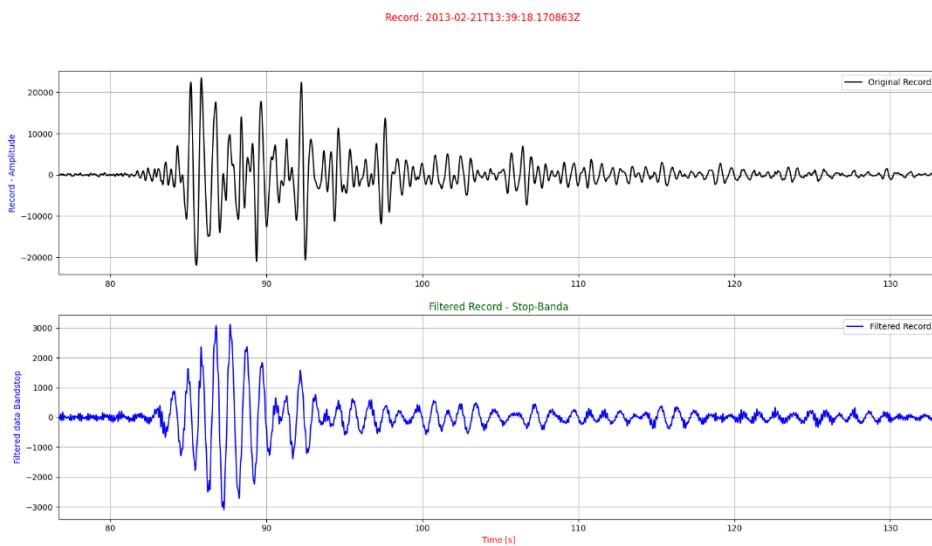


Fig. 64 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro suprime-banda (Bandpass). Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 3 y orden de filtro 4.

- o) Gráfica del registro GSE2 con filtro suprime-banda (Bandstop).

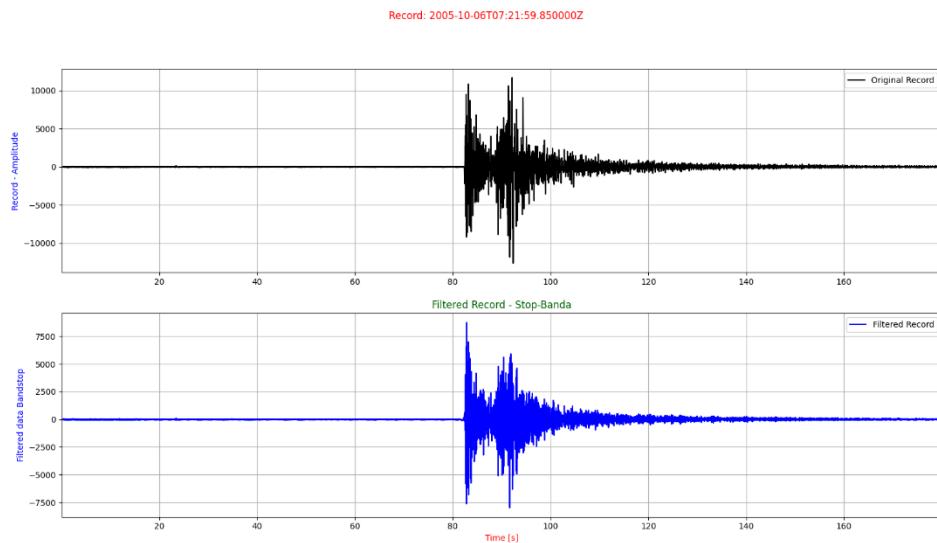


Fig. 65 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro suprime-banda (*Bandstop*). Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 6 y orden de filtro 4.

- p) Zoom de la Gráfica del registro GSE2 con filtro suprime-banda (Bandstop).

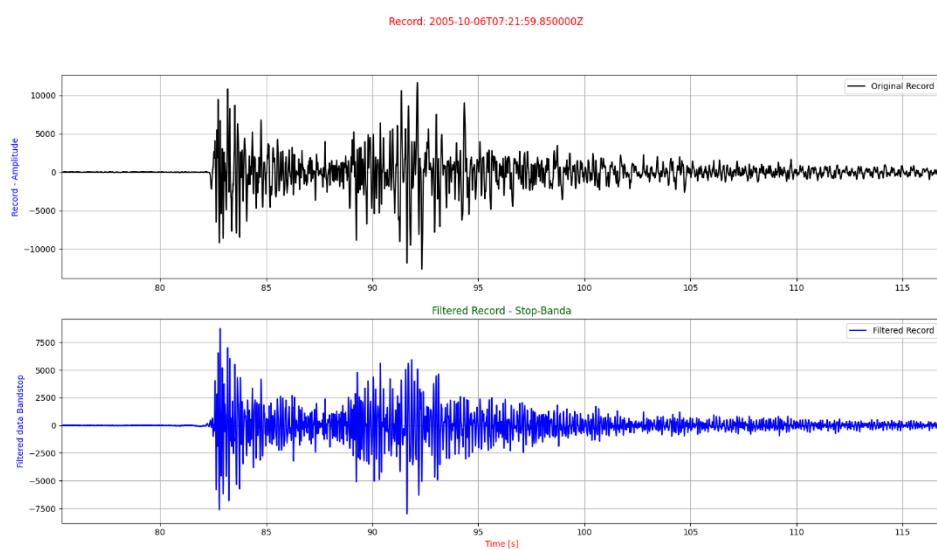


Fig. 66 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro suprime-banda (*Bandstop*). Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 6 y orden de filtro 4.

5.2.- Gráficas de Análisis Espectrales y Zoom de los mismos

A continuación, se presentará ejemplos de los registros para cada tipo de análisis espectral. Para simplificar, se usará el formato SAC en todos los ejemplos.

- a) Gráfica del Registro SAC con el Espectro de Transformada de Fourier en el Dominio de la Frecuencia.

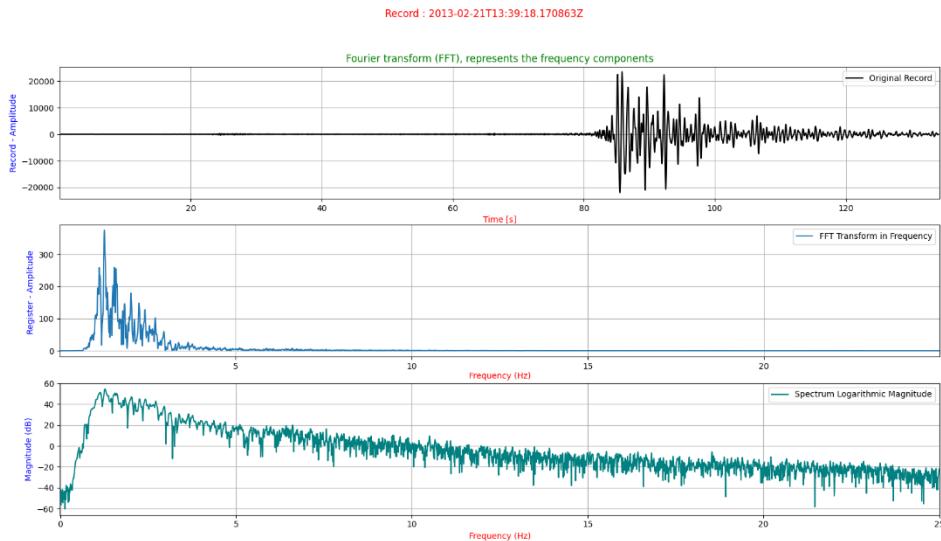


Fig. 67 Gráfica del registro SAC, con el espectro de la Transformada de Fourier en el dominio de la frecuencia.

- b) Zoom de la Gráfica del registro SAC a los 5 Hz. Espectro de Transformada de Fourier en el Dominio de la Frecuencia. Se debe de realizar un Zoom individual a cada gráfica, pues está desactivado el modo automático.

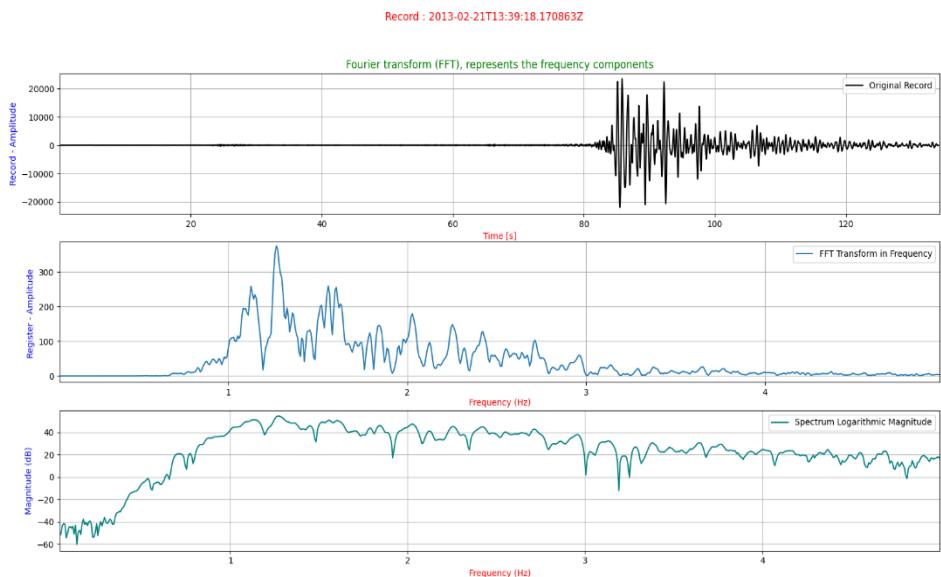


Fig. 68 Zoom de la Gráfica del registro SAC a 5 Hz, con el espectro de la Transformada de Fourier en el dominio de la frecuencia.

- c) Gráfica del registro SAC con la Magnitud en Fase del Espectro de Frecuencia.

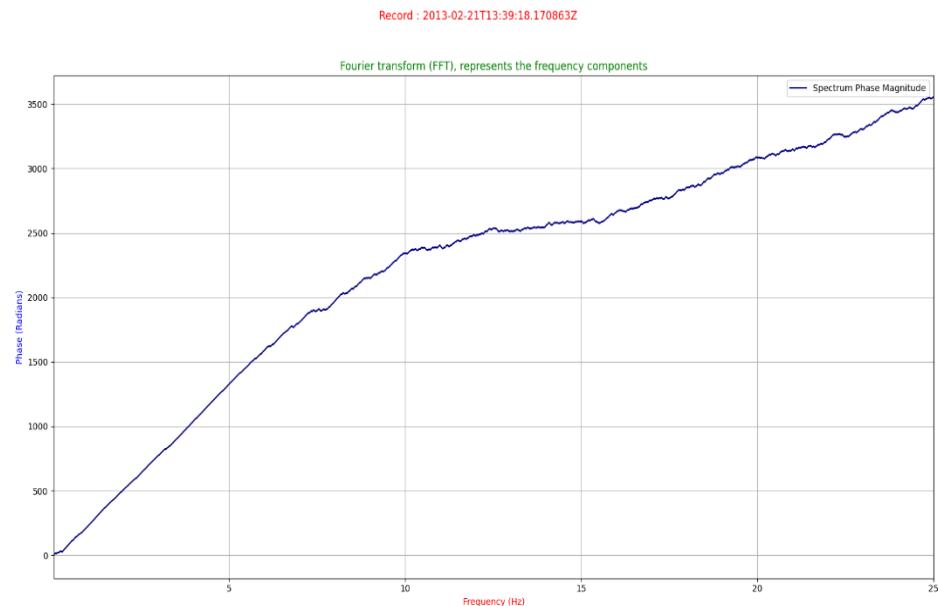


Fig. 69 Gráfica del registro SAC, con el espectro de la Transformada de Fourier (Magnitud en Fase).

- d) Gráfica del registro SAC del Espectrograma por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT).

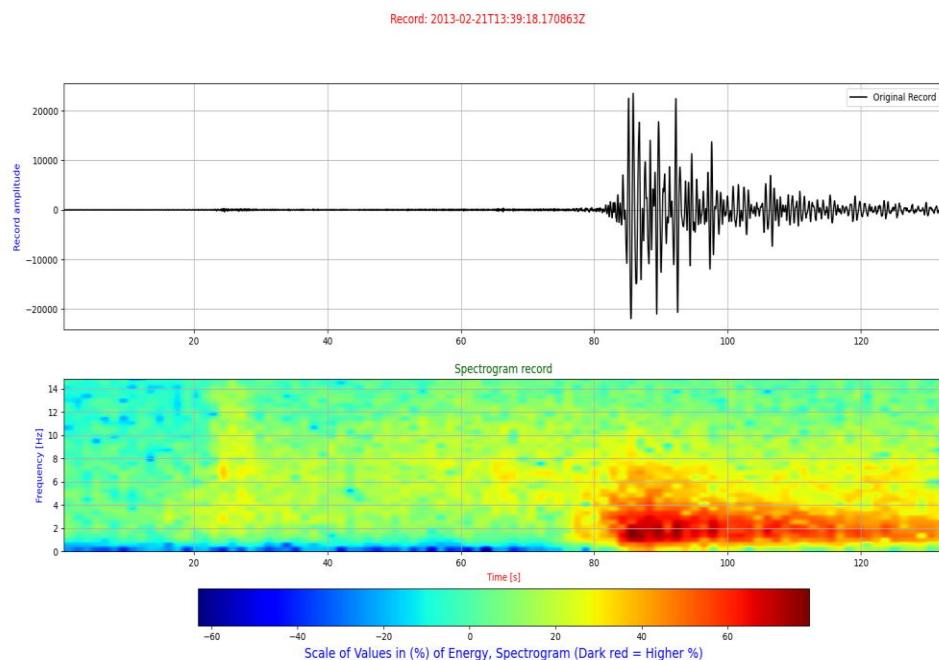


Fig. 70 Gráfica del registro SAC, con espectrograma por transformada de Fourier, 128 de FFT, 50 de Fs y 0 de Overlap.

- e) Gráfica de registro SAC del Espectrograma con filtro paso-banda incluido.

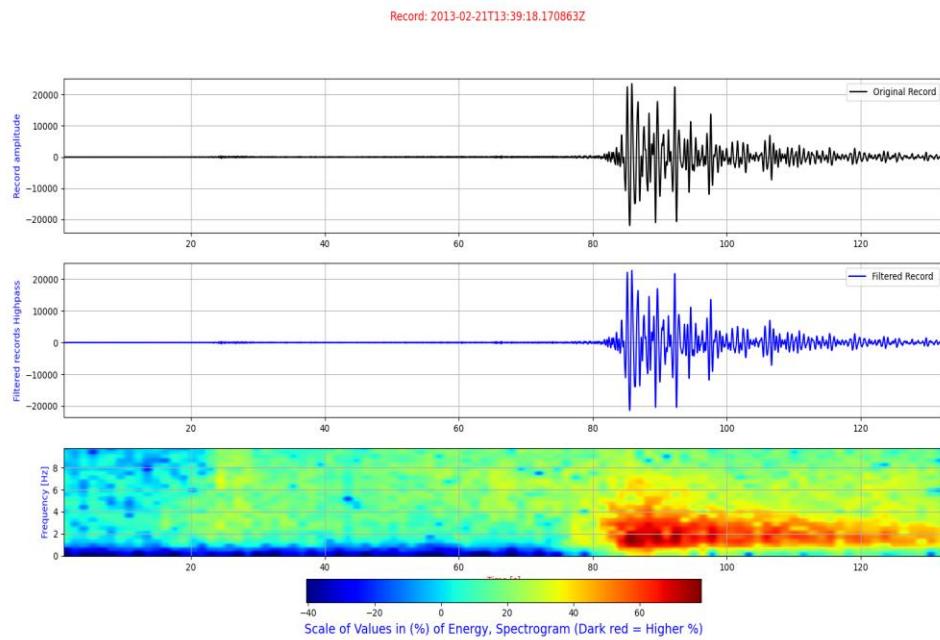


Fig. 71 Gráfica del registro SAC, con espectrograma con filtro paso-banda incluido (0.86 – 15 Hz), 128 de FFT, 50 de Fs., 0 de Overlap y orden de filtro 4.

- f) Gráfica de registro SAC de la Envoltiente de la señal filtrada, mediante filtro paso-bajo (Lowpass)

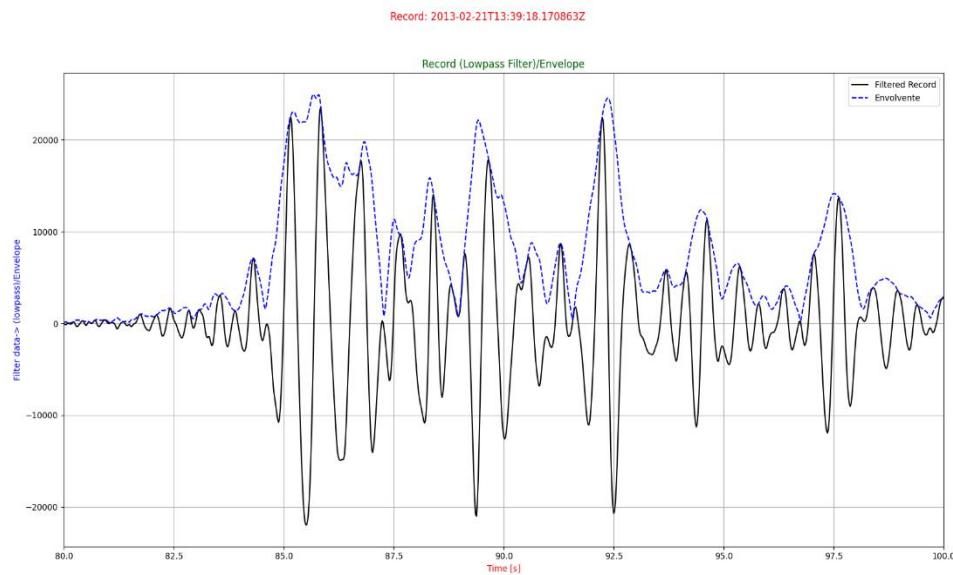


Fig. 72 Gráfica de la envolvente del registro SAC, filtro paso-bajo (Lowpass) a 0.86 Hz., tiempo de corte: min 80 s, máx. 100 s, y orden del filtro 4.

- g) Gráfica de registro SAC de la Densidad espectral de potencia mediante el método de Welch con ventana de desplazamiento de tipo Hanning -> “Hann”.

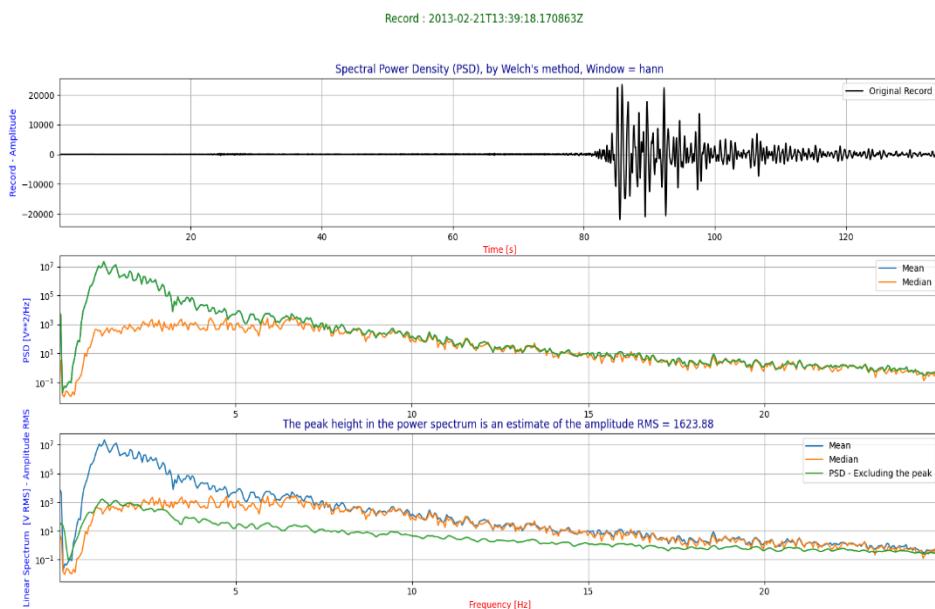


Fig. 73 Gráfica del registro SAC, de la densidad espectral de potencia vía método de Welch con ventana de desplazamiento tipo Hanning “Hann”.

- h) Gráficas de un registro MSEED de los seis tipos de Periodograma, con ZOOM.

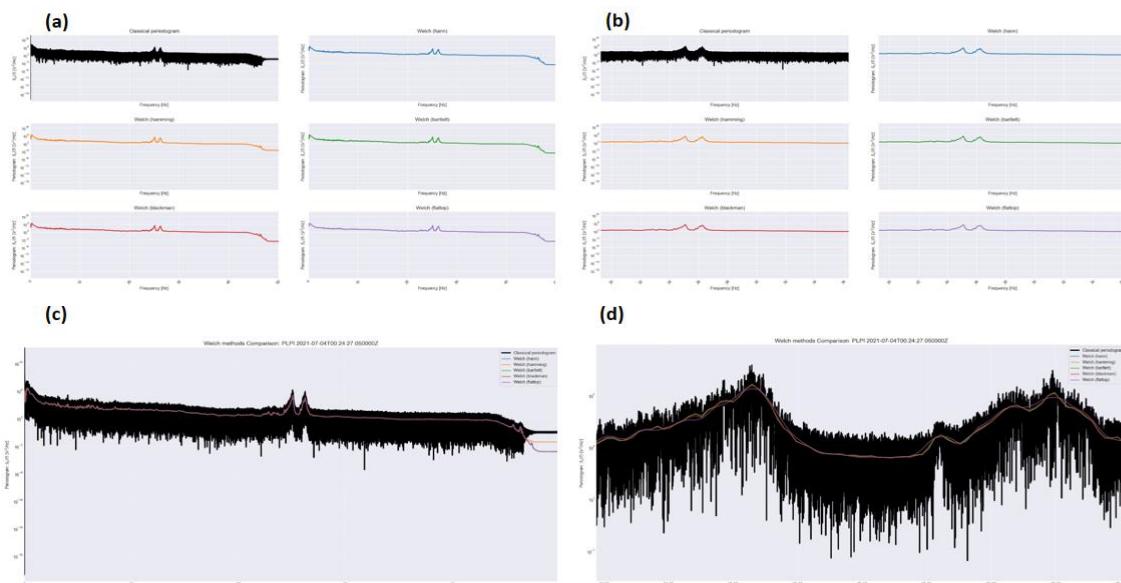


Fig. 74 Gráficas de los Periodogramas de un registro MSEED; a) Clásico, Welch con ventana “Hann”, Welch con ventana “Hamming”, Welch con ventana “Barlet”, Welch con ventana “Backman”, Welch con ventana “flattop” b) Zoom (20-36 Hz), c) Comparación seis tipos, d) Zoom comparación seis tipos (24.50 – 26.25 Hz).

- i) Gráfica de registro SAC de la Transformada Wavelet Continua (CWT).

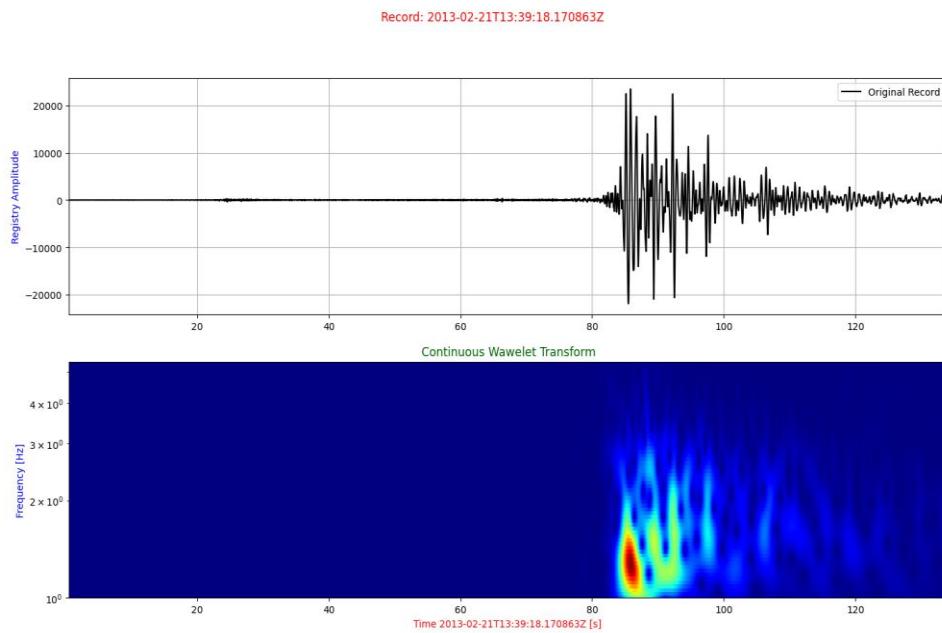


Fig. 75 Gráfica del registro SAC, de la transformada Wavelet continua (CWT) con frecuencia mínima 1 Hz y máxima de 15 Hz.

- j) Zoom de la Gráfica del registro SAC de la Transformada Wavelet Continua (CWT). En este tipo de gráfica, el Zoom se realiza de forma automática a las dos secciones al seleccionar una de ellas.

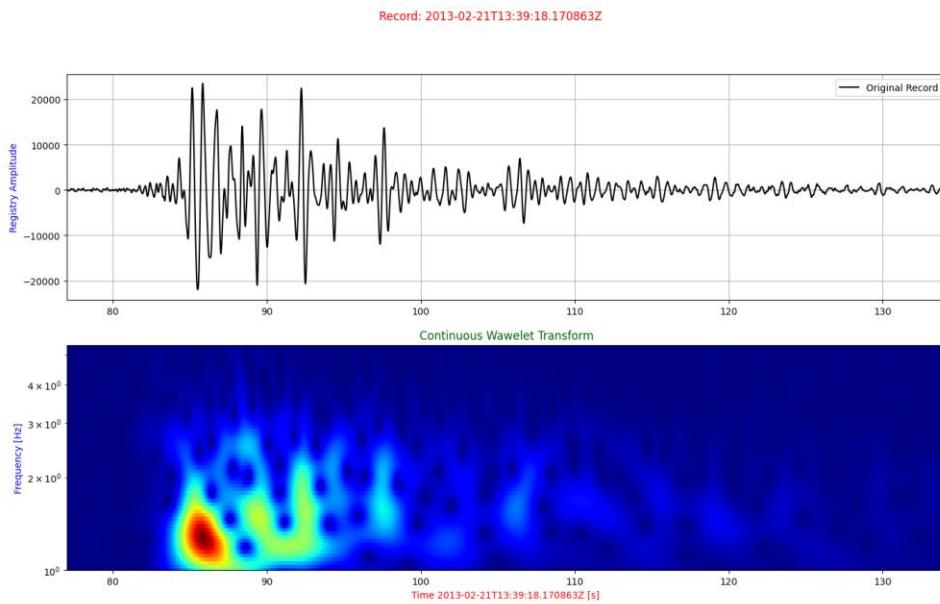


Fig. 76 Zoom de la Gráfica del registro GSE2, de la transformada Wavelet continua (CWT).

- k) Gráfica del Análisis de los Coeficientes Discretos en 5 niveles (de aproximación y detalle) de la Transformada Wavelet de un registro SAC (para este ejemplo, se ha seleccionado el tipo de “coif17”). Adicionalmente, se presenta una gráfica del registro original.

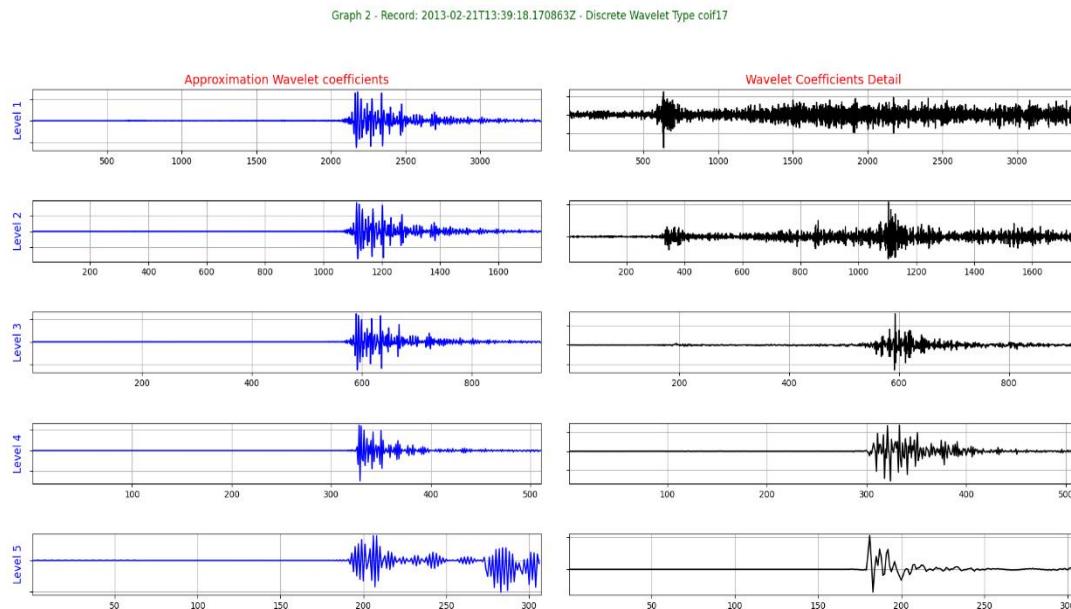


Fig. 77 Gráfica de registro SAC, con coeficientes discretos wavelet de tipo “coif17”.

- l) Gráfica de la señal original del Análisis de los Coeficientes Discretos en 5 niveles (de aproximación y detalle).

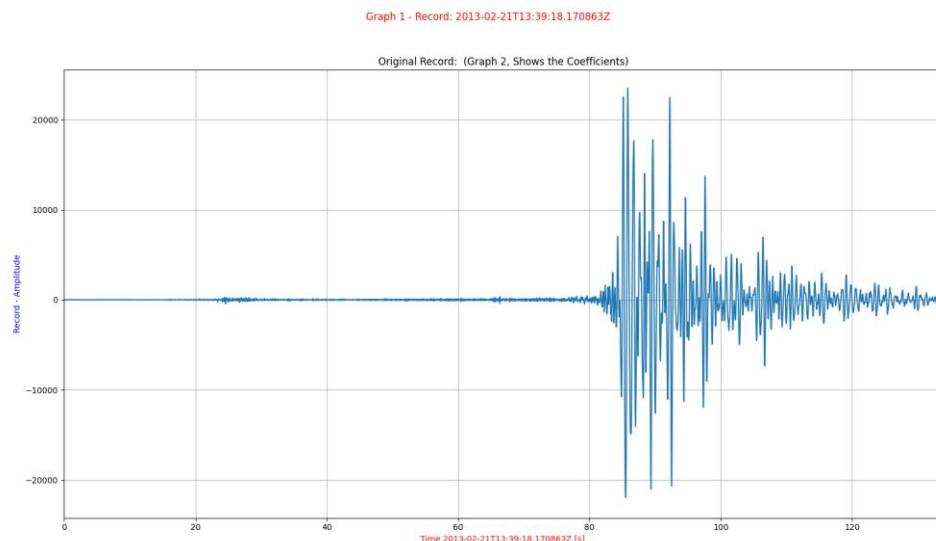


Fig. 78 Gráfica de la señal original del registro SAC, con coeficientes discretos wavelet de tipo “coif17”.

6.- Barra de Herramientas de las gráficas (Librería Matplotlib).

En la construcción de gráficas, la pantalla de gráficos de la librería Matplotlib, posee un conjunto de herramientas muy útiles, que permiten visualizar, editar y almacenar las gráficas en diversos formatos. En la parte superior de la pantalla de gráficos de Matplotlib que se presenta cuando se crea una gráfica, se observa una barra de herramientas similar a la siguiente:



De izquierda a derecha, los iconos que representan las acciones a realizar son:

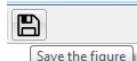
1. **Reset original view**: Restituye al inicio todas las gráficas
2. **Back to previous view**: Vista previa de la gráfica seleccionada
3. **Forward to next view**: Vista Adelante de la siguiente imagen
4. **Left button pans, Right button zooms, x/y fixes axis, CTRL fixes aspect**. Mueve la gráfica y ejes a izquierda o derecha,
5. **Zoom to rectangle**: A través de un rectángulo, realiza un zoom de la gráfica seleccionada.
6. **Configure subplots**: Configuración de los subplots (Bordes y espaciados)
7. **Edit axis, curve and image parameters**: Edición de los parámetros de la gráfica. Se selecciona el axes o gráfico y se editan elementos como: Título, coordenadas (X,Y) y parámetros de la curva (líneas, marcadores) en estilos, colores y tamaño.
8. **Save the figure**: Guarda la gráfica en diversos formatos.

En este documento no se va a profundizar en cada uno de ellos, únicamente se resaltará el uso de los que aquí generalmente más se utilizan, como son: (1, 2, 5, 7 y 8).

En las gráficas anteriores, se ha podido constatar el uso de la herramienta de zoom (5). Las herramientas 2 y 3, permiten realizar o restablecer un zoom de forma individual a cada gráfica, la opción 1, faculta restaurar al valor inicial todos los elementos o subplots de la gráfica (cada gráfica individual o parte de la ventana). En cuanto a la opción 8, permite guardar la gráfica en diversos formatos. El resto es sumamente sencillo y queda a estudio del usuario el uso de cada uno de ellos. Ahora bien, los procesos para editar y almacenar o guardar las gráficas (7 y 8) se detallan a continuación.

6.1.- Guardar las Gráficas

El proceso de guardar las gráficas es muy sencillo. Se procede a dar clic al ícono de la herramienta número 8 (Save the figure).



Lo que permite abrir una ventana de explorador, similar a las de Windows (dependiendo del idioma o sistema que se utilice), en donde se puede seleccionar la carpeta o directorio donde se almacenará la gráfica.

Además, dar nombre y tipo de formato que se desee. Esto se puede observar en la parte inferior de la ventana del explorador, ahí se seleccionan los diversos tipos de formatos disponibles a guardar. La pantalla es similar a la siguiente.

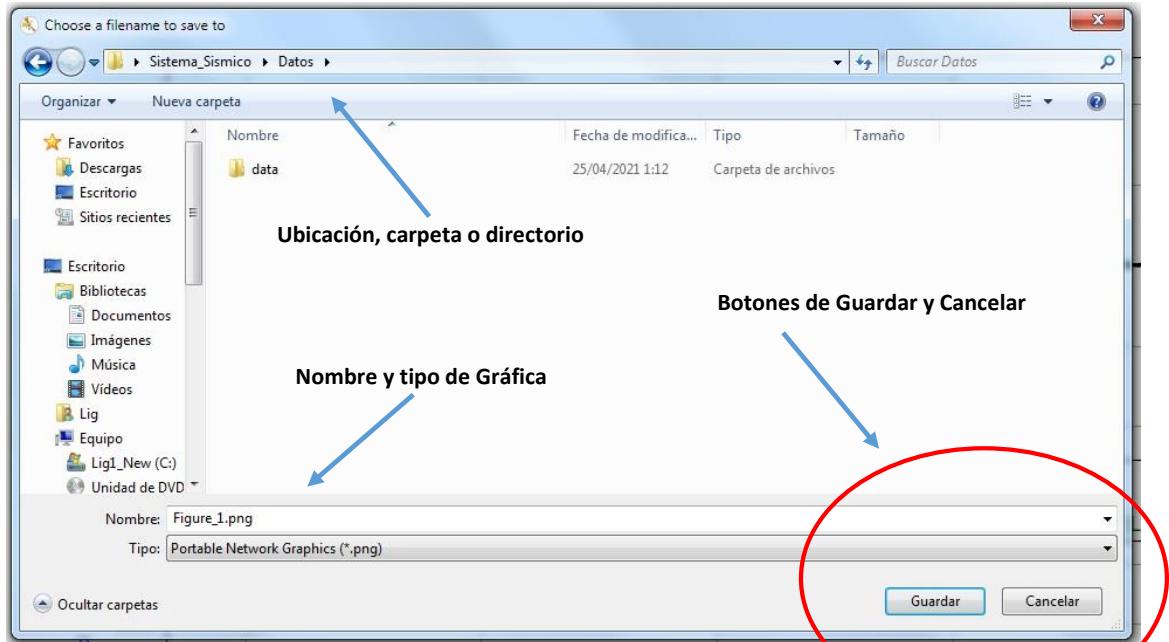


Fig. 79 Pantalla que permite guardar la gráfica, seleccionando un nombre e eligiendo diversos tipos de formatos. Botones de “guardar” y “Cancelar”, para completar o cancelar el proceso.

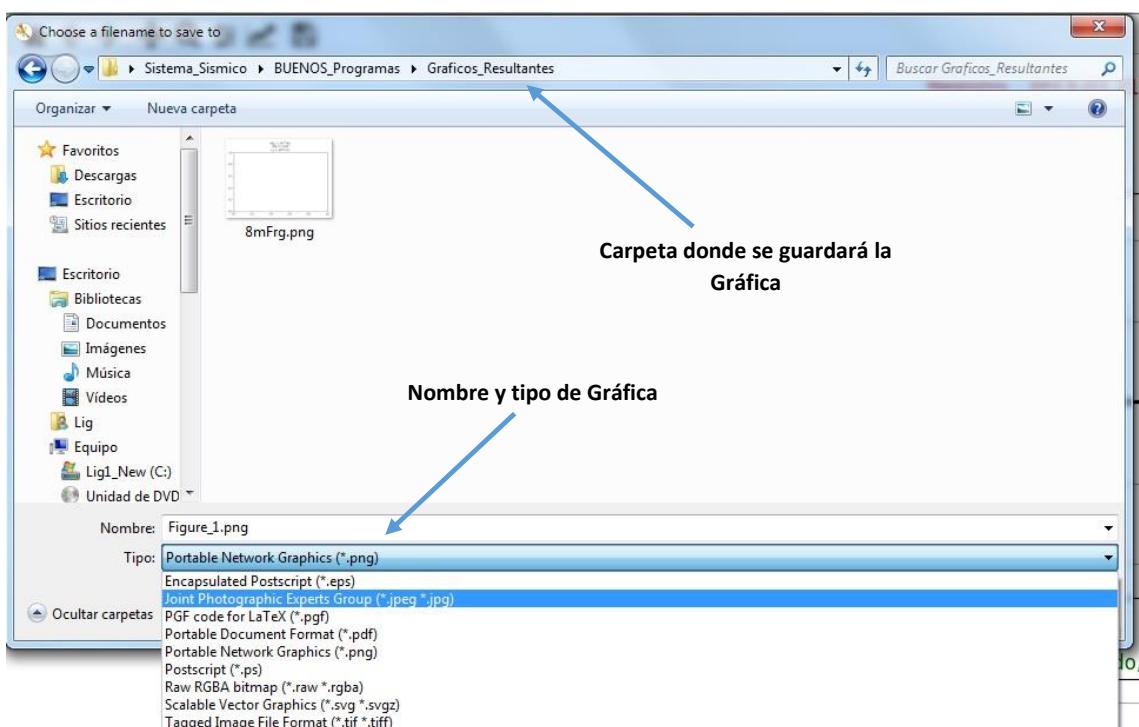


Fig. 80 Pantalla donde se observa los tipos de formatos disponibles para guardar la gráfica.

Entre los tipos de formatos disponibles como se observa se encuentran:

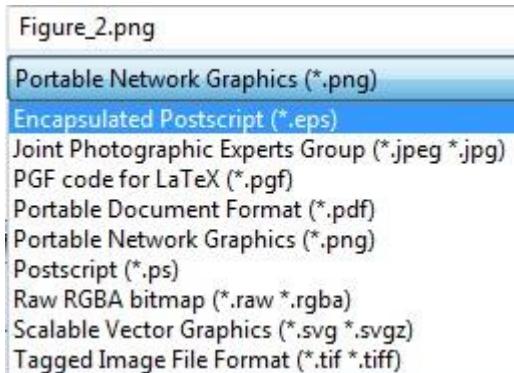
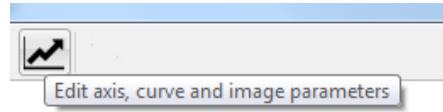


Fig. 81 Lista de los Formatos disponibles, para guardar la gráfica generada por el análisis

Una vez seleccionado, tanto el nombre como el tipo de formato que se desea y la ubicación de la carpeta o directorio en donde se almacenará la gráfica, se procede a dar clic al botón de “**Guardar**” (Cfr. Fig. 79), con lo que la gráfica se almacenará y estará disponible para el uso que se estime necesario.

6.2.- Edición de los ejes e imágenes de las Gráficas

A través del botón de “Edición”, punto 7 del listado de la barra de herramientas gráficas ([Edit axis, curve and image parameters](#)), es posible editar o modificar los parámetros de los ejes, las imágenes y curvas de las gráficas.



Por ejemplo, para modificar los parámetros de la imagen de un espectrograma. Se da clic a dicho botón de comando. Se presenta una pantalla o caja de diálogo “Customize (Personalizar)”, que indica cuál de los “axes (ejes)”, de las áreas de la gráfica se desea editar o modificar y luego de da clic al botón de “**OK**”. Esta pantalla es similar a la siguiente.

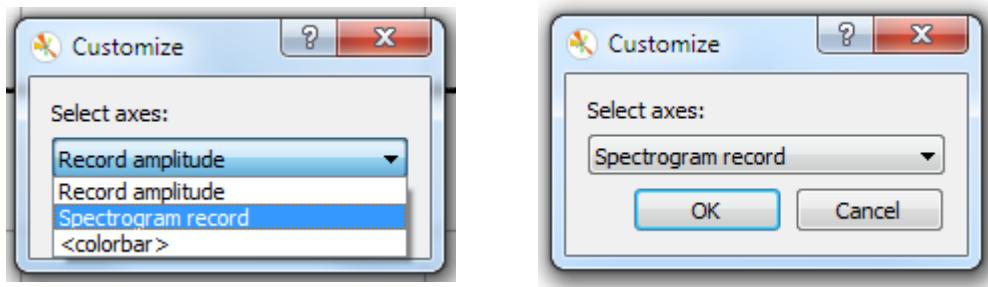


Fig. 82 Caja de diálogo de Customize (Personalizar), se ha seleccionado el eje del espectrograma.

Una vez que se selecciona el eje deseado y que se ha dado clic al botón “OK”, se presenta una nueva ventana con las opciones de la figura. Aquí se seleccionan los diversos valores a editar de dicho eje, en este caso del espectrograma (Axes (ejes) e Imágenes). La ventana de diálogo es la siguiente.

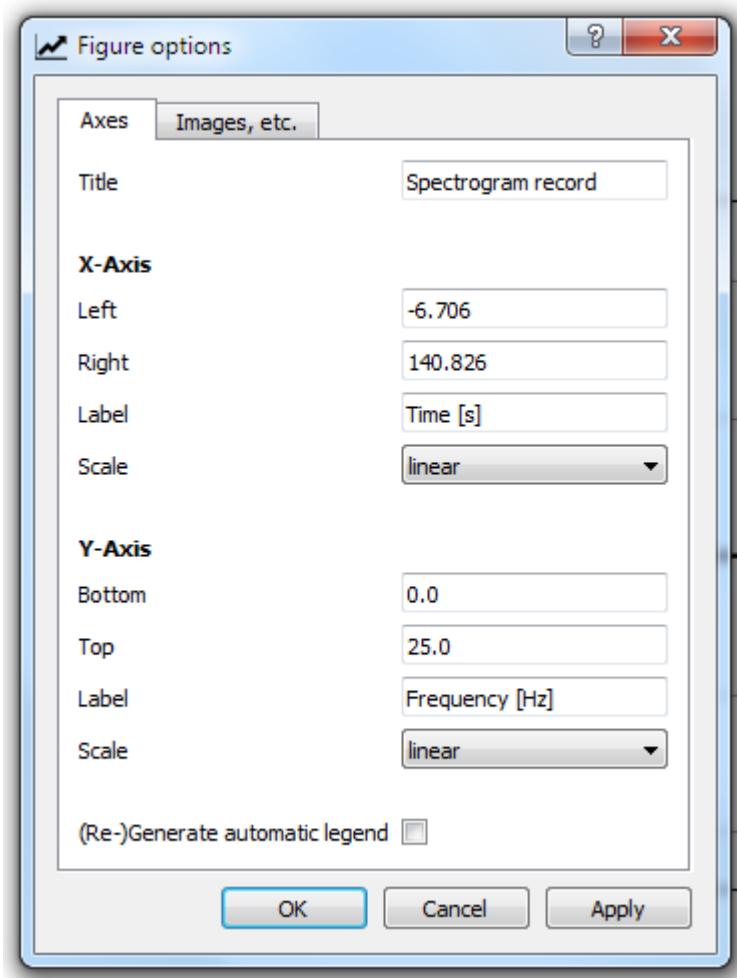


Fig. 83 Caja de diálogo de opciones de edición del título y ejes de la figura.

En esta parte de *Axes* (ejes), como se observa, se pueden editar o modificar los valores o parámetros del título y los ejes “X” y “Y” de la gráfica. Para nuestro ejemplo, lo que se desea modificar es la imagen, con lo que se va a seleccionar la pestaña que indica esta opción. La imagen que se presenta es la siguiente.

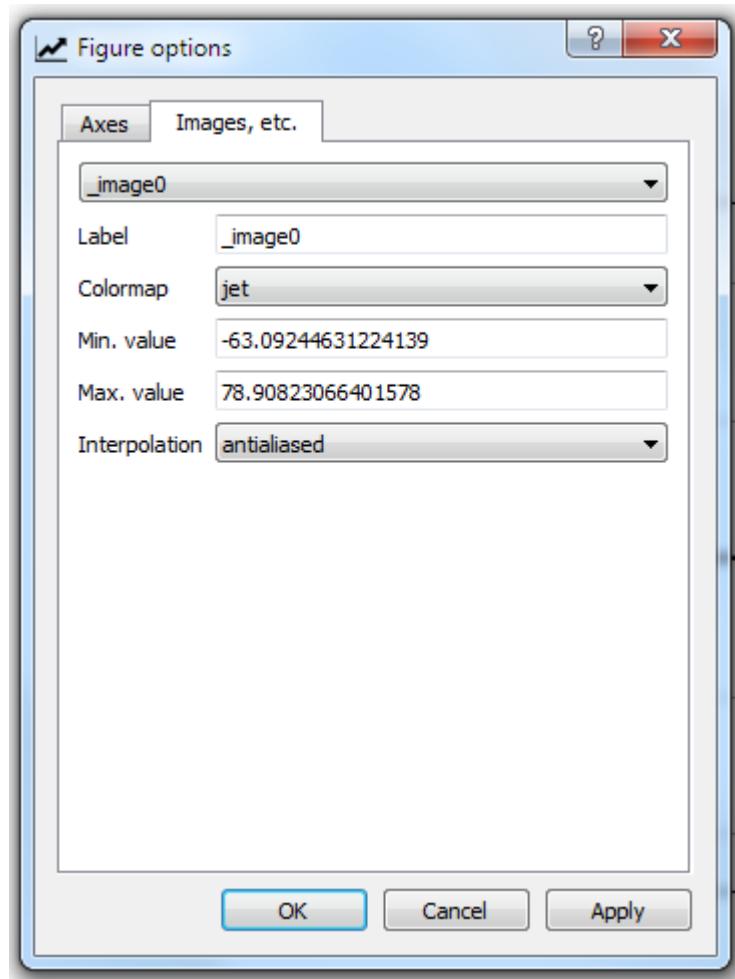


Fig. 84 Caja de diálogo de opciones de edición de los parámetros de la imagen

Como se observa en la imagen, se pueden modificar las etiquetas el mapa de color o “*colormap*” utilizado en el espectrograma. Aquí por defecto se ha programado el modo “jet”. Los valores mínimos y máximos de este mapa de color y la interpolación utilizada se asignan por defecto a la imagen, pero pueden modificarse según el interés del operador.

Algunos valores de los parámetros, tanto del mapa de color “*Colormap*” como de la Interpolación “*Interpolation*” que están disponibles y que, por lo tanto, se pueden seleccionar se presentan en la siguiente figura.

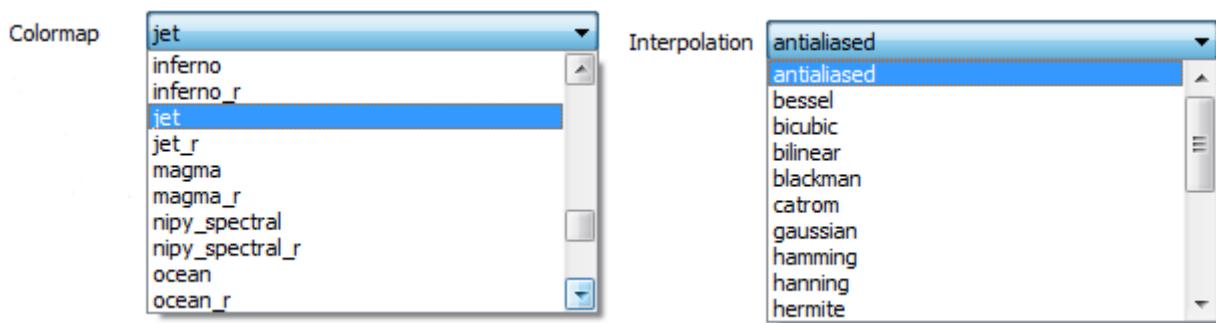


Fig. 85 Cajas de diálogo de edición de los parámetros de “*Colormap* (Mapa de color)” y de “*Interpolation* (Interpolación)” de la gráfica

CONCLUSIÓN: Como se ha podido comprobar en el desarrollo del presente trabajo, tanto el presente módulo, como el resto del sistema, han sido diseñados y desarrollados para ser un completo conjunto de herramientas informáticas de procesos elaborados de cálculo y análisis de señales sísmico-volcánicas, que permiten una fácil comprensión, uso y acceso por parte del usuario (*aun careciendo de conocimientos informáticos avanzados*). Representan, interfaces amigables y sencillas, que ofrezca una ayuda tecnológica fiable para los observatorios y personal investigador en el análisis de registros sísmicos. Al igual que cada uno de los módulos que componen este sistema, la versión (1.1) actual (*mejorada de la primera versión 1.0*), consta de un único módulo, en el que se han incluido una serie de análisis de filtros y los análisis espectrales, más frecuentemente utilizados en el estudio de los registros sísmico-volcánicos más generales. Adicionalmente, se pueden añadir a futuro, en versiones posteriores, diversos módulos con diferentes tipos de análisis, que ofrezcan un valor añadido en el proceso de la investigación, el estudio y análisis de las señales sísmico-volcánicas.

Agradecimientos:

This software and its documentation are the result of research from Spanish projects:

- a) PID2022-143083NB-I00, “LEARNING”, funded by MCIN/AEI /10.13039/501100011033
 - b) JMI and LG were partially funded by the Spanish project PROOF-FOREVER (EUR2022.134044)
 - c) PRD was funded by the Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (MCIN), Agencia Estatal de Investigación (AEI), Fondo Social Europeo (FSE), and Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+I Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores 2020 (PRE2020-092719).
 - d) Spanish Project PID2022-143083NB-100 founded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by FEDER (EU) “Una manera de hacer Europa”.
- PLEC2022-009271 ““DigiVolCa””, funded by MCIN/AEI, funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by EU «NextGenerationEU/PRTR», 10.13039/501100011033.

FIN del documento.

Ligdamis A. Gutiérrez E. PhD.

Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Facultad de Ciencias.

Instituto Andaluz de Geofísica.

Universidad de Granada (Ugr)

Granada, España – 2021-2023



Departamento de Física Teórica y del Cosmos



INSTITUTO ANDALUZ
DE GEOFÍSICA

ANEXO A

A1.- Instalación de Python y librerías adicionales

A1.1. Contenido del paquete de Instalación.

La carpeta principal “**Analysis_System_1**”, contiene dos carpetas con los programas (*códigos e interfaces en inglés y documentación en castellano e inglés*), organizadas de la siguiente manera:

- a) Carpeta “**Reliable_set_tools_system_1**”: (conjunto del sistema de análisis sísmico). Esta carpeta debe de ser copiada en “Mis Documentos”, contiene los siguientes elementos:
 - a. Carpeta: “**Images**” Imágenes necesarias para visualizar correctamente la interfaz.
 - b. Programa: **Menu.py**. Programa de inicio, presentación y llamada a los módulos individuales.
 - c. Programa: Analysis_System_1.py. Programa principal de análisis espectral y filtro. (programa actual, más el resto de módulos).
 - d. Programa: class_canvas1.py. Programa que crea los canvas iniciales utilizados en la interfaz de análisis.
- b) Carpetas (*Document_ES y Document_EN, dependiendo del idioma; inglés o castellano*). Para Castellano “**Document_ES**”: Se compone de los siguientes ítems:
 - a. Manual de Usuario del módulo: “**I_Manual_Analysis_System_Vrs1_1.pdf**” en PDF, redactado en español con la documentación necesaria del uso de las interfaces del sistema. A su vez, se encuentran el resto de manuales de los demás módulos (1-10), que componen el sistema.
 - b. Fichero “**Initials_requirements.txt**”. Fichero que contiene las librerías necesarias para instalarse en Windows a través del “Pip”, una vez instalado Python.
 - c. Fichero “**README.txt**”: Fichero con las instrucciones generales y básicas del sistema y su instalación.
 - d. Fichero “**Set_tools_System_1_1.bat**”, fichero ejecutable de procesamiento por lotes. Debe de copiarse en el escritorio, desde ahí mediante clic derecho “ejecutar como administrador”, iniciará el sistema llamando al menú principal. El fichero buscará automáticamente el programa de inicio (*Menu.py*) que se encuentra en la carpeta “**Set_tools_System_1_1**” que previamente se ha copiado en “Mis Documentos” e iniciará Python, ejecutando dicho programa.

El sistema, dispone de todos los elementos en inglés, salvo el manual de usuario, que está redactado en español e inglés. Para instalar en Windows, se debe proceder a realizar dos acciones principales posteriores a descargar y descomprimir los ficheros “**Rar**”. La primera es copiar la carpeta (a) entera a la carpeta “*Mis Documentos*” del PC.

- a) Copia de la carpeta “**Set_tools_System_1_1**” a “Mis documentos” de Windows desde la carpeta que lo contiene (**Analysis_System_1**).
- b) Copia del fichero “**Set_tools_System_1_1.bat**”, desde la carpeta “(**Documentos/Document_ES o Document_EN**)” de acuerdo a la versión (*Castellano o inglés*), al escritorio de Windows.

Con esto, ya se asegura el correcto uso del programa. Ahora, se procederá a la instalación del lenguaje Python y las librerías adicionales de Python en Windows.

A1.2.- Instalación de Python en Windows

Python, es un lenguaje de programación interpretado multiplataforma (*funciona bajo diversos sistemas operativos, Windows, Linux, Mac*) y multiparadigma (*uso de dos o más paradigmas dentro de un programa, orientado a objetos, reflexivo, imperativo y funcional*).

Además, Python puede ser enriquecido por una gran cantidad de módulos, librerías, paquetes o bibliotecas de programación, que son instaladas mediante su gestor de paquetes o “**Pip**”. En Linux, el programa Python y su gestor “**Pip**” se instalan conjuntamente con el sistema operativo. En los sistemas Windows en cambio, en los que el Python no es un lenguaje nativo, se necesita instalar previamente dicho lenguaje, descargando la versión adecuada desde la página Web de distribución de Python, ubicada en la siguiente dirección: <https://www.python.org/downloads/>

En la Web, se debe de seleccionar la versión correcta, de acuerdo al tipo de sistema operativo que se encuentra en el ordenador, incluyendo si este es de 32 o 64 bits.

Para poder ser instaladas, tanto en sistemas de 32 como en 64 bits. Hay que recordar, que la redacción de este documento y el software, han sido creados con la versión disponible en su momento, que fue “**Python 3.8.6**”, que varía y se actualiza constantemente. De hecho, a partir de esa versión, han surgido muchas más. Una versión más moderna y adaptable al software (*que se sugiere*) es: “**Python 10.10**”. El usuario necesita revisar si versiones más avanzadas, no interfieren con algunas de las librerías instaladas, como la “**Obspy**”, por ejemplo. Esto se debe a que todo lo relacionado con los sistemas Linux, está constantemente modificándose, con las actualizaciones que Python y los sistemas basados en Linux realizan. Por lo que es recomendable, visitar la página Web y descargar la versión actualizada más estable o probada de Python, que funcione adecuadamente con este software.

Una vez descargada, se procede a ejecutar como administrador (*botón derecho del ratón y “ejecutar como administrador”*), se presentará el asistente de instalación del software, que guiará los pasos necesarios en la instalación (*sólo seguir las instrucciones*). El proceso dura solo unos pocos minutos. Es “recomendable” indicar durante el proceso, cuando se pregunte, que se incluya un acceso en el “**Path**” del sistema, para que así, Python pueda acceder desde cualquier sitio de Windows. Si esto no se hace durante el proceso de instalación, se debe de realizar de forma manual, modificando las variables de entorno (*más complicado*), para incluir el camino desde donde se encuentra instalado Python. Esto no será necesario (*si se le indica al inicio*), por medio del asistente de instalación.

A1.3.- Instalación de librerías adicionales

El siguiente paso es comprobar que el Python y su administrador de archivos o paquetes (pip) han sido instalados correctamente. El “**pip**” (gestor de ficheros y librerías) es muy importante, ya que es el que permite la instalación de librerías adicionales, que Python necesita para ejecutar correctamente los programas creados. Para ello, hay que abrir la ventana de consola del Windows, o “CMD”. El CMD, símbolo del sistema o también conocido como “*Command prompt*”, es un intérprete de línea de comandos.

Acceder al CMD, es posible por medio del teclado, buscando la tecla con el logo de Windows (Una ventana), situada entre la tecla “Ctrl” y “AltL” en la parte inferior izquierda



del teclado. Pulsando dicha tecla, más (+) la tecla de la letra “**R**”, abrirá una ventana del programa “**Ejecutar**”, similar a la siguiente.



Fig. A1 Pantalla de Ejecutar en Windows. En el **círculo rojo**, teclear “**cmd**” y clic a “**Aceptar**”

Como se observa en la figura anterior, se teclea “**cmd**”, se da clic a “**Aceptar**”, lo que abrirá la ventana o consola de comandos de Windows.

Otra forma de realizar esto, es en la parte inferior del escritorio, en (W7) o junto (W10) al botón de “Inicio” de Windows. Se encuentra la sección de búsqueda, señalada mediante el ícono de una lupa. Esto indica, la búsqueda de programas. Similar a la siguiente.



Fig. A2 Pantalla de Búsqueda de programas en Windows.

En el cuadro donde dice “Buscar programas y archivos” (Windows 7) o “Escribe aquí para buscar” (Windows 10), se teclea igualmente “**cmd**”. Esta acción o la anterior, presentará la consola de comandos (**CMD**) de Windows, similar a la siguiente (W7).



Fig. A3 Pantalla o consola de comandos “CMD” en Windows 7.

Lo mismo para las versiones: Windows 10 (W10) o Windows 11 (W11).

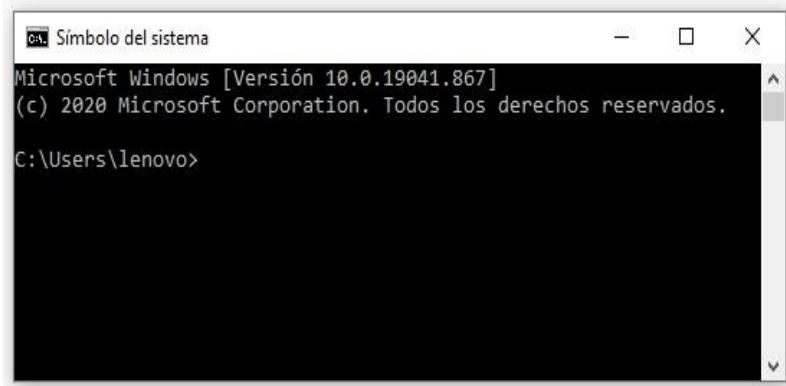


Fig. A4 Pantalla o consola de comandos “CMD” en Windows 10.

Una vez ahí, para verificar que tanto Python como su administrador de paquetes “**pip**” han sido instalados correctamente, se teclea los siguientes comandos: Python –V, y para verificar el “**pip**” se teclea: **pip –V**. Esto se observa en la siguiente figura.

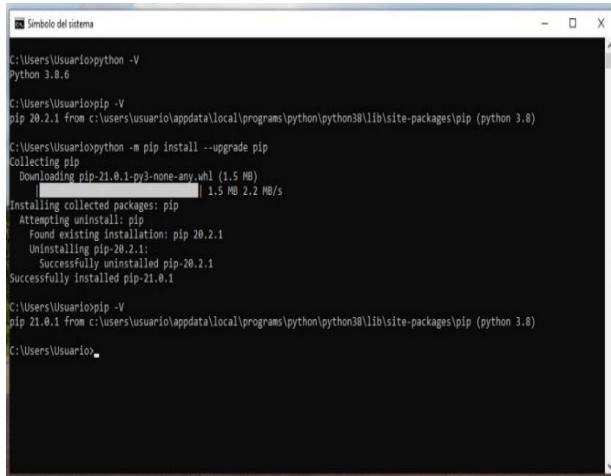


Fig. A5 Pantalla CMD, indicando las versiones de python y pip en Windows.

La salida de teclear –V en Python, indica invocar la versión que ha sido instalada. En este caso se observa que es la “[3.8.6](#)”. Esto se ha podido realizar desde cualquier sitio del sistema, debido a que la secuencia de comandos de Python, ha sido instalada recordemos en el “path” o ruta que se encuentra en las variables de entorno del sistema. También después de teclear “pip – V”, se observa que la versión de pip es la “[20.2.1](#)”. En este punto, se recomienda actualizar dicha versión, ya que, por defecto “**pip**” se instala conjuntamente con “**Python**”, pero no instala la última o más actualizada versión. Para ello, en la ventana o consola CMD, se debe de teclear el siguiente comando (Windows/Linux): En Windows se teclea “**python**” y en Linux se teclea “**python3**”.

> **python –m pip install –upgrade pip** | **Linux: \$ sudo python3 –m pip install –upgrade pip**

Lo que indica que se actualizará el “**pip**” a su más reciente versión (*En Linux, como “superusuario”, es decir, “sudo” al inicio*). Lo observamos en la siguiente pantalla.



```
C:\Users\Usuario>python -V
Python 3.8.6

C:\Users\Usuario>pip -V
pip 20.2.1 from c:\users\usuario\appdata\local\programs\python\python38\lib\site-packages\pip (python 3.8)

C:\Users\Usuario>python -m pip install --upgrade pip
Collecting pip
  Downloading pip-21.0.1-py3-none-any.whl (1.5 MB)
    1.5 MB 2.2 MB/s

Installing collected packages: pip
  Attempting uninstall: pip
    Found existing installation: pip 20.2.1
    Uninstalling pip-20.2.1:
      Successfully uninstalled pip-20.2.1
  Successfully installed pip-21.0.1

C:\Users\Usuario>pip -V
pip 21.0.1 from c:\users\usuario\appdata\local\programs\python\python38\lib\site-packages\pip (python 3.8)

C:\Users\Usuario>
```

Fig. A6 Pantalla de actualización y verificación de la nueva versión del pip en Windows.

Como se puede observar, al teclear de nuevo (**pip – V**), una vez actualizada “**pip**”, la versión en la 21.0.1. Con esto ya se tiene instalado y actualizado Python y el **pip**. El **pip** como se ha mencionado, es muy importante, porque con este administrador, se proceden a instalar todas las librerías y paquetes necesarios, para que las aplicaciones creadas en Python puedan ser ejecutadas correctamente y sin errores. Para utilizar el sistema, se debe de proceder mediante “**pip**” a la instalación de paquetes o librerías necesarios.

A continuación, se procederá a la explicación de cómo de forma sencilla y completamente automática se instalarán en el sistema, las librerías más comúnmente utilizadas y generales que Python necesita. Librerías como, por ejemplo “**obspy**”, que es la librería o software en código abierto, basado en **Python** para el procesamiento de datos sismológicos. También, “**matplotlib**”, que es una biblioteca para la generación de gráficos a partir de datos contenidos en listas o arrays en **Python** y su extensión matemática “**NumPy**”, entre otros, que el sistema necesita para su ejecución.

A1.4 Instalación automática de las librerías en Windows a partir del PIP

La ventaja de tener ya instalado y actualizado el PIP en Windows, es que se puede realizar la instalación de todas las librerías que Python necesita para poder ejecutar el sistema.

Adicionalmente, en la carpeta “**Document** (Documentos)”, en el fichero “**Readme.txt**” se encuentran las instrucciones de esta instalación. Por lo que el usuario, solo debe de seguir las instrucciones y los paquetes necesarios que serán instalados en el ordenador (PC) de forma automática por el “**Pip**” tanto en Windows como en Linux. Las librerías necesarias están en el fichero denominado “**Initial_requirements.txt**”, incluido en la capeta “**Document**” de los ficheros descargados de la instalación y en el **Anexo B**.

En una ventana de comandos “**Cmd**” de Windows, se realizan las acciones para cada uno de los comandos indicados en el fichero, siguiendo las instrucciones. No debe de presentar problemas la instalación en sistemas Windows y Linux. Si alguna librería presenta algún error en la instalación (*se muestra en color rojo en el CMD*), debe de consultarse la documentación de dicha librería, o revisar si se está instalando la versión de Python adecuada o recomendada (**versión 3.8.6 y/o 3.10.10**). La instalación en los sistemas **Linux** (*Cfr. README.txt*) es similar y más sencilla. Se copia la carpeta principal ya sea en el escritorio, en la carpeta personal, etc. Desde esa ubicación, se abre una ventana de comandos y simplemente se teclea:

“**\$ python3 Menu.py**” para iniciar el sistema.

ANEXO B:

INSTALAR LIBRERÍAS PYTHON, PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

1.- **PIP**: El **Pip** (Programa de Instalación Preferida), es el administrador de paquetes o gestión de paquetes, que se utiliza para instalar y administrar paquetes de software escritos en Python. Al Instalar Python, PIP se instala por defecto. Hemos mencionado que ver la versión de Python o PIP, se teclea en una consola o CMD el comando (-V) como sigue:

```
python -V / pip -V Y para ver la lista de paquetes pip instalados: -> pip list
```

Normalmente, hay que actualizar la versión de pip, con la que se instala Python. Para esto se teclea en la ventana de comandos (CMD). En sistemas Linux y Mac, se coloca “**sudo**”, para indicar permisos de super-usuario.

```
Python -m pip install --upgrade pip / (LINUX) -> sudo python -m pip install --upgrade pip
```

Una vez que se descarga e instala, podemos comprobar de nuevo la versión, con el primer comando, se observará que la versión ha cambiado y actualizado. Ahora que se tiene el “pip” actualizado, se procederá a instalar los paquetes necesarios para que Python funcione correctamente con las aplicaciones.

2.- Instalación de **PyQt**: Este es un enlace de Python para la biblioteca Qt escrita en el lenguaje C++. Para la creación y uso de interfaces gráficas de usuario (GUI) en Python. Se teclea lo siguiente en la ventana de comandos (CMD).

```
pip install PyQt5 / (LINUX & Mac) -> sudo python install PyQt5
```

3.- Instalación de la librería Matplotlib. Es la librería que permite la creación y visualización de gráficos. Se teclea lo siguiente:

```
pip install matplotlib / (LINUX & Mac) -> sudo python install matplotlib
```

4.- Instalar la librería **Obspy**. Es la librería para el manejo de señales sísmicas. Se teclea:

```
pip install obspy / (LINUX & Mac) -> sudo python install obspy
```

5.- Instalar Thinter: Es una interfaz gráfica de Usuario (GUI). Se teclea lo siguiente:

```
pip install tk / (LINUX & Mac) -> sudo python install tk
```

6.- Instalar **quantecon**: Es una librería que sirve para utilizar la estimación del espectro, Periodograma, transformada de Fourier. Se teclea lo siguiente:

```
pip install --upgrade quantecon / (LINUX & Mac) -> sudo python install --upgrade quantecon
```

7.- Actualizar una librería para **matplotlib**. Para evitar problemas con los gráficos.

```
pip install msvc-runtime / (LINUX & Mac) -> sudo python install msvc-runtime
```

8.- Instalar **easygui** para la interfaz gráfica.

```
pip install easygui / (LINUX & Mac) -> sudo python install easygui
```

9.- Instalar **PyWavelets** para el manejo de la CWT.

```
pip install PyWavelets / (LINUX & Mac) -> sudo python install PyWavelets
```

10.- Instalar **plotly**, para el manejo y ayuda de los gráficos junto a Matplotlib.

```
pip install plotly / (LINUX & Mac) -> sudo python install plotly
```

11.- Instalar “**pyaudio**”, para el manejo de audio. Python bindings for PortAudio v19, the cross-platform audio I/O library

```
python -m pip install pyaudio / (LINUX & Mac) -> sudo apt-get install python3-pyaudio
```

Al final se teclea “**pip list**”, para ver las librerías instaladas. Adicional: Se puede crear un fichero llamado “**requirements.txt**”, que contendrá todas las librerías que el PC utilizará. El archivo requirements.txt, debe de estar en el directorio actual.

```
pip freeze > requirements.txt
```