

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 Métodos de disparo del algoritmo STA/LTA para Registros Sísmicos”

(STA/LTA Algorithm trigger Methods 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.- Interfaz 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>3.2.- Elementos del bloque de selección</u>	8
<u>3.2.1.- Botón de Carga de Registro</u>	8
<u>3.2.2.- Botón “Clean Inputs (Limpieza)</u>	9
<u>3.2.3.- Selección de tipo de filtro</u>	10
<u>3.2.4.- Selección de entradas</u>	10
<u>3.2.5.- Filtro Paso-Bajo (Lowpass)</u>	11
<u>3.2.6.- Filtro Paso-Alto (highpass)</u>	13
<u>3.2.7.- Filtro Paso-Banda (Bandpass)</u>	14
<u>3.2.8.- Filtro Suprime-Banda (Bandstop)</u>	16
<u>4.- Bloque de Métodos de disparo STA/LTA (Recursivo y Clásico o Típico)</u>	18
<u>5.- Bloque de ruta y comandos</u>	18
<u>5.1.- Validación de errores en registro o entradas</u>	19
<u>6.- Resultados de Secciones de Filtro y Análisis</u>	20
<u>6.1.- Ejemplo de resultados de selección de filtrado y método Recursivo</u>	20
<u>6.2.- Ejemplo de resultados de selección de filtrado y método Clásico o Típico</u>	21
<u>7.- Gráficas resultantes</u>	22
<u>7.1.- Gráficas de Filtros y Zoom de los registros</u>	22
<u>7.1.1.- Gráficas de Filtros y Zoom de los registros por el método “Recursivo/Recursive”</u>	23
<u>7.1.2.- Gráficas de Filtros y Zoom de los registros por el método “Clásico o Típico/Classic”</u>	31
<u>8.- Creación de ficheros de texto (.txt) con valores finales STA y LTA</u>	39
<u>9.- Barra de Herramientas de las gráficas (Librería Matplotlib)</u>	41
<u>9.1.- Guardar las gráficas</u>	41
<u>9.2.- Edición de los ejes e imágenes de las Gráficas</u>	43
<u>CONCLUSIÓN</u>	46
<u>Agradecimientos</u>	46
<u>Anexo A</u>	47
<u>A1.- Instalación de Python y librerías adicionales</u>	47
<u>A1.1. Contenido del paquete de Instalación</u>	47
<u>A1.2.- Instalación de Python en Windows</u>	47
<u>A1.3.- Instalación de librerías adicionales</u>	48
<u>A1.4 Instalación automática de las librerías en Windows a partir del PIP</u>	51
<u>Anexo B</u>	53
<u>Instalar librerías Python, para el correcto funcionamiento del sistema</u>	53

El “*Sistema de Métodos de disparo del algoritmo STA/LTA para Registros Sísmicos (STA/LTA Algorithm trigger Methods System for Seismic Records)*” constituye una interfaz amigable, que permite una fácil y eficiente gestión del algoritmo STA/LTA¹ (*Short-Time-Average/Long-Time-Average*), que es el método más comúnmente empleado para calcular la llegada de las ondas P y S en los registros sísmicos. El algoritmo utiliza el índice STA/LTA que identifica un aumento del incremento de la ventana dinámica de tiempo corto STA, con respecto a la ventana dinámica de tiempo largo LTA que la precede, determinadas en una traza sísmica. La interfaz principal dispone de una versión del sistema en inglés. En los anexos, se podrá encontrar información de la estructura de las carpetas y su contenido. El fácil acceso a dos de los métodos de disparo STA/LTA como son: “*recursivo*” y “*clásico o típico*”, sumado a la capacidad de utilizar técnicas de filtros, permite tener una herramienta automática fiable, para de esta forma, ayudar al operador a identificar las llegadas de la onda P y S en las señales sísmicas.

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 el algoritmo de disparo STA/LTA, dando de forma automática un valor añadido al conocimiento del operador, para determinar el inicio de un evento y así poder establecer la llegada de la onda sísmica con mayor rapidez y exactitud que de forma manual. En esta nueva versión, se agrega la creación de ficheros “.txt”, donde se muestran los resultados de los valores de tiempo de llegadas de la STA y las LTA (líneas azules), así como un conteo final de los eventos marcados.

Tanto la primera como la segunda versión de este sistema, se compone de una sola interfaz, que abarca herramientas para el filtrado de la señal y los métodos “*recursivo*” y “*clásico o típico*” del algoritmo STA/LTA. El sistema, 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 sistema ha sido desarrollado en el lenguaje Python, versión 3.8.6. Asimismo, se incluyen una serie de librerías de libre acceso que trabajan en conjunción con Python, 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), en versiones para 32 y 64 bits. Además de sistemas Linux, como Ubuntu, sistemas Mac, o Android para Tablets y móviles (previa adecuación de Python para estos dispositivos).

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.

¹ Allen, R. (1982). Automatic phase pickers: their present use and future prospects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72(6B), S225-S242.

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”.

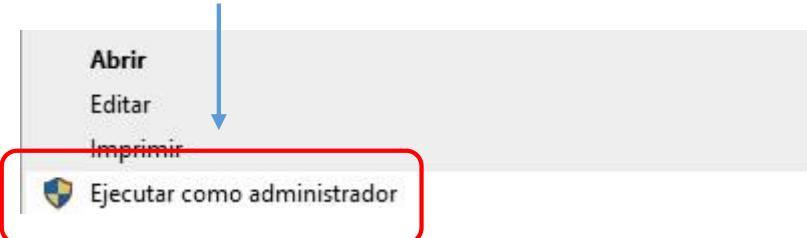


Fig. 1 Ventana emergente al dar clic derecho del ratón al fichero “Set_tools_System_1_1.bat”

En la pantalla que se abre, dar clic en el botón “Si”, 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.

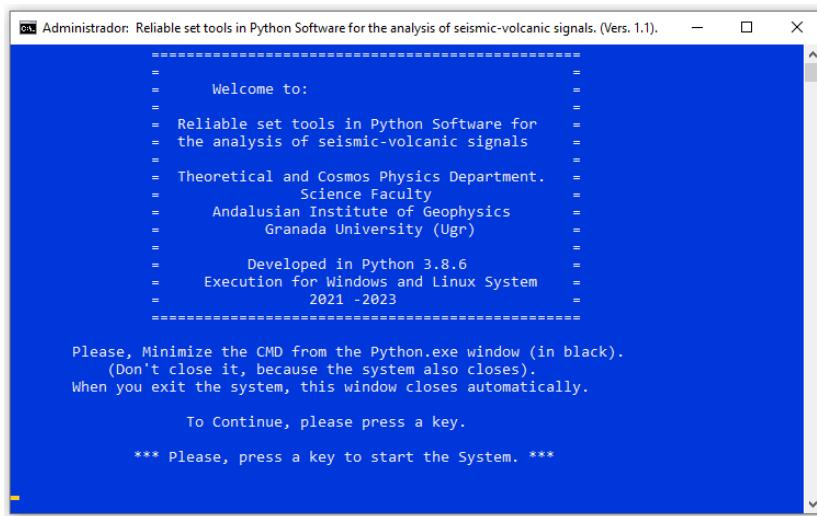


Fig. 2 Pantalla de Bienvenida e instrucciones para carga del sistema.

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:

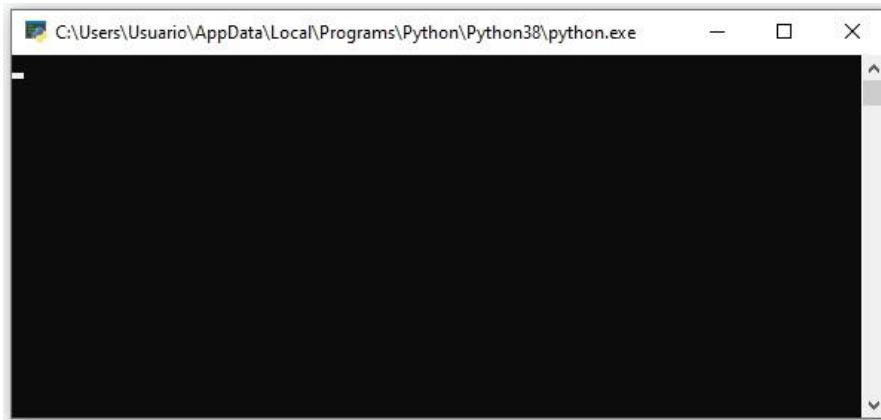


Fig. 3 Pantalla de consola (CMD) de Python (*Se debe de minimizar*)

Para que no obstaculice 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.

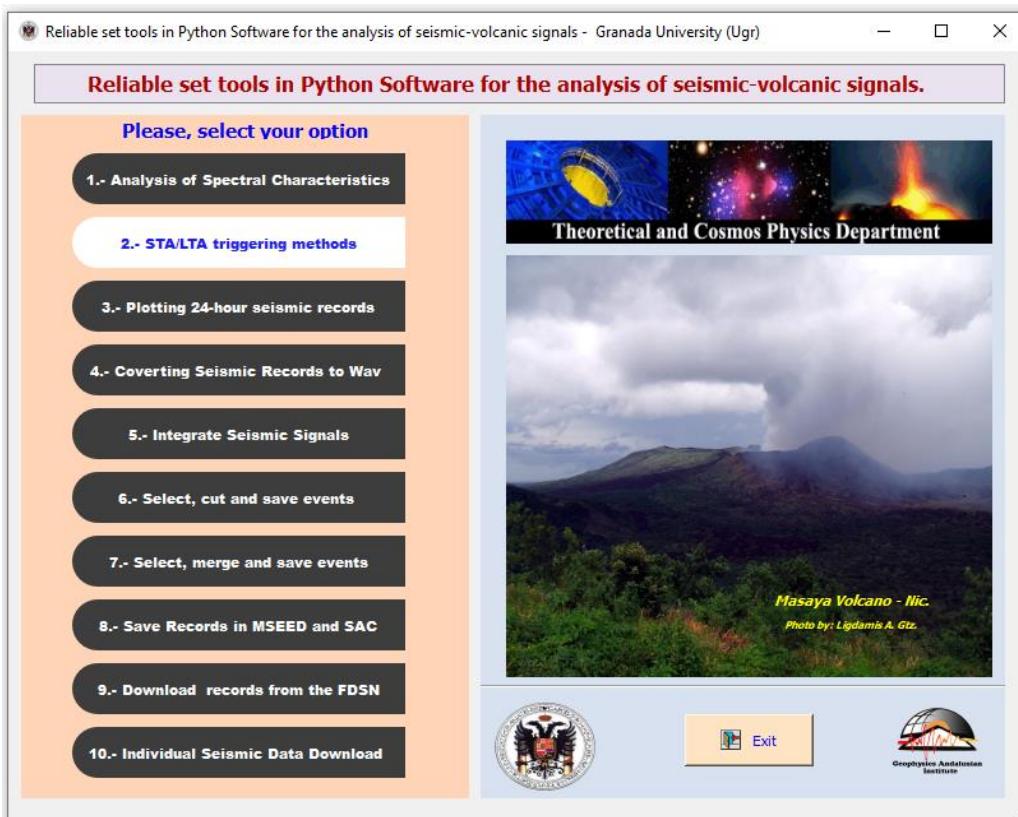
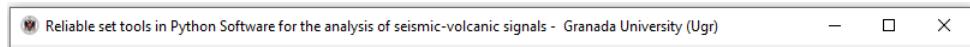


Fig. 4 Pantalla Menú principal. Resaltado se observa el módulo a trabajar. Módulo 2 (STA/LTA triggering methods).

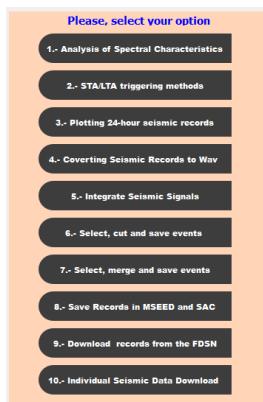
2.1.- Elementos de la pantalla inicial

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.

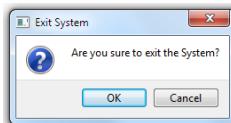


Fig. 5 Caja de texto que indica si se desea salir del sistema.

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.- Interfaz de Análisis

La “*pantalla principal 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 se compone de las siguientes 4 partes:

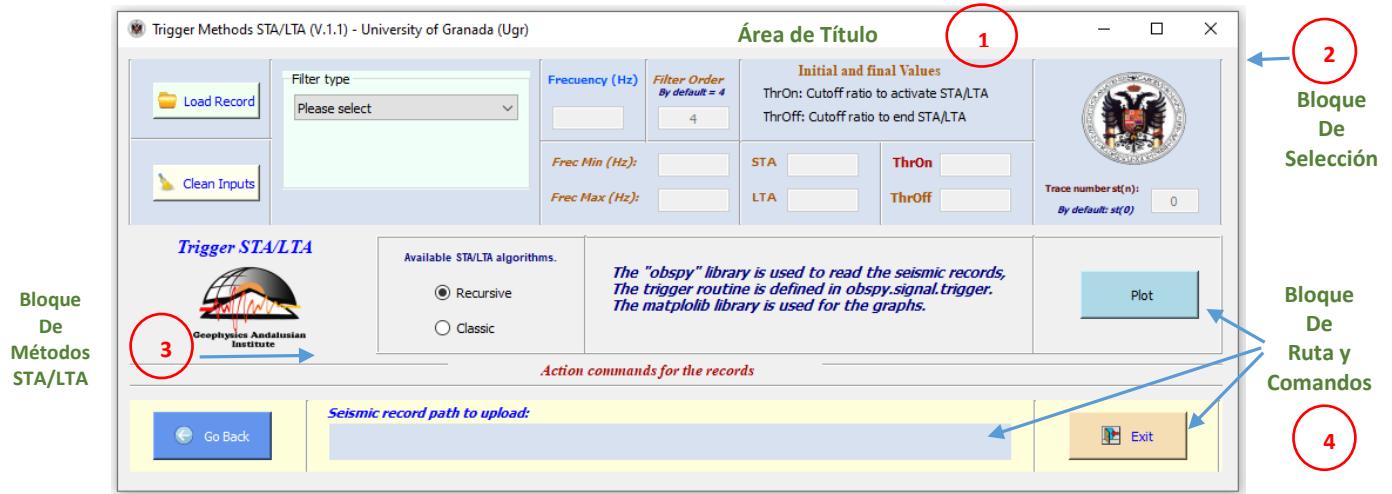


Fig. 6 Elementos de la Pantalla de análisis del sistema.

- 1) Área de Título
- 2) Bloque de Selección: a) Botones de comando: Load Record, Clean Input, b) Tipos de Filtros, c) Entrada de Datos.
- 3) Bloque de Métodos de disparo STA/LTA (*Recursivo y Clásico o típico*).
- 4) Bloque de Ruta y Comandos: a) Ruta de ubicación física del registro a analizar, b) Botones de comandos (*Plot/Graficar, Go Back/Retroceso, Exit/Salida*).

La pantalla se conforma de diversos elementos para su utilización. En la parte superior se observa; Nombre del programa, ícono, 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 3 elementos de la pantalla de análisis en tres bloques principales que se enumeran del (2-4) en los círculos rojos.

3.1.1.- Bloque de Selección. (2)



Fig. 7 Bloque de elementos de selección. En los círculos verdes: a) Botones de comando: Load Record, Clean Input, b) Tipos de Filtros, c) Entrada de Datos.

3.2.- Elementos del bloque de selección

Este bloque, lo configuran (*círculos verdes de la figura anterior*) en primer lugar, la sección que agrupa los botones de acción para cargar el registro y limpieza de datos: (*Botones de comando: Load Record, Clean Input*).



Fig. 8 Botones de Registro y Limpieza de datos. Se observa los mensajes de acción en cada botón.

Como se observa, el botón de “*Load Record*” (Carga Registro), 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 un nuevo análisis de los eventos sísmicos.

3.2.1.- Botón de Carga de Registro.



La acción del botón de “*Load Record*” (Carga 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.

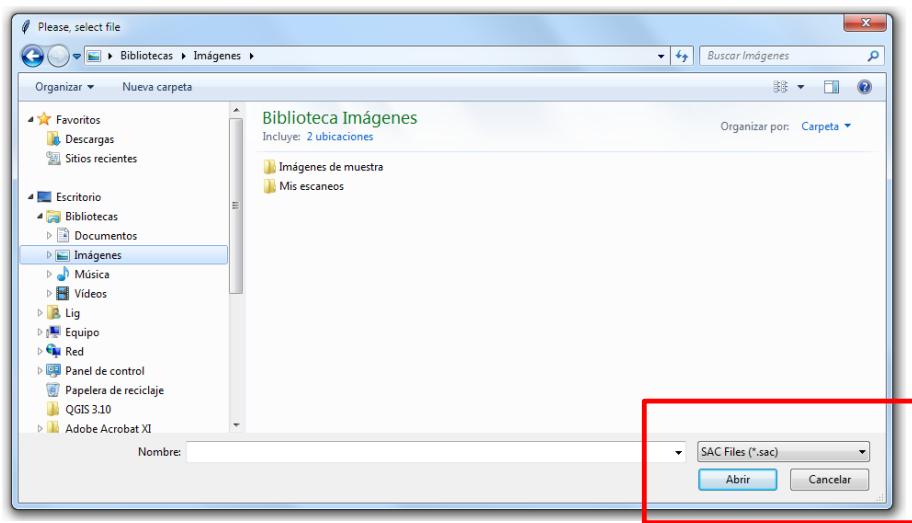


Fig. 9 Pantalla de Selección de Registros.

En esta pantalla (*El Idioma lo determina el sistema operativo*), 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.

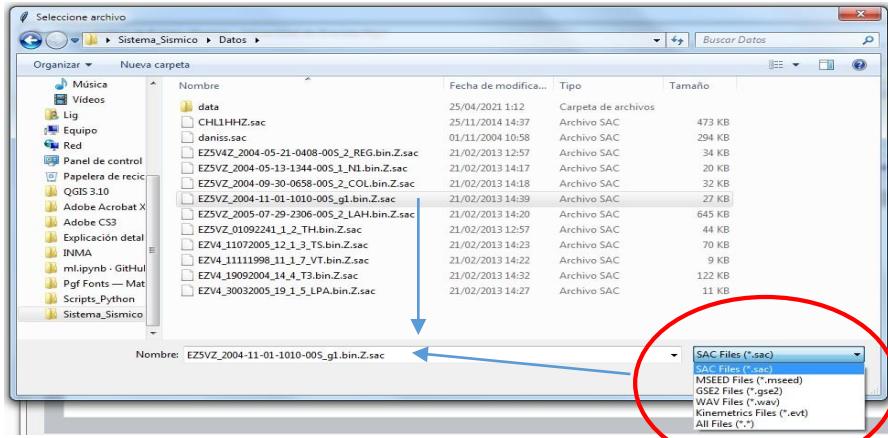


Fig. 10 Pantalla ejemplo de Selección de un registro de formato “SAC”.

En la pantalla se observa en la parte inferior derecha, señalado mediante el círculo rojo, desplegados mediante la flecha, la lista de los tipos de formatos sísmicos más generales 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 archivos “SAC” que se encuentran almacenados en “*Data_examples*”. 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 “**File Path (Ruta Archivo)**”, situado en la parte inferior de la pantalla de análisis.

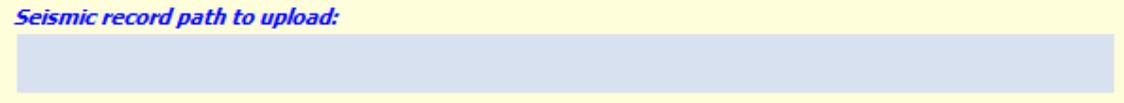
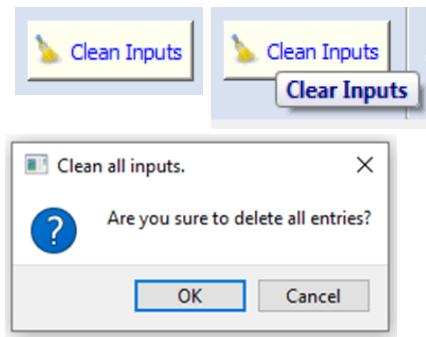


Fig. 11 Cuadro de ruta de archivo, que presenta la ubicación del registro.

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. 25, Page 20).

3.2.2.- Botón “Clean Inputs” (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 borrará 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.



Al dar clic en este botón, se borran todas las entradas en la pantalla. Se limpiará el cuadro anterior de la ruta del registro, a la vez que se cerrará cualquier gráfico resultante y las entradas realizadas. Se restaurarán los valores iniciales a los restantes elementos de la pantalla inicial, como los combos o listados.

3.2.3.- Selección de tipo de filtro

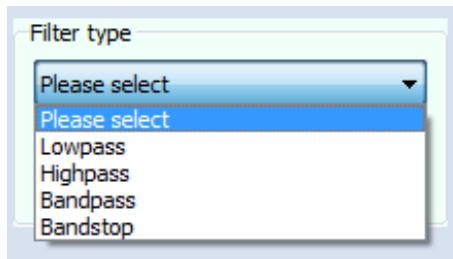


Fig. 12 Selección de tipo de filtro mediante listado

La figura anterior, presenta un listado desplegable con los diversos tipos de filtros disponibles para analizar los registros. Aquí se ubican, como se puede 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 método de disparo del algoritmo STA/LTA.

3.2.4.- Selección de entradas.

Frecuency (Hz) <input type="text"/> a	Filter Order <i>By default = 4</i> <input type="text" value="4"/>	Initial and final Values ThrOn: Cutoff ratio to activate STA/LTA ThrOff: Cutoff ratio to end STA/LTA b		
Frec Min (Hz): <input type="text"/>	STA <input type="text"/>	ThrOn <input type="text"/>		
Frec Max (Hz): <input type="text"/>	LTA <input type="text"/>	ThrOff <input type="text"/>		
		Trace number st(n): <i>By default: st(0)</i> <input type="text" value="0"/> c		

Fig. 13 Selección de entrada a calcular y número de traza del registro (por defecto = 0)

Las entradas están en correspondencia a la selección del tipo de filtro que se indique por parte del operador (el orden del filtro por defecto = 4). Inicialmente, todas las casillas están desactivadas, solamente se activan dependiendo de la elección del tipo de filtro. La Activación/Desactivación responde a lo siguiente:

I) Las casillas de la zona (a): {Frecuency (Hz), Filter Order, Frec. Min (Hz), Frec. Max (Hz)}

1.- Filtro *Paso-Bajo (Lowpass)*, *Paso-Alto (Highpass)*.

Activa: {Frecuency (Hz), Filter Order}.

Desactiva: {Frec. Min (Hz), Frec. Max (Hz)}.

2.- Filtro *Paso-Banda (Bandpass)* y *Suprime-Banda (Bandstop)*.

Activa: {Frec. Min (Hz), Frec. Max (Hz)}.

Desactiva: {Frequency (Hz), Filter Order}.

II) Las casillas de la zona (b): {STA, LTA, thrOn, thrOff, se activan con todo tipo de filtro.}

III) La casilla de la zona (c): {Trace number st(n)} se activa con todo tipo de filtro.

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 en esta casilla de texto. Las entradas están validadas para aceptar solo números, incluyendo decimales y negativos. Los filtros son los siguientes:

3.2.5.- Filtro Paso-Bajo (*Lowpass*)².

Filter type		Frequency (Hz)	Filter Order By default = 4	Initial and final Values		Trace number st(0) By default: st(0)
Lowpass	Please select	0.86	4	STA 0.5	ThrOn 4	
Highpass		Frec Min (Hz):	LTA 4	ThrOff 0.7	0	
Bandpass		Frec Max (Hz):				
Bandstop						

Fig. 14 Ejemplo Selección de tipo Paso Bajo (*Lowpass*). En el círculo rojo la entrada “Frecuencia”, círculo amarillo -> “Orden de Filtro”, Círculo Naranja -> No. Traza, Rectángulo redondeado verde -> (STA, LTA, ThrOn, ThrOff).

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

- Frecuencia de Filtro (Hz):** Valor en número flotante. Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro (Círculo rojo). En el ejemplo, el valor es “0.86 Hz.”
- Orden del Filtro:** Valor en número entero. 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 en todos los análisis un valor = 4*), (Círculo amarillo).
- STA (Short-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de corto plazo promedio, mide la amplitud “instante” de una señal sísmica buscando posibles terremotos. En el ejemplo, el valor es “0.5”.
- LTA (Long-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de largo promedio, mide la amplitud promedio del ruido sísmico actual. En el ejemplo es = 4.
- ThrOn:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para activar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro máximo para los picos y la llegada de la onda “P”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “LTA”. En el ejemplo, el valor es 4.
- ThrOff:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para finalizar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro mínimo para los picos y la llegada de la onda “S”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “STA”. En el ejemplo, el valor es “0.7”.
- Trace number st (0):** Valor en número entero: Determina el valor de la traza que se va a analizar. Por defecto y en formatos como “SAC”, este valor es igual a “0”. En caso de tratarse de múltiples trazas, como por ejemplo en formatos “MSEED”, el observador es quien determina que número de traza va a analizar.

Las casillas de “Frec. Min (Hz)/Frecuencia Mínima” y “Frec. Max (Hz)/Frecuencia Máxima”, permanecen inactivas.

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

Una vez realizadas las acciones, y seleccionado el método de disparo a utilizar (*Recursivo - Clásico o típico*), se da clic en el botón de “**Plot**”. En caso de que se quiera graficar “dar clic al botón de “**Plot**”/Graficar”, (*entrada no válida o un registro inexistente o formato fuera de rango*), en cualquiera de las casillas, se presentará una validación, que visualiza una caja de diálogo, que indica que se ha de realizar dicha acción. Estas cajas de diálogo además, permiten que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las validaciones de entradas incorrectas son las siguientes:

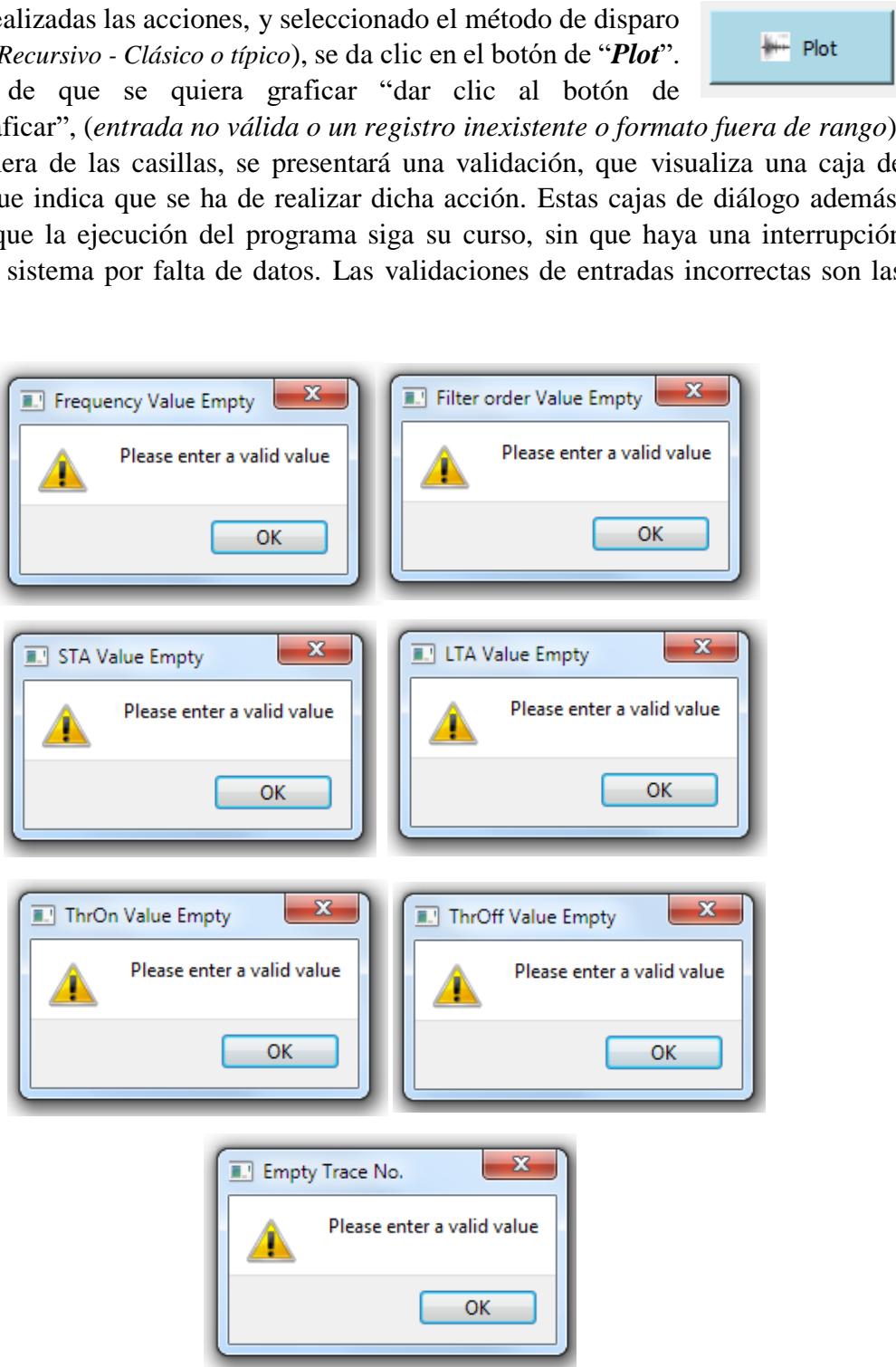


Fig. 15 Validación de entradas en el filtro *Paso-Bajo (Lowpass)*.

Una vez que se corrijen las entradas, introduciendo un valor válido o dentro del rango permitido el programa puede continuar y así presentar la gráfica correspondiente.

3.2.6.- Tipo de filtro Paso-Alto (Highpass)³

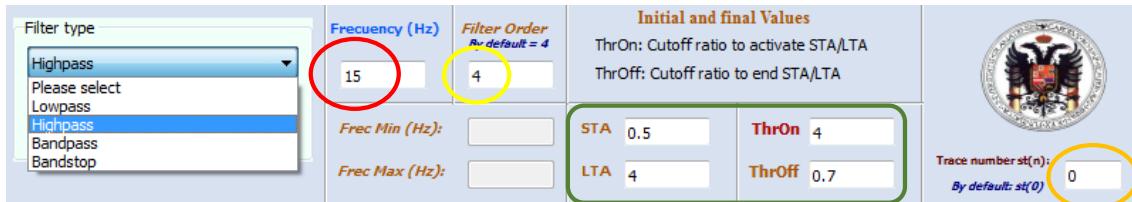


Fig. 16 Ejemplo Selección de tipo Paso Bajo (**Highpass**). En el círculo rojo la entrada “**Frecuencia**”, círculo amarillo -> “**Orden de Filtro**”, Círculo Naranja -> **No. Traza**, Rectángulo redondeado verde -> (**STA, LTA, ThrOn, ThrOff**).

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

- a) **Frecuencia de Filtro (Hz):** Valor en número flotante. Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia que se desea utilizar para calcular el tipo de filtro (Círculo rojo). En el ejemplo, el valor es “15 Hz.”
- b) **Orden del Filtro:** Valor en número entero. 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 en todos los análisis un valor = 4*), (Círculo amarillo).
- c) **STA (Short-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de corto plazo promedio, mide la amplitud “instante” de una señal sísmica buscando posibles terremotos. En el ejemplo, el valor es “0.5”.
- d) **LTA (Long-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de largo promedio, mide la amplitud promedio del ruido sísmico actual. En el ejemplo es = 4.
- e) **ThrOn:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para activar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro máximo para los picos y la llegada de la onda “P”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “LTA”. En el ejemplo, el valor es 4.
- f) **ThrOff:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para finalizar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro mínimo para los picos y la llegada de la onda “S”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “STA”. En el ejemplo, el valor es “0.7”.
- g) **Trace number st (0):** Valor en número entero: Determina el valor de la traza que se va a analizar. Por defecto y en formatos como “SAC”, este valor es igual a “0”. En caso de tratarse de múltiples trazas, como por ejemplo en formatos “MSEED”, el observador es quien determina que número de traza va a analizar.

Las casillas de “Frec. Min (Hz)/Frecuencia Mínima” y “Frec. Max (Hz)/Frecuencia Máxima”, permanecen inactivas.

Una vez realizadas las acciones, y seleccionado el método de disparo a utilizar (*Recursivo - Clásico o típico*), se da clic en el botón de “**Plot**”. En caso de que se quiera graficar “dar clic al botón de “**Plot**”/Graficar”, (*entrada no válida o un registro inexistente o formato fuera de rango*), en cualquiera de las casillas, se presentará una validación, que visualiza una caja de diálogo, que indica que se ha de realizar dicha acción. Estas cajas de diálogo además, permiten que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las validaciones de entradas incorrectas son las siguientes:

³ El filtro Paso-alto bloquea las señales de baja frecuencia y deja pasar las de alta frecuencia (frecuencias superiores a la frecuencia de corte).



Fig. 17 Validación de entradas en el filtro *Paso-Alto (Highpass)*.

Una vez que se corrijen las entradas, introduciendo un valor válido o dentro del rango permitido el programa puede continuar y así presentar la gráfica correspondiente.

3.2.7.- Tipo de Filtro *Paso-Banda (Bandpass)*⁴



Fig. 18 Ejemplo Selección de tipo *Paso-Banda (Bandpass)*. En el círculo rojo las entradas “**Frecuencia Mínima (Hz) y Frecuencia Máxima (Hz)**”, círculo amarillo -> “**Orden de Filtro**”, Círculo Naranja -> **No. Traza**, Rectángulo redondeado verde -> (**STA, LTA, ThrOn, ThrOff**).

⁴ 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 mínima y un valor de frecuencia máxima. Elimina el ruido asociado a bajas y altas frecuencias generadas (y/o residuales).

A diferencia de los dos anteriores, se activan las casillas de:

- a) **Frecuencia mínima de Filtro (Hz):** Valor en número flotante. Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia mínima (Círculo rojo), para calcular el inicio de la ventana central. En el ejemplo, el valor es “3 Hz.”
- b) **Frecuencia máxima de Filtro (Hz):** Valor en número flotante. Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia máxima (Círculo rojo), para calcular el fin de la ventana central. En el ejemplo, el valor es “12 Hz.”
- c) **STA (Short-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de corto plazo promedio, mide la amplitud “instante” de una señal sísmica buscando posibles terremotos. En el ejemplo, el valor es “0.5”.
- d) **LTA (Long-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de largo promedio, mide la amplitud promedio del ruido sísmico actual. En el ejemplo es = 4.
- e) **ThrOn:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para activar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro máximo para los picos y la llegada de la onda “P”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “LTA”. En el ejemplo, el valor es 4.
- f) **ThrOff:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para finalizar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro mínimo para los picos y la llegada de la onda “S”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “STA”. En el ejemplo, el valor es “0.7”.
- g) **Orden del Filtro:** Valor en número entero. 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 en todos los análisis un valor = 4*), (Círculo amarillo).
- h) **Trace number st (0):** Valor en número entero: Determina el valor de la traza que se va a analizar. Por defecto y en formatos como “SAC”, este valor es igual a “0”. En caso de tratarse de múltiples trazas, como por ejemplo en formatos “MSEED”, el observador es quien determina que número de traza va a analizar.

La casilla de “Frecuency (Hz)/Frecuencia de Filtro”, permanece inactiva.

Una vez realizadas las acciones, y seleccionado el método de disparo a utilizar (*Recursivo - Clásico o típico*), se da clic en el botón de “**Plot**”. En caso de que se quiera graficar “dar clic al botón de “**Plot**”/Graficar”, (*entrada no válida o un registro inexistente o formato fuera de rango*), en cualquiera de las casillas, se presentará una validación, que visualiza una caja de diálogo, que indica que se ha de realizar dicha acción. Estas cajas de diálogo además, permiten que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las validaciones de entradas incorrectas se observan en la siguiente página.



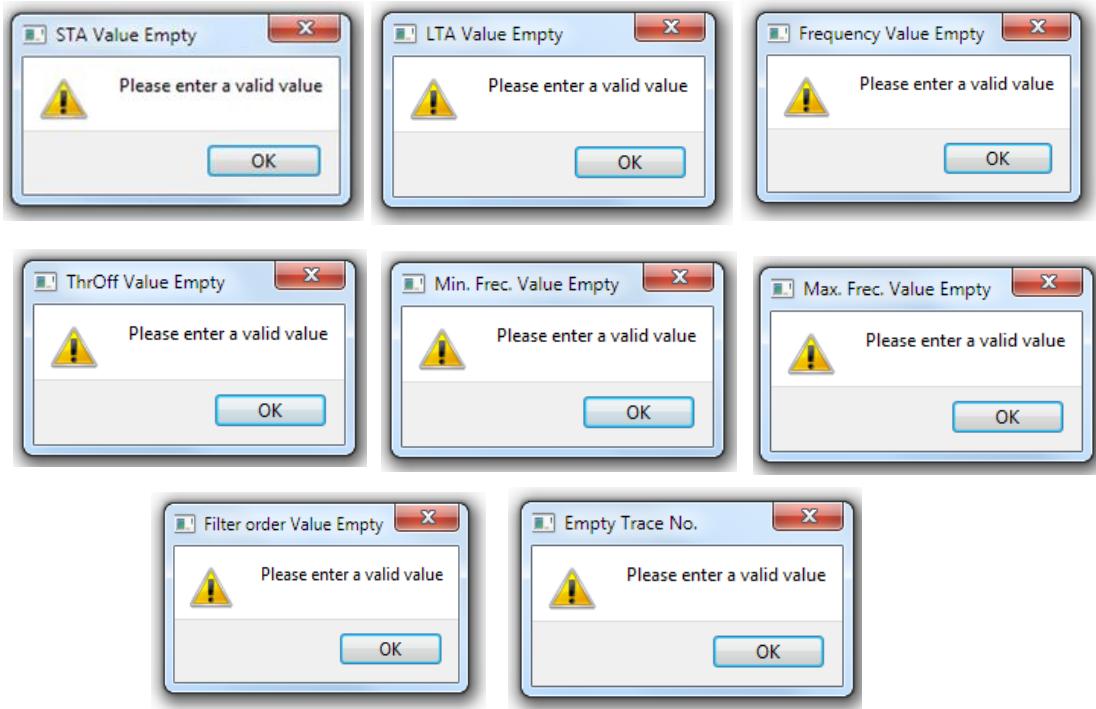


Fig. 19 Validación de las entradas para filtro *Paso-Banda* (*Bandpass*).

3.2.8.- Tipo de Filtro Suprime-Banda (*Bandstop*)⁵

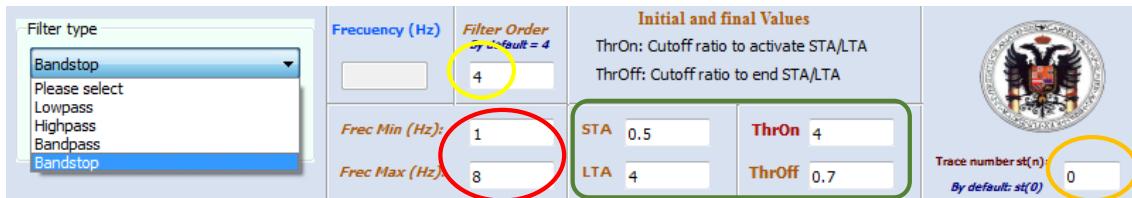


Fig. 20 Ejemplo Selección de tipo Suprime-Banda (*Bandstop*). En el círculo rojo las entradas “**Frecuencia Mínima (Hz)**” y **Frecuencia Máxima (Hz)**”, círculo amarillo -> “**Orden de Filtro**”, Círculo Naranja -> **No. Traza**, Rectángulo redondeado verde -> (**STA, LTA, ThOn, ThOff**)..

De la misma forma que el filtro Paso-Banda, se activan las casillas de:

- Frecuencia mínima de Filtro (Hz):** Valor en número flotante. Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia mínima (Círculo rojo), para calcular el inicio de la ventana central. En el ejemplo, el valor es “3 Hz.”
- Frecuencia máxima de Filtro (Hz):** Valor en número flotante. Aquí se debe dar un valor válido a la frecuencia máxima (Círculo rojo), para calcular el fin de la ventana central. En el ejemplo, el valor es “12 Hz.”
- Orden del Filtro:** Valor en número entero. 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 en todos los análisis un valor = 4*), (Círculo amarillo).
- STA (Short-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de corto plazo promedio, mide la amplitud “instante” de una señal sísmica buscando posibles terremotos. En el ejemplo, el valor es “0.5”.

⁵ 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.

- e) **LTA (Long-Time-Average):** Valor en número flotante. Representa la ventana dinámica de tiempo de largo promedio, mide la amplitud promedio del ruido sísmico actual. En el ejemplo es = 4.
- f) **ThrOn:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para activar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro máximo para los picos y la llegada de la onda “P”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “LTA”. En el ejemplo, el valor es 4.
- g) **ThrOff:** Valor en número flotante. Indica la relación de corte para finalizar el algoritmo STA/LTA. Determina el parámetro mínimo para los picos y la llegada de la onda “S”. Su valor generalmente coincide o se encuentra determinado en el mismo rango que el valor de “STA”. En el ejemplo, el valor es “0.7”.
- h) **Trace number st (0):** Valor en número entero: Determina el valor de la traza que se va a analizar. Por defecto y en formatos como “SAC”, este valor es igual a “0”. En caso de tratarse de múltiples trazas, como por ejemplo en formatos “MSEED”, el observador es quien determina que número de traza va a analizar.

La casilla de “*Frecuencia (Hz)/Frecuencia de Filtro*”, permanece inactiva.

Una vez realizadas las acciones, y seleccionado el método de disparo a utilizar (*Recursivo - Clásico o típico*), se da clic en el botón de “**Plot**”. En caso de que se quiera graficar “dar clic al botón de “**Plot**”/Graficar”, (*entrada no válida o un registro inexistente o formato fuera de rango*), en cualquiera de las casillas, se presentará una validación, que visualiza una caja de diálogo, que indica que se ha de realizar dicha acción. Estas cajas de diálogo además, permiten que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las validaciones de entradas incorrectas son las siguientes:

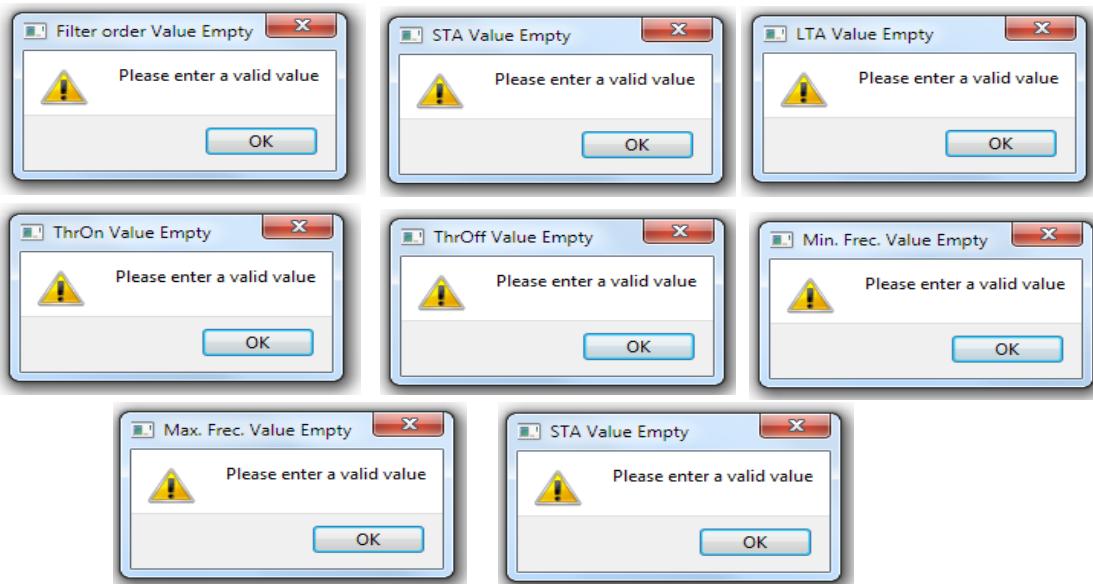
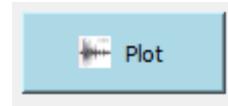


Fig. 21 Validación de las entradas para el filtro *Suprime-Banda (Bandstop)*.

4.- Bloque de Métodos de disparo STA/LTA (Recursivo y Clásico o Típico).

3

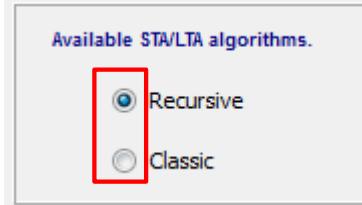


Fig. 22 Selección de tipo de método de disparo en el algoritmo STA/LTA (*Recursivo y Clásico o típico*)

Esta sección presenta los dos métodos disponibles para el algoritmo STA/LTA, el método “*Recursivo/Recursive*” y el método “*Clásico o Típico/Classic*”.

Para realizar la selección se da clic a los botones indicados en cada método (*cuadro rojo en la figura*). Al hacer clic (activar) uno de ellos, el otro se desactiva. Por lo que la selección del método es muy sencilla.

Por defecto, al inicio, se encuentra seleccionado el método “*Recursivo*”, es el observador quien determina que método seleccionará. La elección del método va acompañada de la selección del tipo de filtro para la señal. Al hacer clic en el botón de limpieza, se retorna al valor inicial por defecto, es decir, al método “*Recursivo*”.

5.- Bloque de ruta y comandos

4

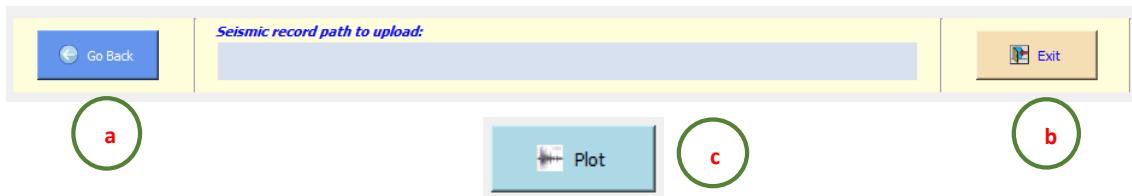


Fig. 23 Bloque de ruta física del archivo a cargar y botones de comandos { (a) Regreso/Go Back, (b) Salida/Exit y (c) Graficar/Plot}

Este último bloque lo componen los siguientes elementos:

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



- Área de presentación de la ruta del archivo (*Seismic record path to upload*): 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.

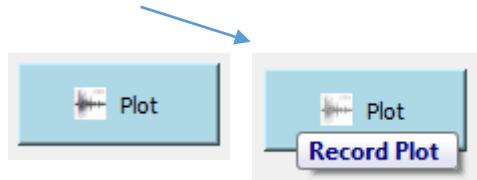


Un ejemplo de la salida al realizar los cálculos se observa en la siguiente imagen.



Se observa el camino "**Path**" (en el ordenador) de la ubicación del registro.

- c) Botón "**Plot**": Una vez seleccionados los tipos de filtro y el método de disparo STA/LTA, se procede a realizar los cálculos y presentar las gráficas correspondientes. Al colocar el puntero del ratón sobre el botón, se exhibe un mensaje que indica su función.



- d) Botón "**Exit**", permite la salida completa del sistema (*Previo presentación de 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 seguro de abandonar el sistema.

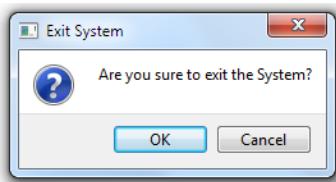


Fig. 24 Caja de texto que indica si se desea salir del sistema

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

5.1.- Validación de errores en registro o entradas.

Al hacer clic en el botón "**Plot**", en caso de producirse un error (*entrada no válida o un registro inexistente o formato fuera de rango*), se presentará una validación, a través de una caja de dialogo un mensaje alerta 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:

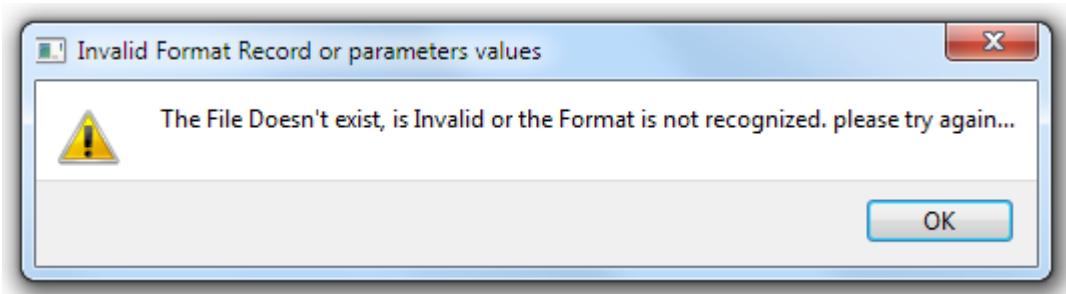


Fig. 25 Validación de entradas inválidas formatos o registros incorrectos.

De acuerdo al mensaje de la figura anterior, se ha producido un error debido a que no se reconoce el formato, el registro no existe. Además puede que también los parámetros o entradas se encuentren fuera del rango permitido de acuerdo a la señal que se va a analizar. Al pulsar el botón de “**OK**” se retorna de nuevo al sistema, para elegir un archivo válido o corregir las entradas erróneas. De esta forma, continua la ejecución del programa sin presentar problemas.

6.- Resultados de Secciones de Filtro y Análisis

A continuación, se procederá a presentar ejemplos de resultados finales del proceso de filtrado y análisis de acuerdo al método STA/LTA.

6.1.- Ejemplo de resultados de selección de filtrado y método Recursivo

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 ruta del archivo (*Seismic record path to upload*). 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 de los parámetros del filtro.
- d) Seleccionar el método de disparo del algoritmo STA/LTA (**Recursivo**).
- e) Dar clic al botón de “**Plot**”, para graficar el registro.

Todo esto, presentará la salida de dicho análisis, que estará compuesta por las gráficas de la señal original y la señal filtrada y sus respectivos umbrales. De esta se puede realizar un zoom y guardarla en diversos formatos.

La interfaz con los elementos de salida, se observa en la siguiente página.



Fig. 26 Selección de parámetros para el cálculo del algoritmo STA/LTA de un registro SAC, con filtro **paso-bajo** y método “**Recursivo**”.

En la figura se observa en “*File Path/Ruta Archivo*”, la ruta completa donde se encuentra almacenado el registro, el cual será analizado. En el listado de “*Filter Type/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. Los valores de STA = 0.5, LTA = 4, ThrOn = 4 y ThrOff = 0.7 El registro solo posee una traza, la traza “0” por defecto.

6.2.- Ejemplo de resultados de selección de filtrado y método Clásico o Típico

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

- Abrir o seleccionar un determinado registro (se visualiza el registro ruta del archivo (**Seismic record path to upload**). Por defecto, la ruta inicial se encuentra en el directorio raíz “C” del PC”, ya sea en el sistema Windows o Linux)
- Seleccionar el filtro.
- Dar las entradas de los parámetros del filtro.
- Seleccionar el método de disparo del algoritmo STA/LTA (**Clásico o Típico/Classic**)
- Dar clic al botón de “**Plot**”, para graficar el registro.

Todo esto, presentará la salida de dicho análisis, que estará compuesta por las gráficas de la señal original y la señal filtrada y sus respectivos umbrales. De esta se puede realizar un zoom y guardarla en diversos formatos.

La interfaz con los elementos de salida, se observa en la siguiente página.

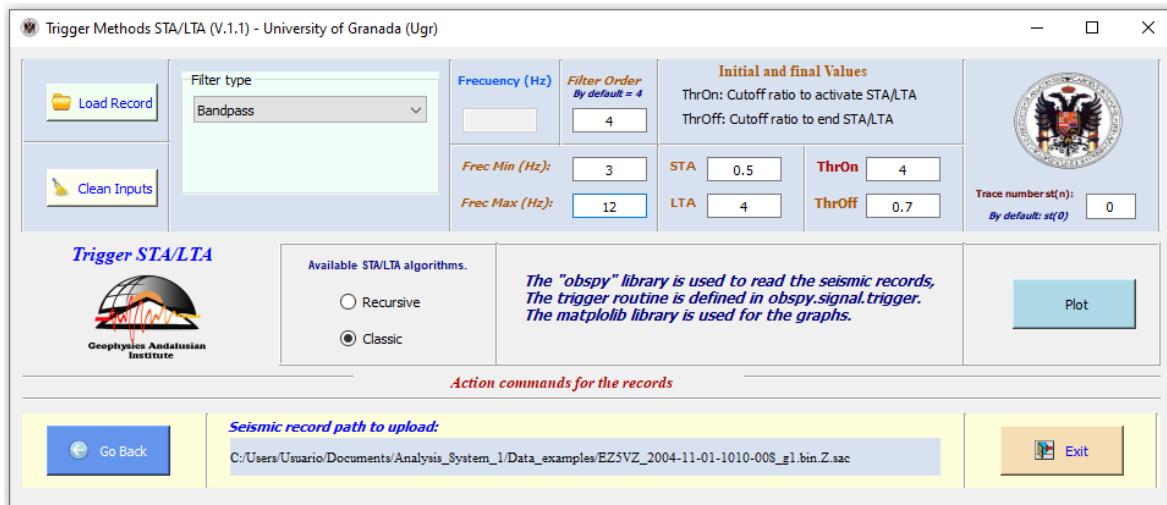


Fig. 27 Selección de parámetros para el cálculo del algoritmo STA/LTA de un registro SAC, con filtro **paso-banda** y método “**Clásico**”.

En la figura se observa en “File Path/Ruta Archivo”, la ruta completa donde se encuentra almacenado el registro, el cual será analizado. En el listado de “Filter Type/Tipo de Filtro”, se ha designado el filtro Paso-banda (**Bandpass**). En el cuadro de entradas, se observa que se ha establecido una frecuencia mínima de 3 Hz., con una frecuencia máxima de 12 Hz. el orden de filtro por defecto se ha dejado igual a 4. Los valores de STA = 0.5, LTA = 4, ThrOn = 4 y ThrOff = 0.7 El registro solo posee una traza, la traza “0” por defecto.

Los resultados gráficos los podemos observar en las siguientes secciones.

7.- Gráficas resultantes

La ejecución del programa, presenta dos gráficas resultantes, la de la señal original y la de la señal mediante el uso del filtro seleccionado. Los valores de unidad de tiempo indican que cada 1000 puntos equivales a 20 segundos de duración del registro (*deben de adecuarse los intervalos de tiempo para cada registro*). A continuación, se presentarán ejemplos de resultados gráficos, con el proceso de filtrado y la selección del método de disparo del algoritmo STA/LTA (*recursivo y clásico o típico*).

7.1.- 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 con ambos métodos (*Recursivo - Clásico o típico*). De la misma manera, se presenta el Zoom (*mediante la herramienta Zoom [Lupa]*),  realizado a las gráficas resultantes (*Cfr. Herramientas Matplotlib, Pág. 41-46*).

Cabe 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 y el vector de tiempo se ajusta automáticamente en las dos gráficas. De esta forma, se puede determinar un mejor análisis de las llegadas de ondas P y S en las señales. Por otro lado, reiterar que los parámetros utilizados aquí en los ejemplos son arbitrarios, así que depende del operador, ajustar los valores y el umbral para definir mejor la llegada de las ondas P y S en cada evento.

7.1.1.- Gráficas de Filtros y Zoom de los registros por el método “*Recursivo/Recursive*”

- a) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y método recursivo. Señal Original

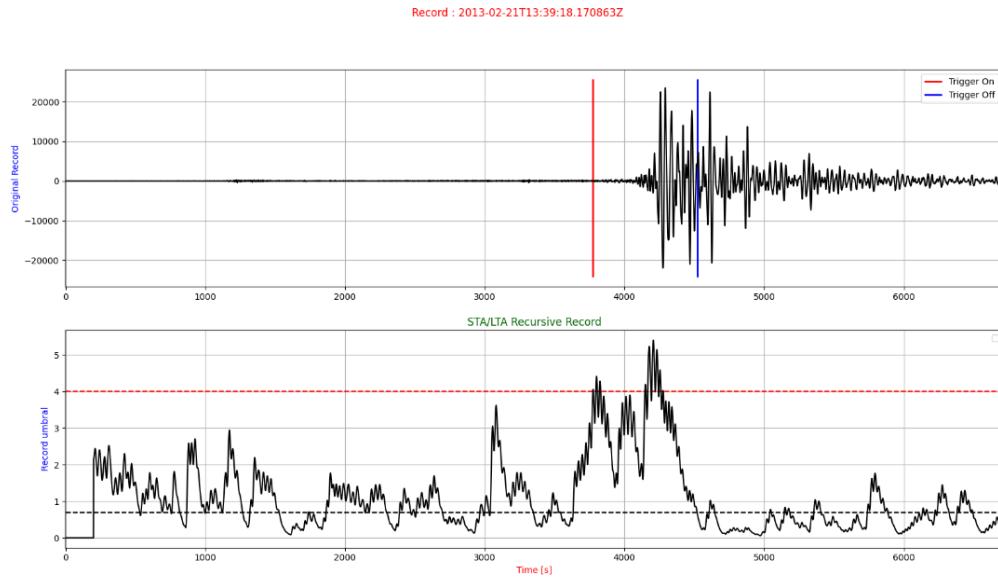


Fig. 28 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- b) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y método recursivo. Señal Original.

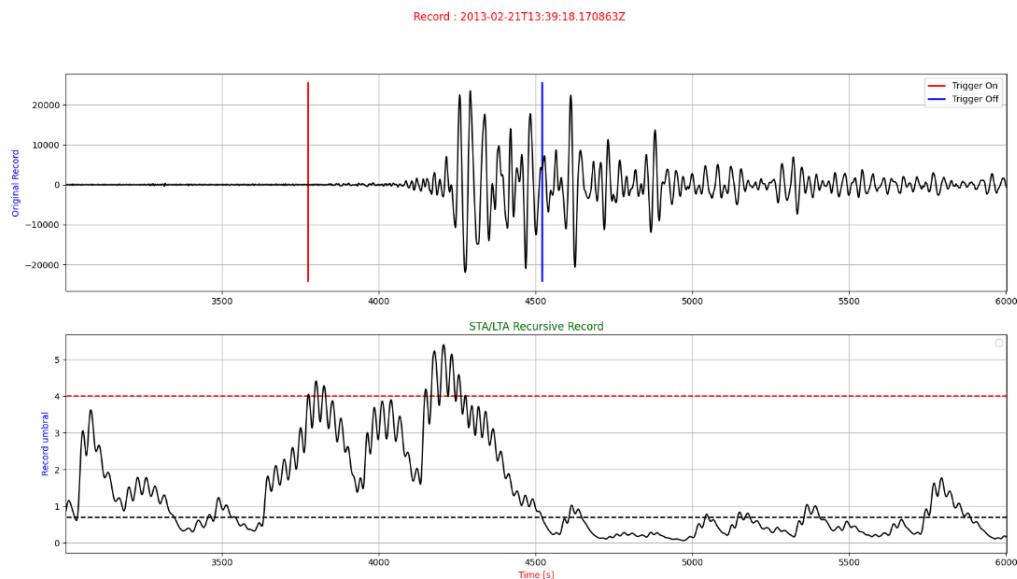


Fig. 29 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- c) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y método recursivo. Señal Filtrada.

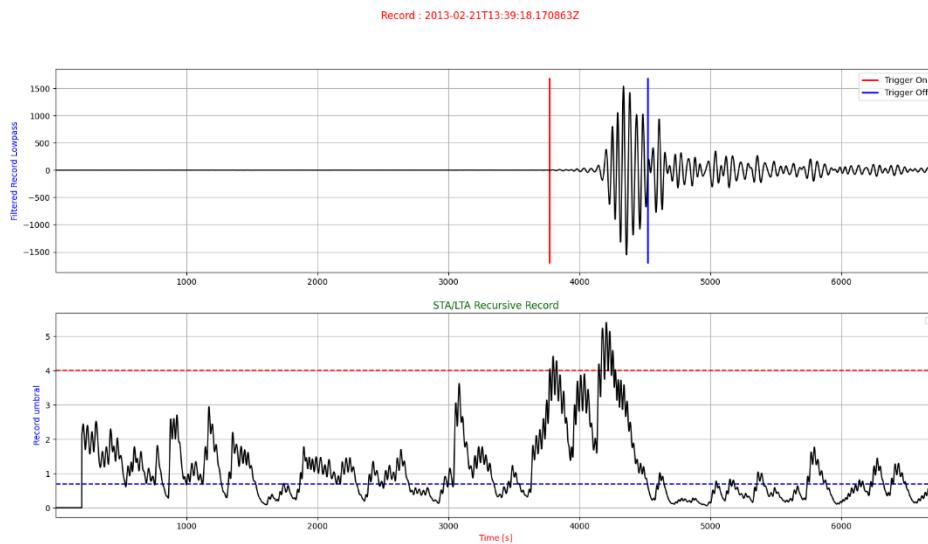


Fig. 30 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- d) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y método recursivo. Señal Filtrada.

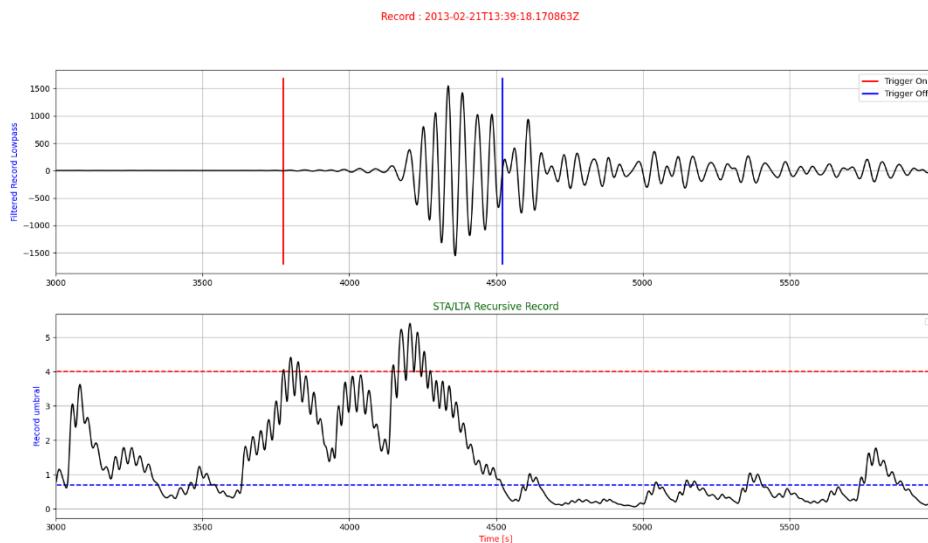


Fig. 31 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- e) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método recursivo. Señal Original.

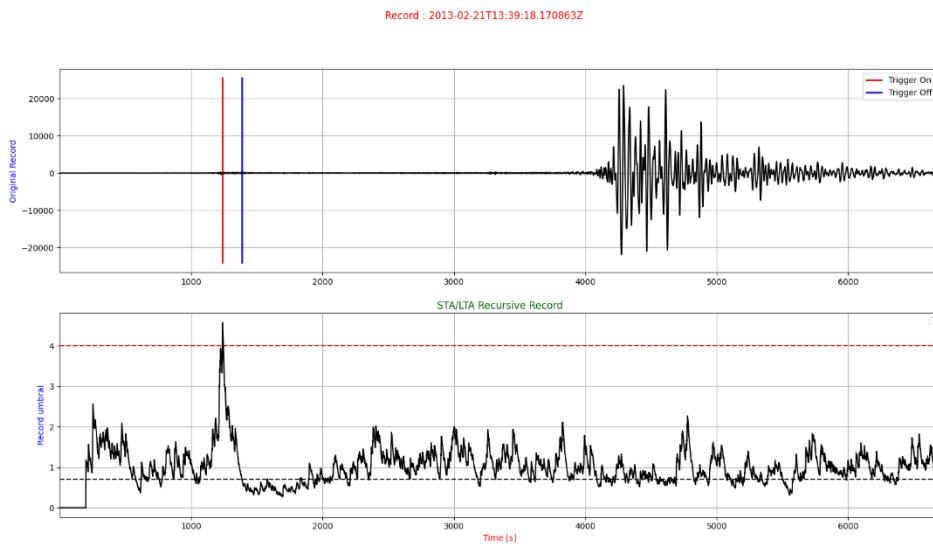


Fig. 32 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- f) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método recursivo. Señal Original.

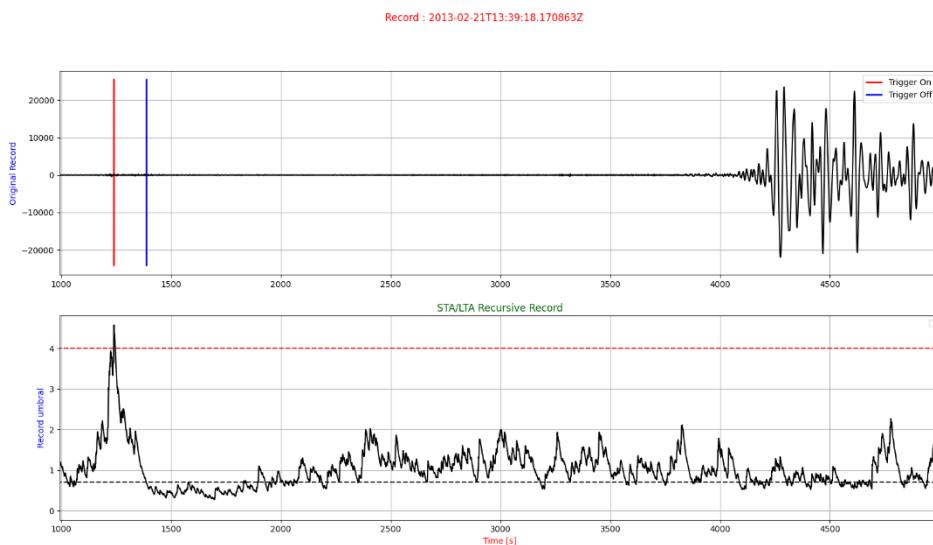


Fig. 33 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz de frecuencia y filtro de orden 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- g) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método recursivo. Señal Filtrada.

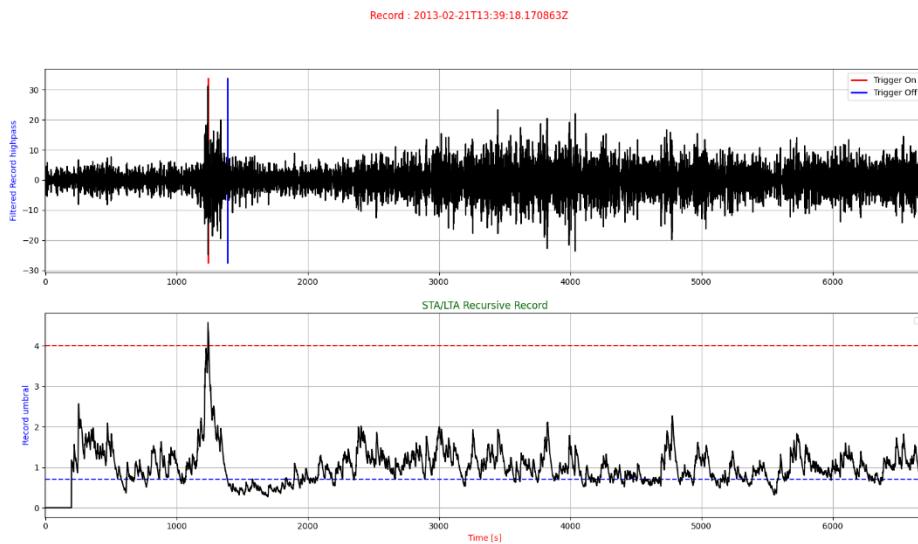


Fig. 34 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- h) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método recursivo. Señal Filtrada.

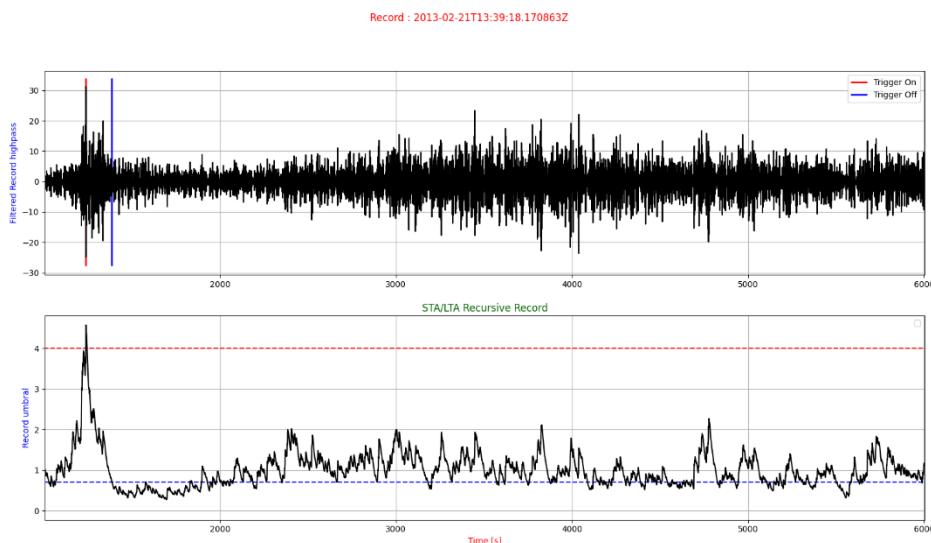


Fig. 35 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz de frecuencia y filtro de orden 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- i) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método recursivo. Señal Original.

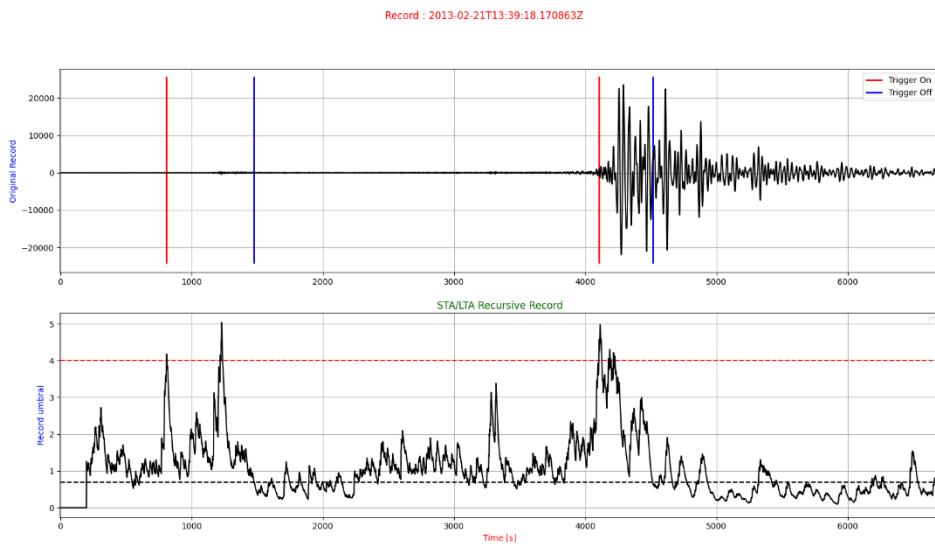


Fig. 36 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- j) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método recursivo. Señal Original.

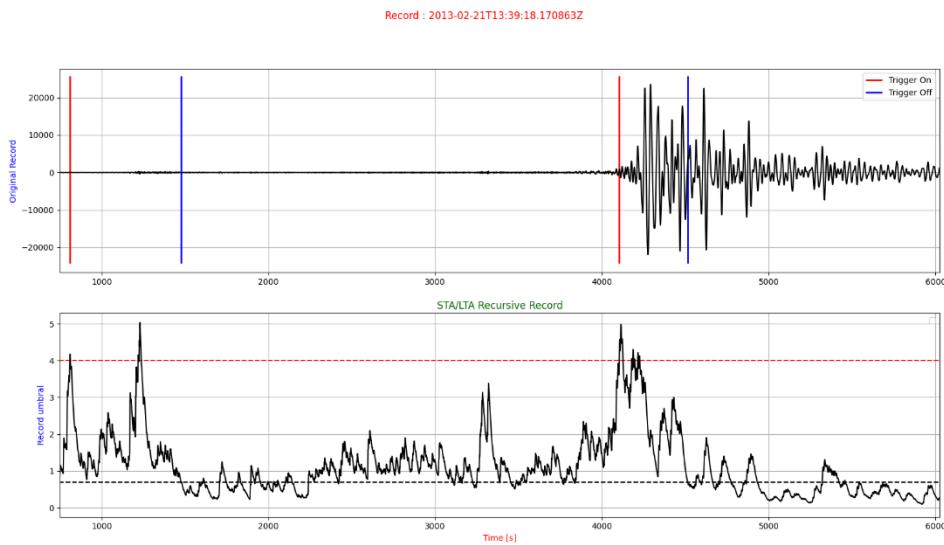


Fig. 37 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- k) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método recursivo. Señal Filtrada.

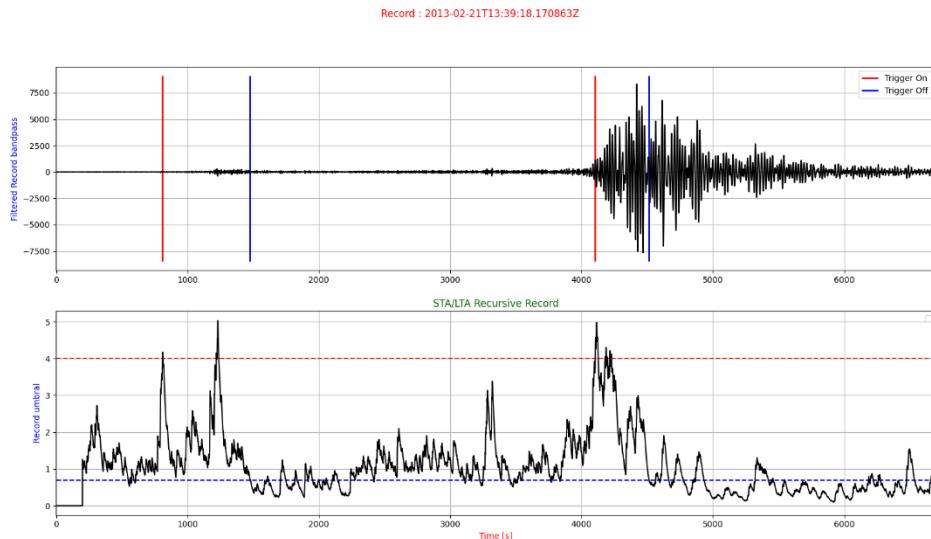


Fig. 38 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- l) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método recursivo. Señal Filtrada.

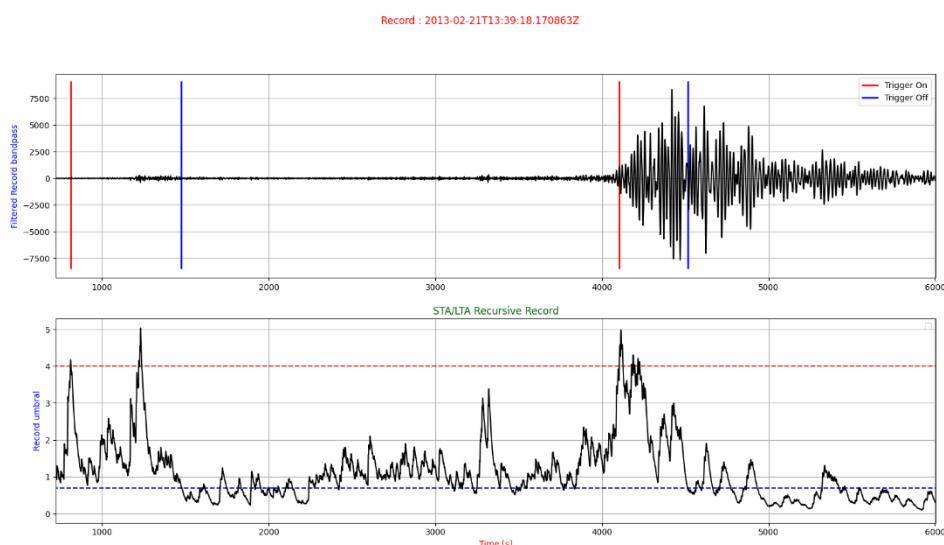


Fig. 39 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- m) Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*) y método recursivo. Señal Original.

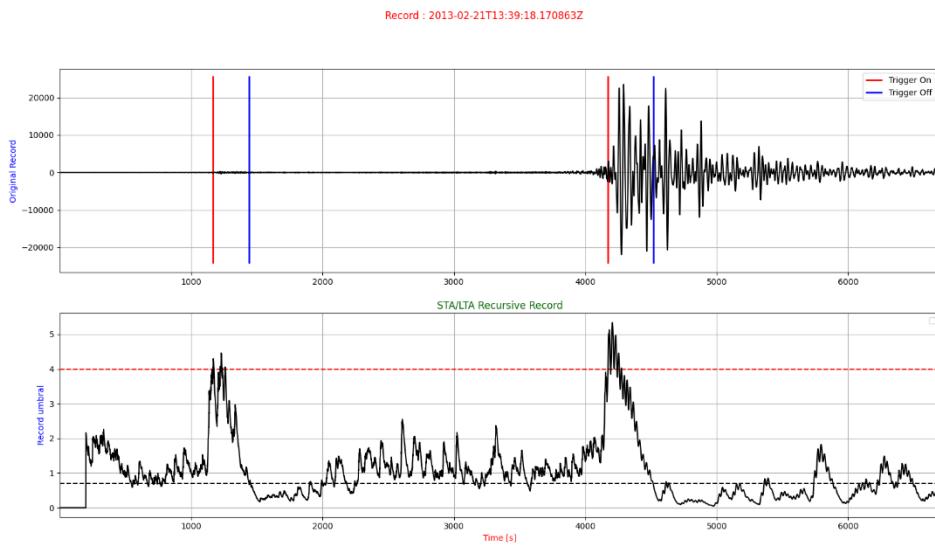


Fig. 40 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*): Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- n) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*) y método recursivo. Señal Original.

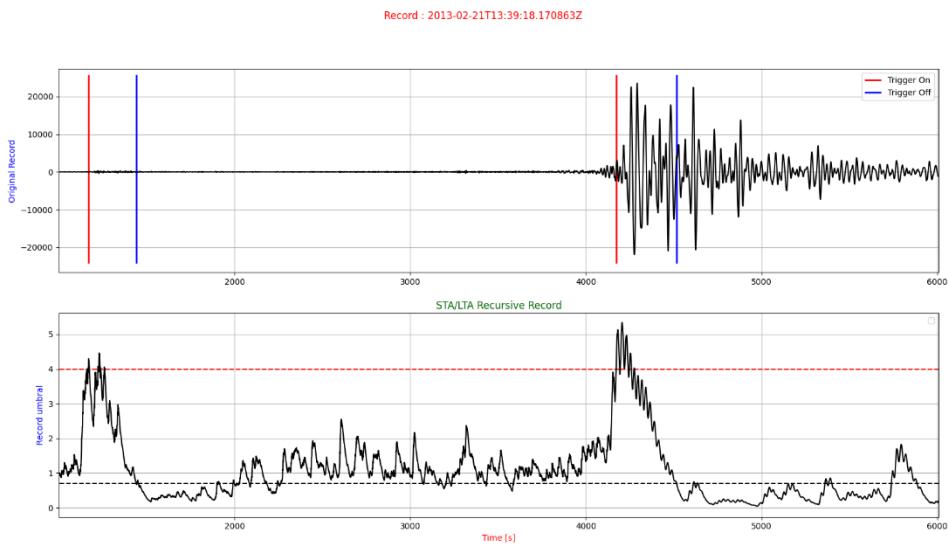


Fig. 41 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*): Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- o) Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda (Bandstop)* y método recursivo. Señal Filtrada.

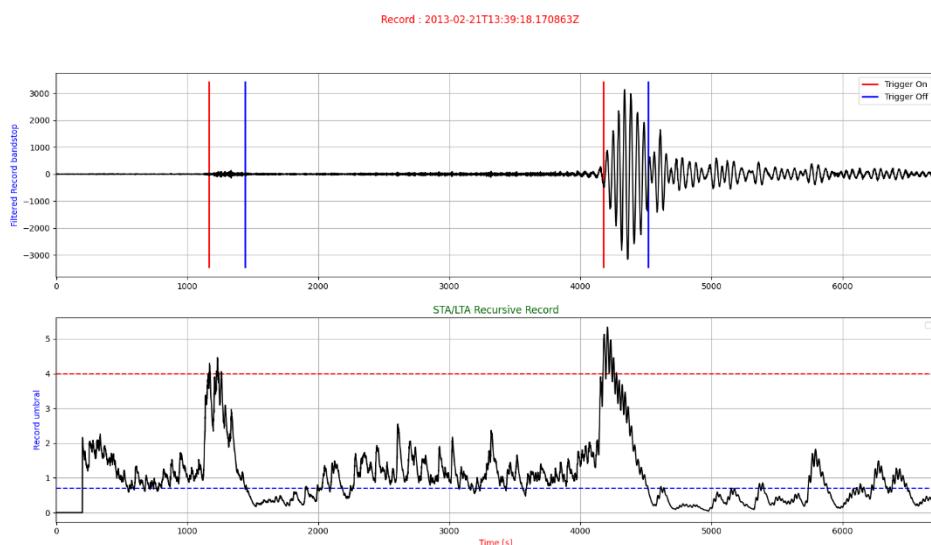


Fig. 42 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda (Bandstop)*: Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.



- p) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda (Bandstop)* y método recursivo. Señal Filtrada.

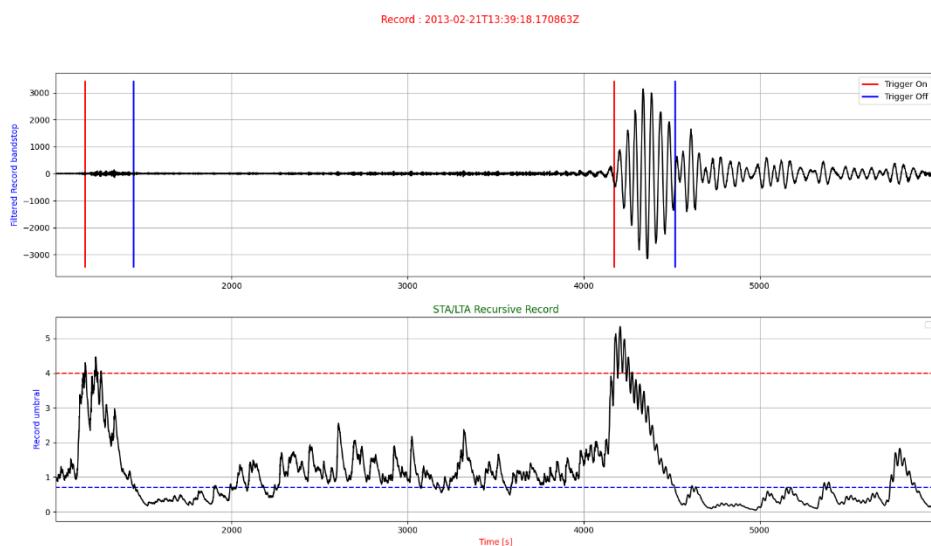


Fig. 43 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda (Bandstop)*: Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

7.1.2.- Gráficas de Filtros y Zoom de los registros por el método “Clásico o Típico/Classic”

- a) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original

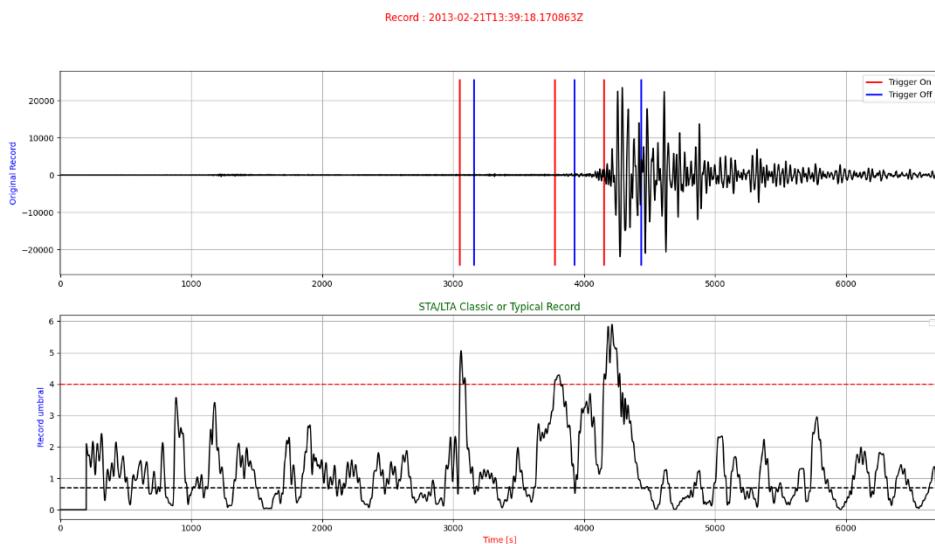


Fig. 44 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- b) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original.

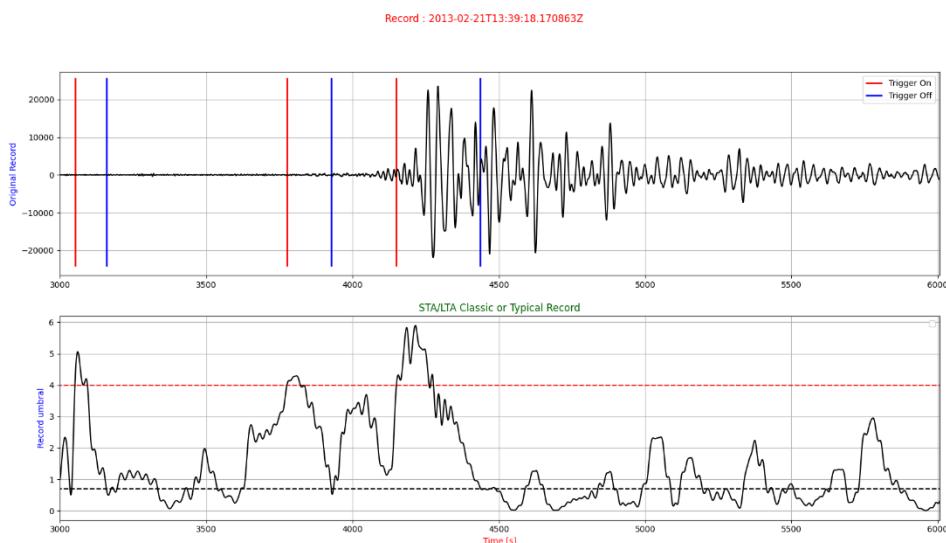


Fig. 45 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- c) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

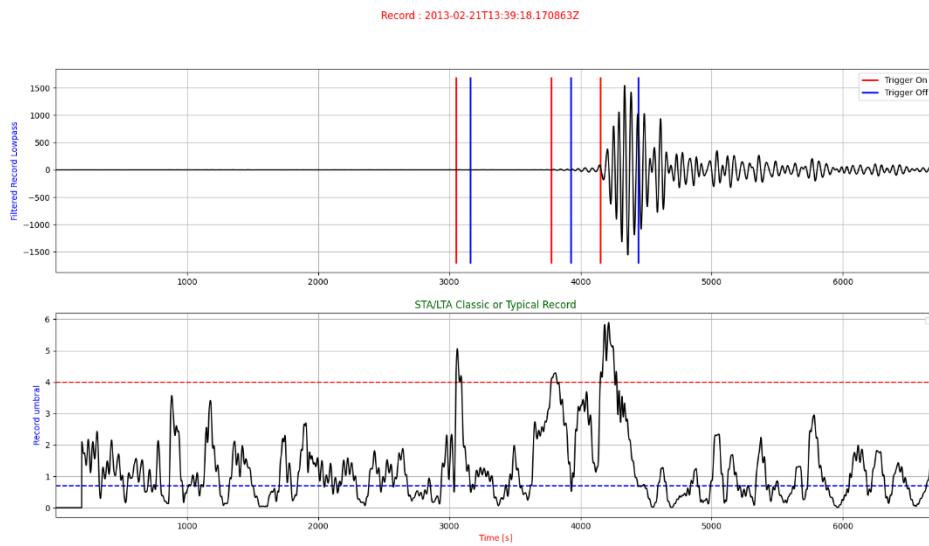


Fig. 46 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- d) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

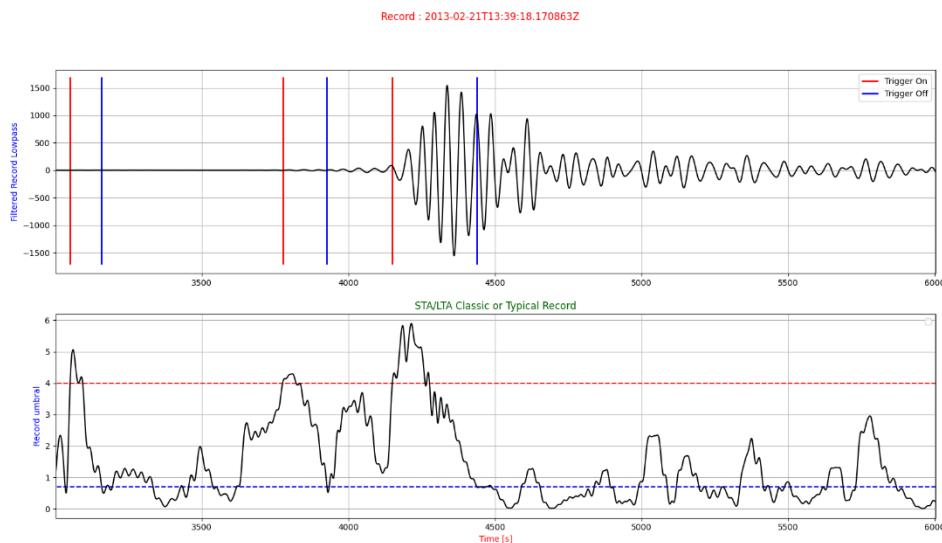


Fig. 47 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC con filtro *paso-bajo* (*Lowpass*), a 0.86Hz y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- e) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original.

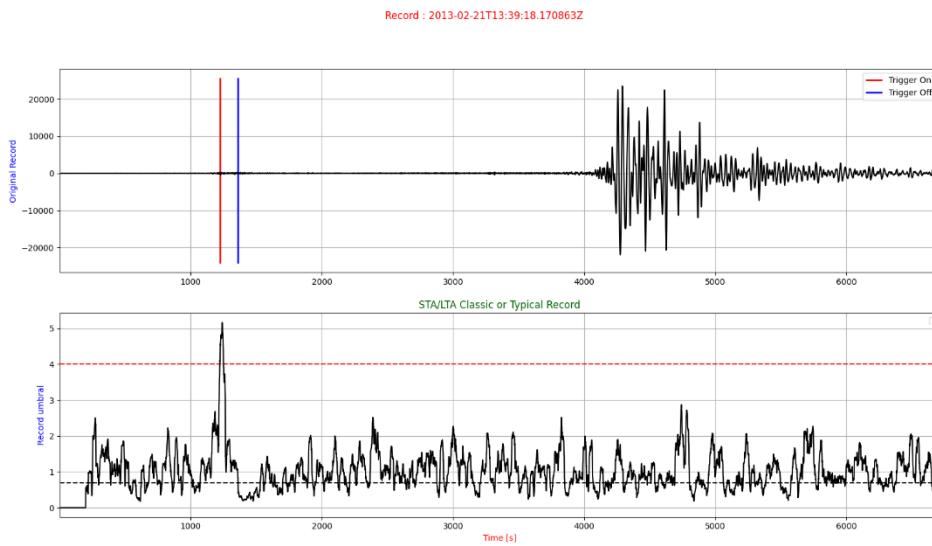


Fig. 48 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- f) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original.

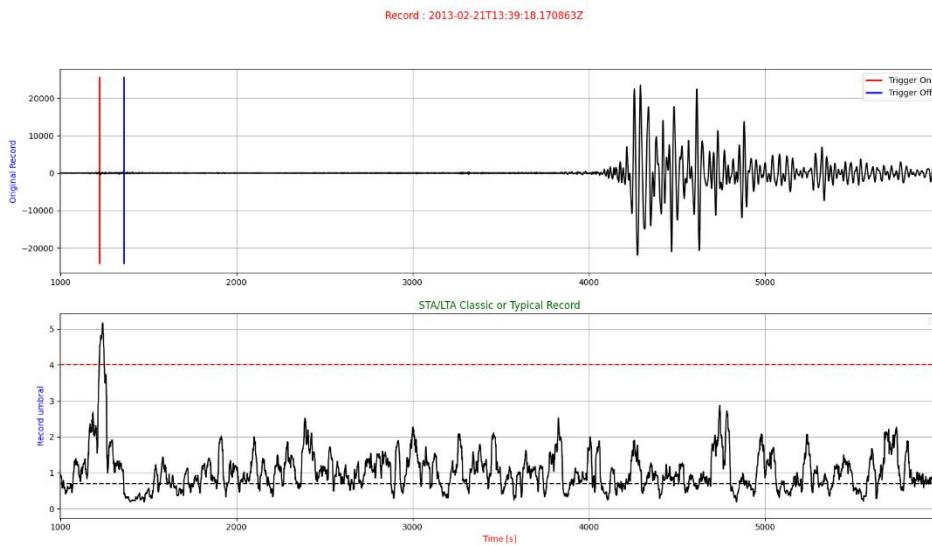


Fig. 49 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz de frecuencia y filtro de orden 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- g) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

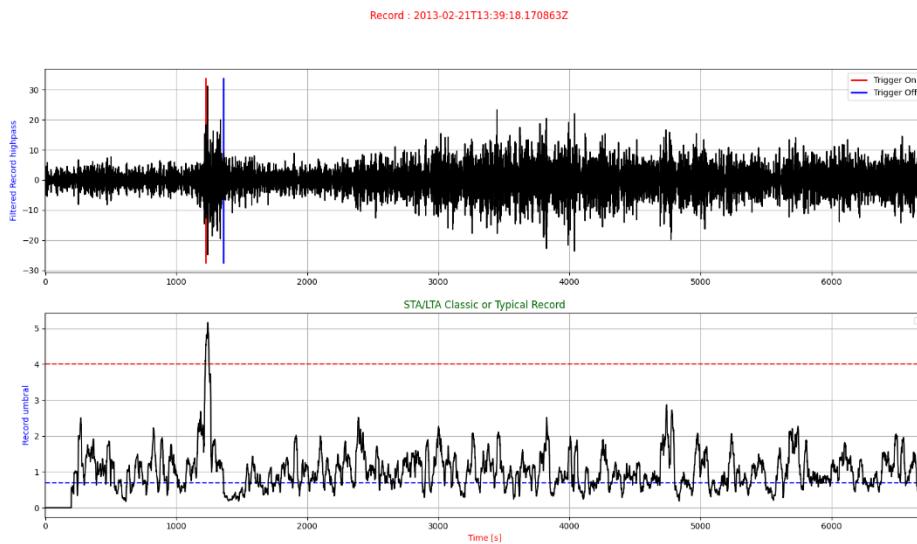


Fig. 50 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- h) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-alto* (*Highpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

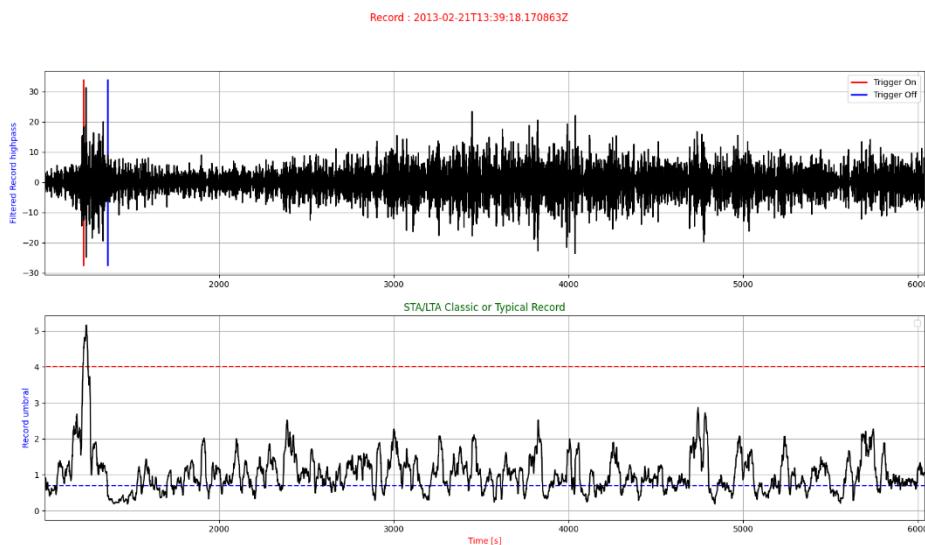


Fig. 51 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-alto* (*highpass*) a 15 Hz de frecuencia y filtro de orden 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- i) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original.

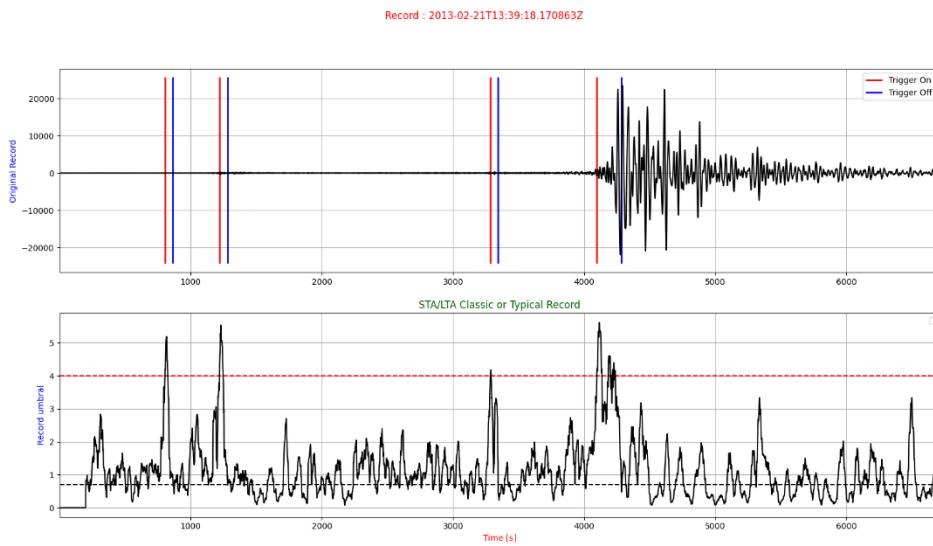


Fig. 52 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- j) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original.

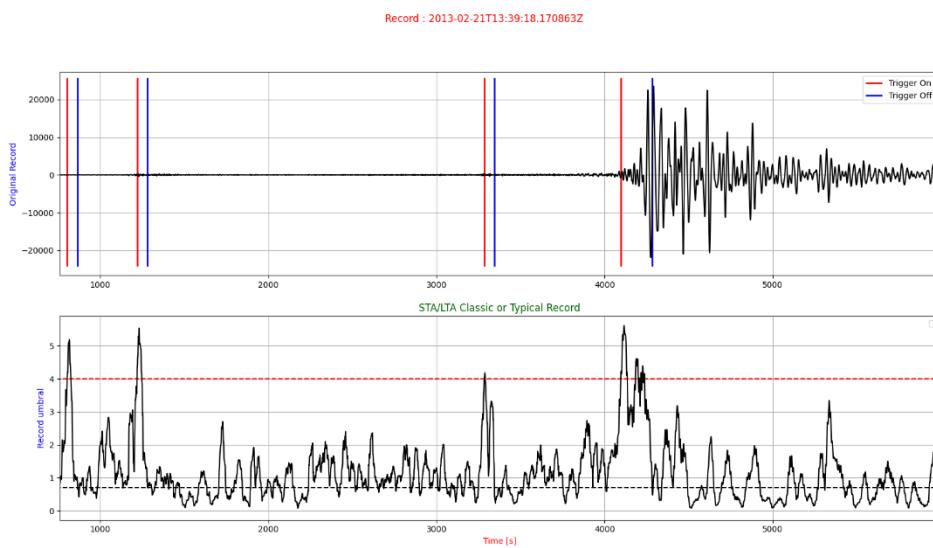


Fig. 53 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- k) Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

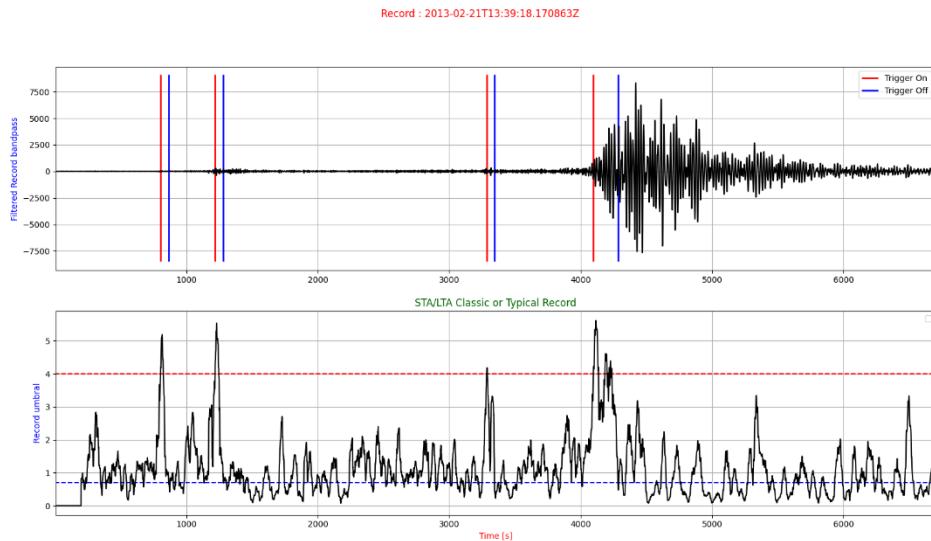


Fig. 54 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- l) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *paso-banda* (*Bandpass*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

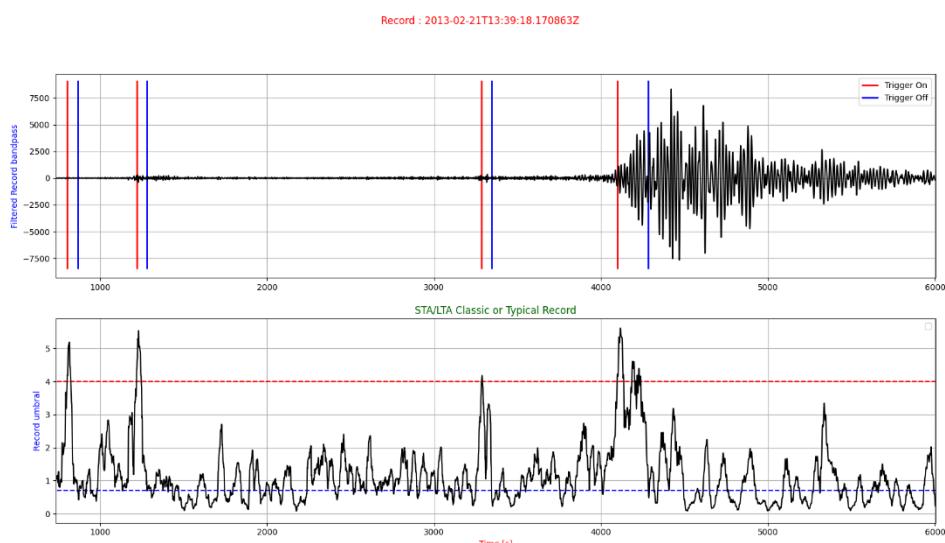


Fig. 55 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-banda* (*Bandpass*): Frecuencia mínima a 3, frecuencia máxima a 12 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- m) Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original.

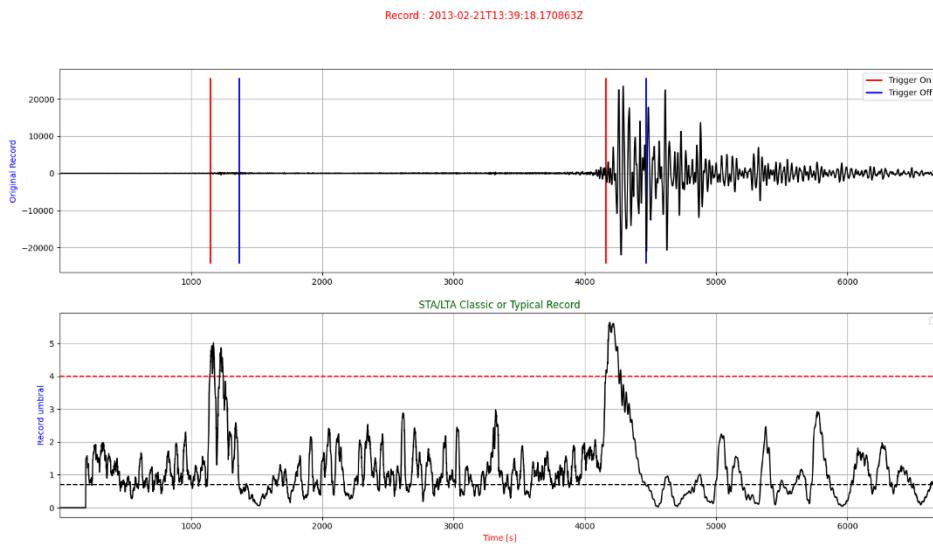


Fig. 56 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*): Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- n) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Original.

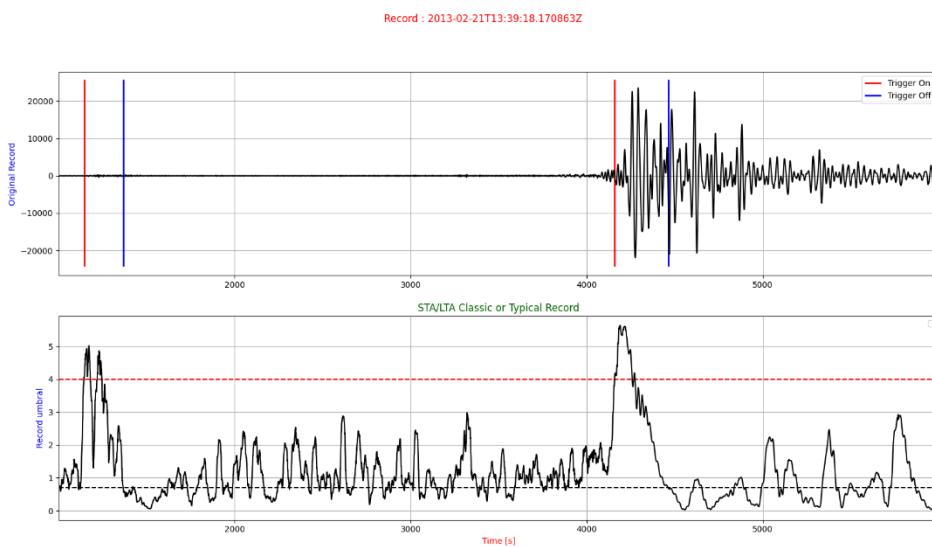


Fig. 57 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*): Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

- o) Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

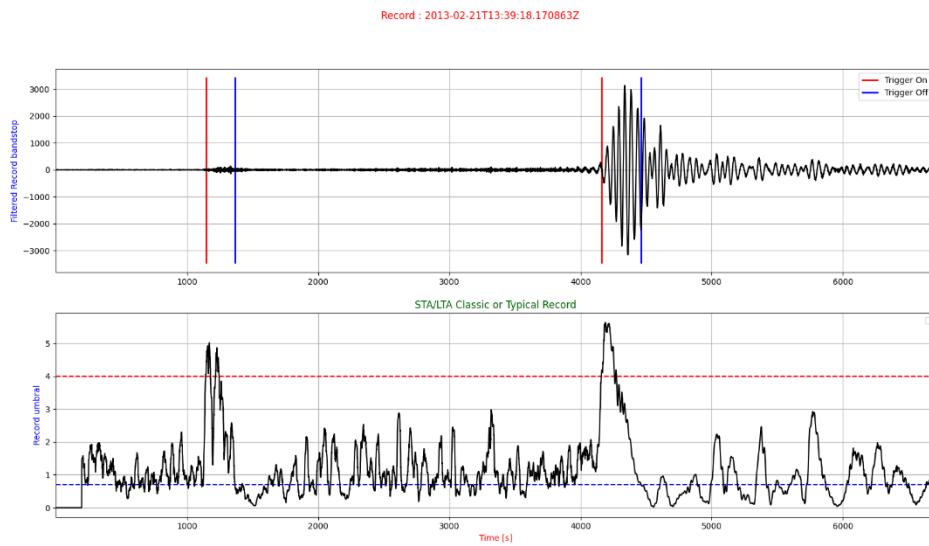


Fig. 58 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*): Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.5, LTA=4, ThrOn = 4, ThrOff = 0.7, Número de traza = 0.

- p) Zoom de la Gráfica de registro SAC con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*) y método *Clásico o Típico/Classic*. Señal Filtrada.

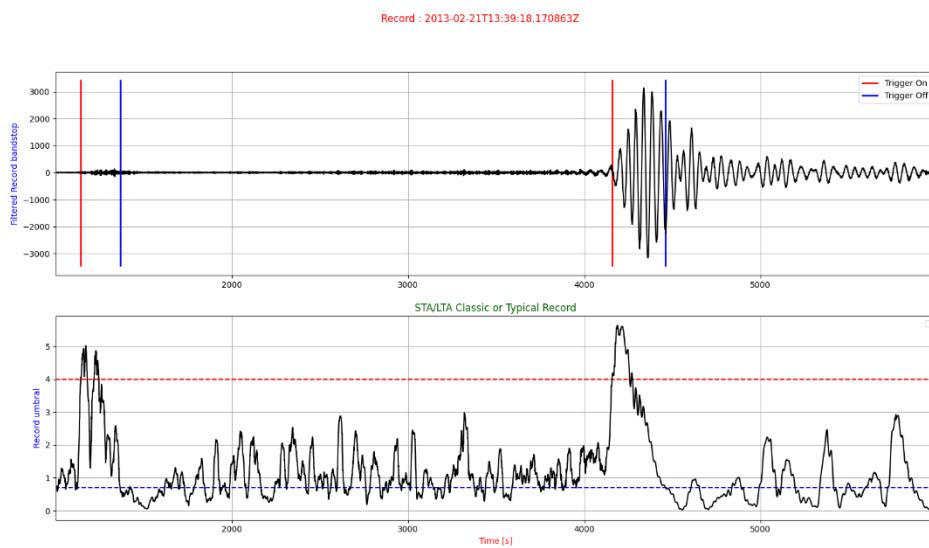


Fig. 59 Ejemplo de Zoom de la Gráfica del registro SAC, con filtro *suprime-banda* (*Bandstop*): Frecuencia mínima a 1, frecuencia máxima a 8 y orden de filtro 4. Se selecciona la herramienta Zoom de Matplotlib, trazando un cuadro en cualquiera de los dos segmentos de la gráfica, el segundo con el vector de tiempo se adapta al zoom del primero.

8.- Creación de ficheros de texto (.txt) con valores finales STA y LTA

Para esta nueva versión (1.1) del software, respecto a la anterior se ha agregado una utilidad adicional. La actualización, incluye la creación de dos archivos de texto (.txt) que almacenan:

- a) Los resultados de los valores de tiempo de llegada de STA, en el registro sísmico.
- b) Los resultados de los valores de tiempo de llegada de LTA, en el registro sísmico.

Al final de cada archivo, envía el recuento de eventos detectados por el algoritmo.

Para cada tipo de filtro se realiza la creación de dichos ficheros. Así, por ejemplo, para el filtro “Paso Bajo (*Lowpass*) se crearán los siguientes ficheros:

- a) Eligiendo el *método Recursivo*

Sta_Results_Lowpass_File_Recursive.txt
Lta_Results_Lowpass_File_Recursive.txt

- b) Seleccionando el *método Clásico o típico*

Sta_Results_Lowpass_File_Classic.txt
Lta_Results_Lowpass_File_Classic.txt

De la misma forma, se crearán los archivos de texto para el resto de los tipos de filtro: Paso-alto (*Highpass*), Paso-Banda (*Bandpass*) y Detiene-Banda (*Bandstop*) de acuerdo al método seleccionado.

La creación de estos ficheros y los valores de llegada de las ondas, puede resultar importante a la hora de establecer los cálculos entre las diferencias de tiempo de llegadas de una fase y otra. Esto debe de afinarse, cuando se establecen los parámetros del umbral en la interfaz (STA, LTA, Trigger On, Trigger Off).

Por ejemplo, un registro en el que se ha realizado una selección mediante el método Clásico, con un filtro *Lowpass* (similar al de la figura 44 modificando algunos parámetros), retorna como resultado dos gráficas, la primera con el registro filtrado y la segunda con el registro original. Se observan en las siguientes imágenes.

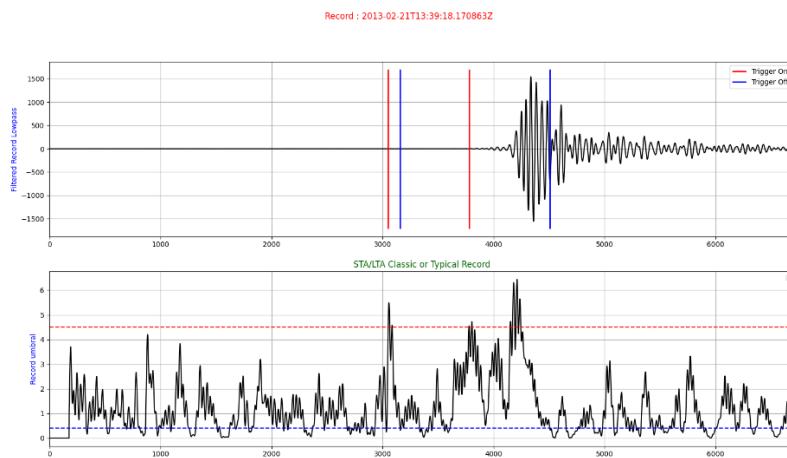


Fig. 60 Ejemplo de Gráfica del registro SAC, con filtro *paso-bajo (Lowpass)*, a 0.86 Hz y orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.4, LTA=3.55, ThrOn = 4.5, ThrOff = 0.4, Número de traza = 0.

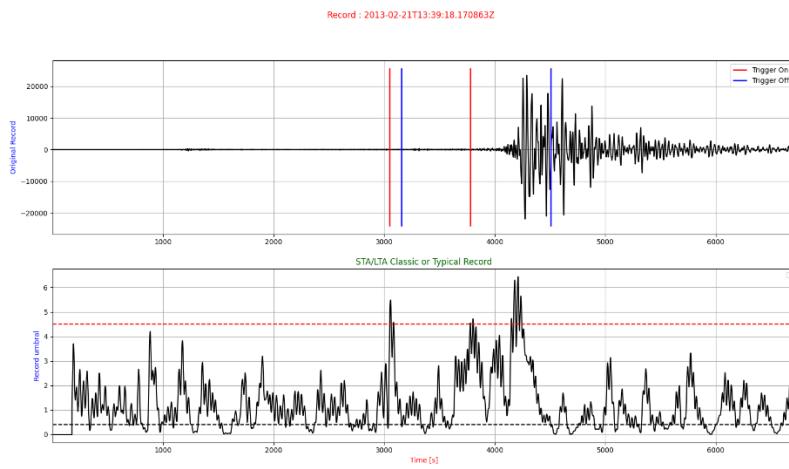


Fig. 61 Ejemplo de Gráfica original (sin filtro), del registro SAC, con orden de filtro 4. Valores de los parámetros para el algoritmo STA/LTA son: STA=0.4, LTA=3.55, ThrOn = 4.5, ThrOff = 0.4, Número de traza = 0

Los archivos de texto que se generan, acompañando las gráficas son los siguientes:

a) **Sta_Results_Lowpass_File_Classic.txt**

EQU STA Time Values
[3051 3779]

EQU number:
2

b) **Lta_Results_Lowpass_File_Classic.txt**

EQU LTA Time Values
[3157 4507]

EQU number:
2

Que indica que se han detectado 2 eventos, cuyas llegadas respectivas de STA y LTA se presentan en valores de tiempo.

En el anterior registro (*Fig. 60*), 1000 unidades corresponden a 20 segundos de tiempo. De tal forma, que en STA, la primera marca de 3051 equivale a 61.02 segundos. En el caso del LTA, se marca con 3157, que corresponde a 63.14 segundos. Lo que muestra que el intervalo de tiempo, entre la STA y LTA en el primer evento detectado es de 2.12 segundos.

Para el segundo evento (*Fig. 61*), la STA indica 3779 que corresponden a 75.58 segundos, con una LTA de 4507 lo que indica 90.14 segundo. De lo anterior se deduce que la diferencia entre la STA y la LTA es de 14.58 segundos.

Esta información podría ser de utilidad tanto en el conteo de los eventos detectados en un determinado umbral, como para el cálculo de las diferencias de tiempo en el algoritmo de disparo, entre las llegadas de la STA y la LTA

9.- 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:

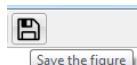
1. **Reset original view**: Restituye al inicio todas las gráficas
2. **Back to previous view**: Vista previa de la gráfica seleccionada
3. **Forward to next view**: Vista Adelante de la siguiente imagen
4. **Left button pans, Right button zooms, x/y fixes axis, CTRL fixes aspect**. Mueve la gráfica 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.

El presente documento, no profundiza en cada uno de ellos, únicamente resaltará el uso de los que 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 (*Números anteriores 7 y 8*) se detallan a continuación.

9.1.- 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 deseé. Esto se puede observar en la parte inferior de la ventana del explorador (*círculo rojo en la imagen*), ahí se seleccionan los diversos tipos de formatos disponibles a guardar. La pantalla es similar a la siguiente.

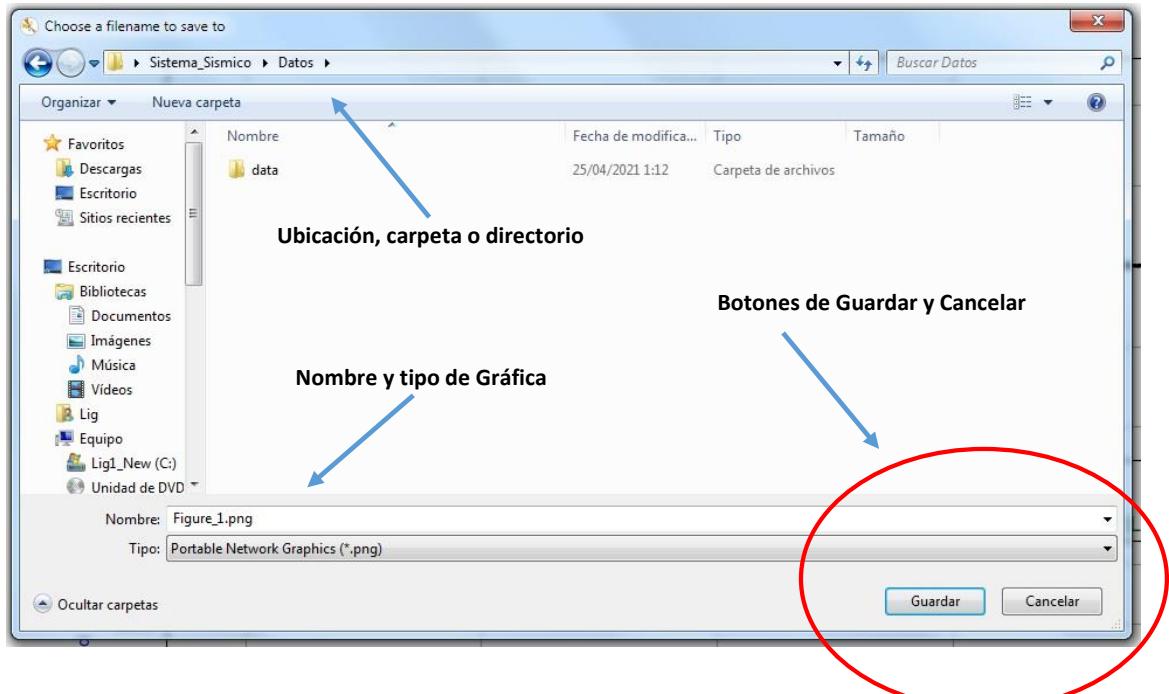


Fig. 62 Pantalla que permite guardar la gráfica, seleccionando un nombre e eligiendo diversos tipos de formatos. Botones de “guardar” y “Cancelar”, para completar o cancelar el proceso.

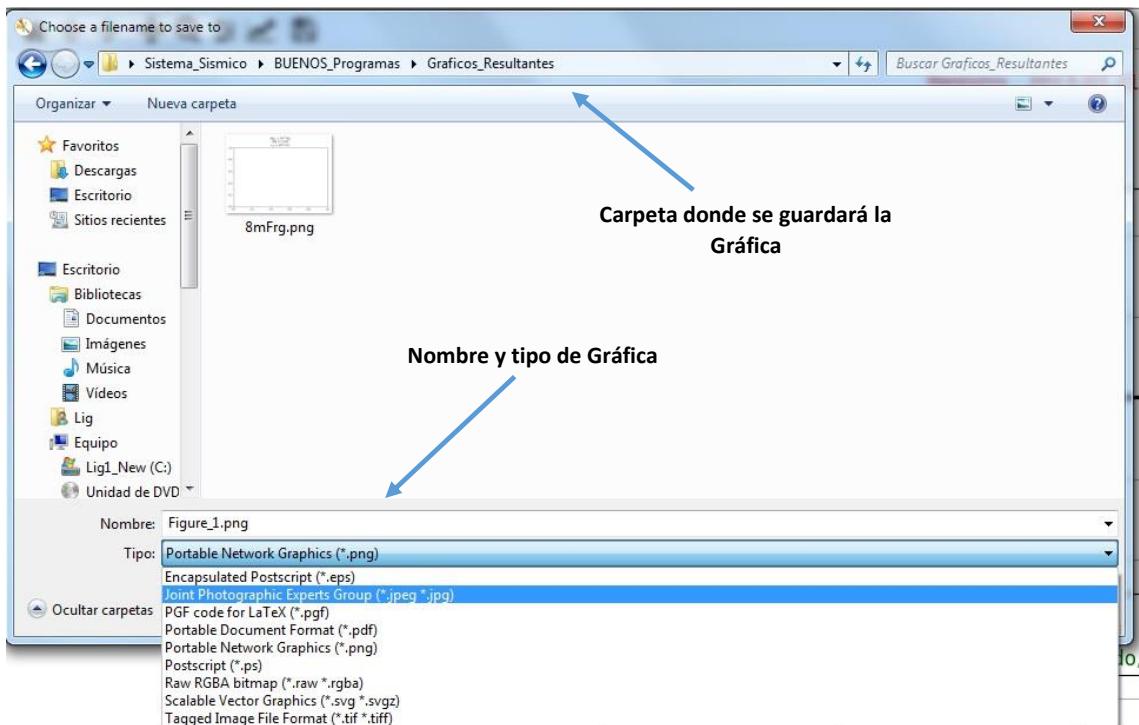


Fig. 63 Pantalla donde se observa los tipos de formatos disponibles para guardar la gráfica.

La figura anterior muestra una lista de los tipos de formatos disponibles, la siguiente imagen presenta dicha lista con más detalle:

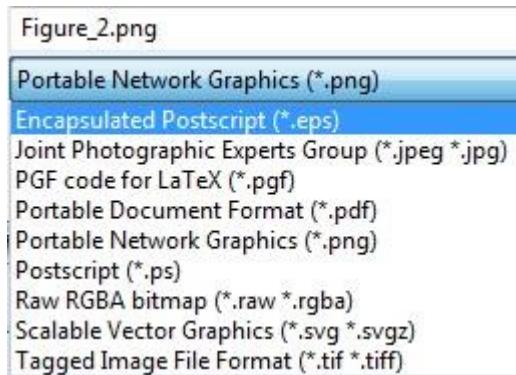
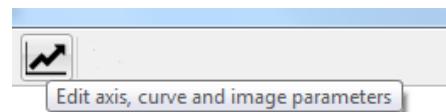


Fig. 64 Lista de los Formatos disponibles, para guardar la gráfica generada por el análisis

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. 62*), con lo que la gráfica se almacenará y estará disponible para el uso que se estime necesario.

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

A través del botón de “Edición”, punto 7 (*Cfr. Pág. 41*) 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.

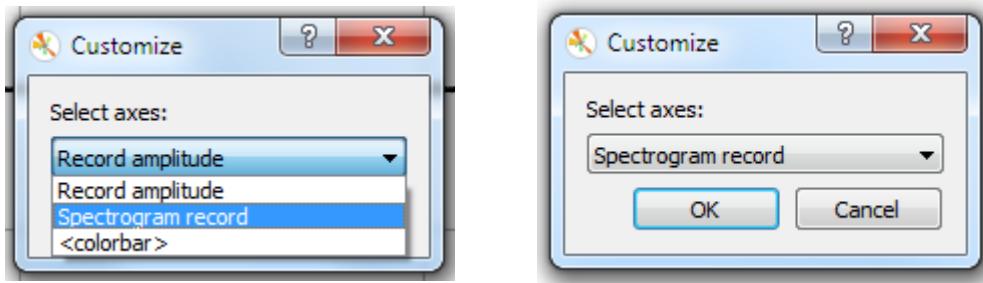


Fig. 65 Caja de diálogo de *Customize (Personalizar)*, se ha seleccionado el eje del espectrograma

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.

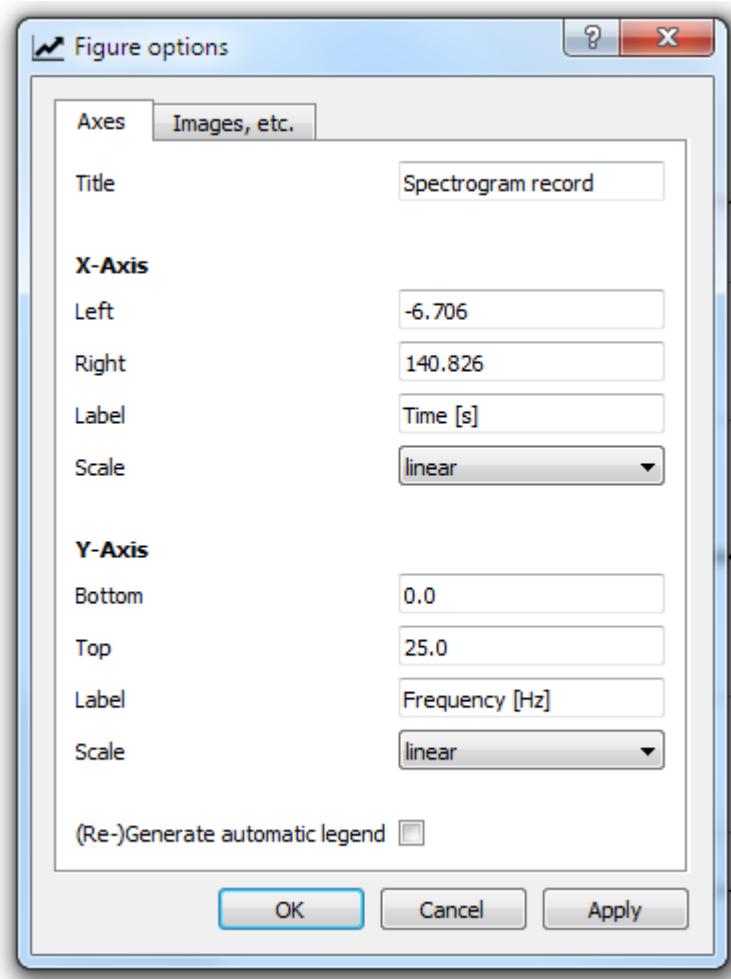


Fig. 66 Caja de diálogo de opciones de edición del título y ejes de la figura

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.

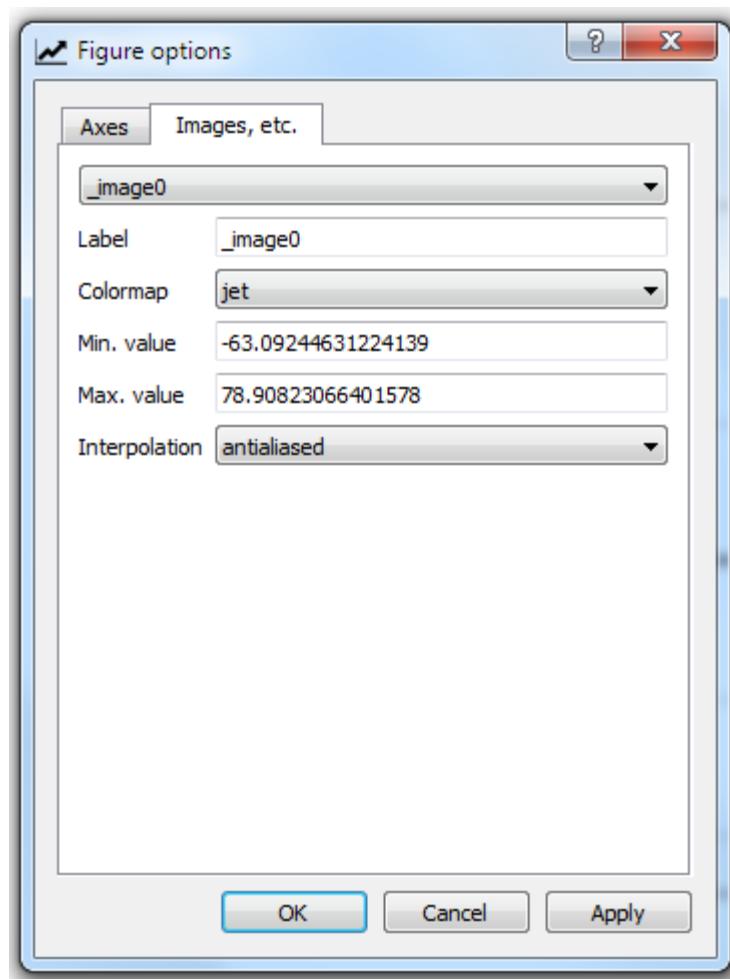


Fig. 67 Caja de diálogo de opciones de edición de los parámetros de la imagen

Como se observa en la imagen, se pueden modificar entre otros parámetros: las etiquetas, el mapa de color o “*Colormap (mapa de color)*” utilizado en el espectrograma, los valores mínimo y máximo y la interpolación. El valor de “*Colormap (mapa de color)*” por defecto se ha programado el modo “**jet**”. Los valores mínimos y máximos para este mapa de color y la interpolación que se utilizan se asignan por defecto a la imagen, pero se pueden modificar de acuerdo al interés del operador.

La lista de valores de parámetros editables, tanto del “*Colormap (mapa de color)*”, como de la “*Interpolation (Interpolación)*”, se presenta en la figura de la siguiente página.

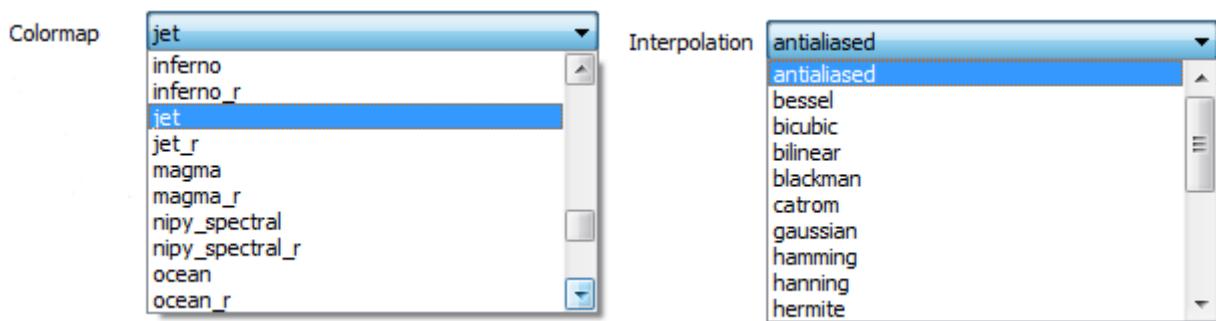


Fig. 68 Cajas de diálogo de edición de algunos de los parámetros de “*Colormap (Mapa de color)*” y de “*Interpolation (Interpolación)*”, para seleccionar en la gráfica.

CONCLUSION: El sistema está diseñado para ser una herramienta de fácil uso, acceso y comprensión. Una interfaz amigable, que ofrezca una ayuda tecnológica fiable al operador humano en el análisis de registros sísmicos, tanto tectónicos como volcánicos. La sencillez de esta primera versión radica en que consta de un único módulo, en el que se han incluido varios de los análisis de filtros y métodos de disparo de los algoritmos STA/LTA, frecuentemente utilizados en el estudio de una determinada señal sísmica. En versiones o actualizaciones posteriores a la versión actual (1.1), podrán añadirse módulos extras, que contengan diversos tipos de análisis, funcionalidades o con diferentes métodos de algoritmos STA/LTA, para mejora del estudio y la investigación de la comunidad científica.

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



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*). A su vez, cada una de ellas contiene dos subcarpetas, 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 la interfaz.
 - b. Programa: ***Menu.py***. Programa de inicio y presentación y llamada a los módulos.
 - c. Programa: “***Sta_Lta_trigger_methods.py***”. Programa principal (interfaz), para el análisis de registros sísmicos, mediante los métodos de disparo (*Recursivo y clásico*) del algoritmo STA/LTA, con y sin filtro (programa actual, más el resto de módulos).
- 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 “***2_Manual_Sta_Lta_trigger_methods.pdf***” en PDF, redactado en español con la documentación necesaria del uso de las interfaces del sistema. También, contiene cada manual de usuario de los restantes 9 módulos 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. 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***)” de acuerdo a la versión, 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.

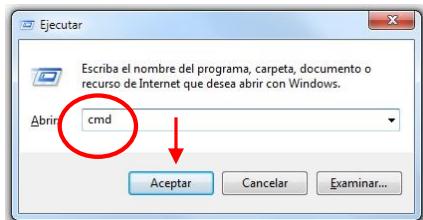


Fig. A1 Pantalla de Ejecutar en Windows. En el círculo rojo, teclear “cmd” y clic a “Aceptar”

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).

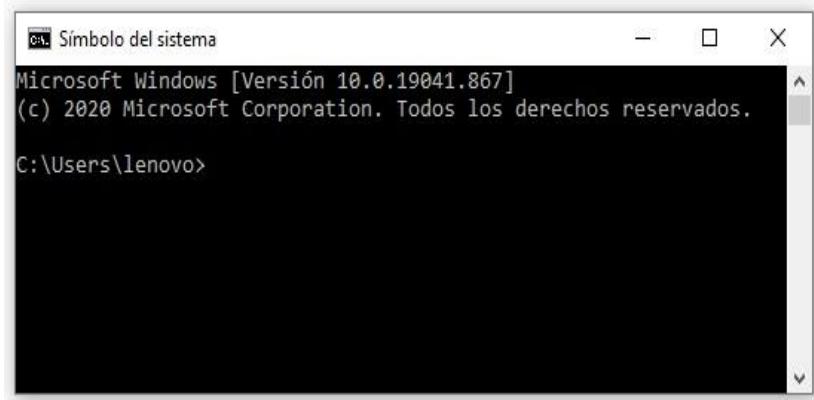


Fig. A4 Pantalla o consola de comandos “CMD” en Windows 10.

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.



```
C:\> Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.18363.1379]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\lenovo>python -V
Python 3.8.6

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

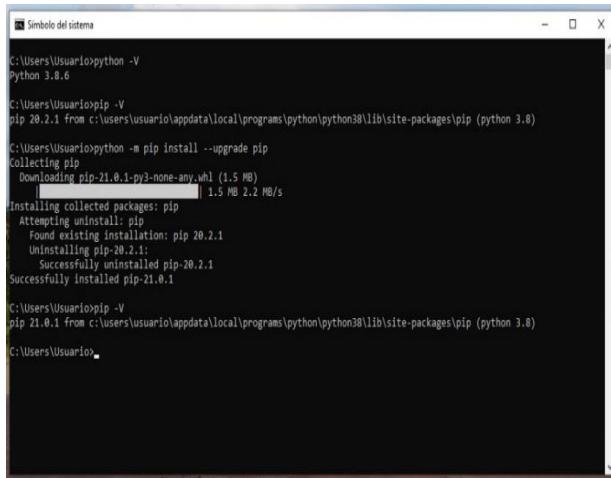
C:\Users\lenovo>cd C:\Users\lenovo\AppData\Local\Programs\Python\Python38
```

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 al inicio “**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 “requierements.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
```