

Identificación de modos electromecánicos mediante el análisis Ringdown

Manual de Interfaz Gráfica de Usuario

Autores

José Antonio de la O Serna
Mario Roberto Arrieta Paternina
Rodrigo David Reyes de Luna

Universidad Autónoma de Nuevo León, sep 2021

Índice general

1	Métodos de Análisis Ringdown	3
§1.1	Introducción	3
§1.2	Formulacion Matematica	5
§1.2.1	Prony Single-Channel	5
§1.2.2	Prony Multi-Channel	6
§1.2.3	Eigensystem Realization Single-Channel	6
§1.2.4	Eigensystem Realization Multi-Channel	7
§1.2.5	Matrix Pencil Single-Channel	8
§1.2.6	Matrix Pencil Multi-Channel	9
2	Interfaz Gráfica de Usuario	10
§2.1	Introducción	10
§2.2	Interfaz Gráfica	10
§2.2.1	Ventana principal	10
§2.2.2	Ventana <i>Edit</i>	14
§2.2.3	Ventana <i>View</i>	15
§2.3	Formatos de insumos	16
§2.4	Lectura de Datos y Configuración	17
§2.5	Visor de resultados	23
§2.5.1	Aproximación de señales	24
§2.5.2	Espectro de Fourier	24
§2.5.3	Formas de modos	24
§2.5.4	Polos y Ceros	26
§2.6	Exportar resultados	26

Índice de figuras

1.1	Representación lineal de un sistema discreto	4
2.1	Ventana principal	11
2.2	Ventana <i>Edit</i>	14

2.3	Ventana <i>View</i>	16
2.4	Formato de insumos	16
2.5	Ventana para seleccionar archivo de entrada	18
2.6	Configuración del Ejemplo 1	18
2.7	Ventanas de errores	20
2.8	Ventana <i>View</i> con 10 señales	21
2.9	Ventana para seleccionar archivo de entrada	22
2.10	Sección <i>Results-Signals</i>	25
2.11	Sección <i>Results-Fourier Spectrum</i>	26
2.12	Sección <i>Results-Modal Shapes</i>	27
2.13	Sección <i>Results-Poles Zeros</i>	28
2.14	Formato - Exportar resultados	29

Capítulo 1

Métodos de Análisis Ringdown

1.1. Introducción

Aunque los sistemas eléctricos son inherentemente no lineales, en algunos casos suelen responder a controles lineales bien ajustados. Para implementar el control lineal retroalimentado, el analista del sistema debe tener un modelo preciso de orden suficientemente bajo a partir del cual diseñar el sistema de control. Sin embargo, es frecuente que el sistema original es demasiado complejo o los parámetros no se conocen con suficiente precisión para producir un modelo de orden reducido adecuado. En la práctica, el sistema puede tener elementos dependientes del tiempo o dependientes de las condiciones del estado operativo del sistema, lo que compromete la precisión del modelo matemático, en estos casos, es mejor extraer la información modal directamente de la respuesta del sistema después de una perturbación. Utilizando este enfoque, es posible reemplazar el modelo dinámico real con un modelo lineal estimado que se deriva de la forma de onda de la respuesta del sistema.

La respuesta dinámica variante en el tiempo de un sistema de potencia ante una perturbación puede estar compuesta de varios modos de oscilación, los cuales deben ser identificados. A la fecha, se han propuesto varios métodos para extraer información dinámica desde las mediciones de un sistema sometido a una perturbación, un método apropiado debe considerar la inclusión de las no linealidades, el tamaño del modelo que se va a representar y la confiabilidad de los resultados.

El problema del análisis modal se puede plantear de tal forma que, dado un conjunto de mediciones variantes en el tiempo, se desea ajustar una señal propuesta a la forma de onda real (es decir, minimizar el error entre la forma de onda real medida y la forma de onda propuesta). Los coeficientes de la señal propuesta producen las características modales dominantes del sistema lineal. Por consiguiente, se considera el siguiente sistema lineal:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}\tag{1.1}$$

donde $x(t_0) = x_0$ y \dot{x} es la diferencial de x con respecto al tiempo. Variables u y y son la entrada y salida del sistema respectivamente, x es el estado del sistema y es normalmente considerado como un vector de n elementos (siendo n el orden del sistema de ecuaciones diferenciales). Estas ecuaciones, y las matrices del sistema, se pueden reorganizar de varias formas diferentes para cumplir propósitos específicos. Cada elemento individual x_i puede ser dado por:

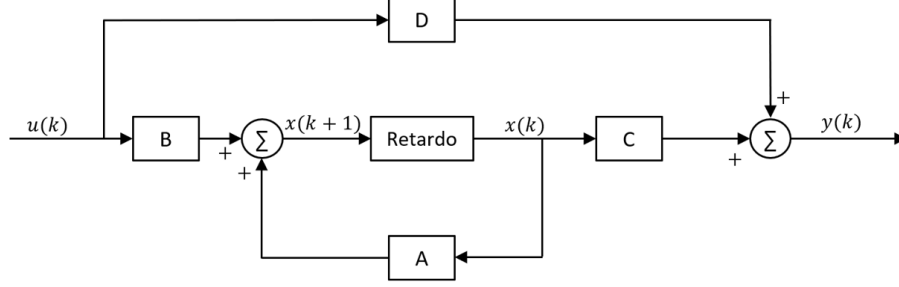


Figura 1.1: Representación lineal de un sistema discreto

$$x_i(t) = \sum_{i=1}^n r_i x_{i0} e^{\lambda_i t} = \sum_{i=1}^n a_i e^{\sigma_i t} \cos(\omega_i t + \theta_i) \quad (1.2)$$

donde el parámetro r_i es el residuo del modo i , x_{i0} es derivado de las condiciones iniciales, y λ_i representa los valores propios (posiblemente complejos) de A . La estimación de estas señales proporcionan información modal sobre el sistema, la cual puede utilizarse para predecir el comportamiento (estable o inestable), diseño del controlador, información de parámetros para estudios dinámicos.

Las ecuaciones (1.1) se pueden expresar en su forma discreta de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) \\ y(k) &= Cx(k) + Du(k) \end{aligned} \quad (1.3)$$

donde k representa el intervalo de tiempo discreto. El sistema de ecuaciones se muestra en la figura 1.1.

La tarea principal en el análisis modal es determinar los polos (p) del sistema de la función de transferencia o los eigenvalores de A . La identificación de la función de transferencia debe, además de los polos, también determinar los ceros (z) y las ganancias (G) de una o más respuestas. La función de transferencia $T(s)$ del sistema involucra todas las matrices del sistema en las ecuaciones (1.1), de tal forma que se representa por:

$$T(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{G(s^m + a_{m-1}s^{m-1} + \dots + a_1s + a_0)}{s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_1s + b_0} = \sum_{i=1} \frac{K_i}{s - p_i} \quad (1.4)$$

donde cada polo p_i es idéntico a los eigenvalores λ_i de la matriz A y K_i es el residuo de la función de transferencia de asociada a los polos p_i .

Actualmente, las técnicas más utilizadas para la identificación de modos electromecánicos en sistemas de potencia son los métodos de: Prony, Eigensystem Realization Algorithm (ERA), y Matrix Pencil (MP).

1.2. Formulacion Matematica

1.2.1. Prony Single-Channel

El método Prony y sus variantes están diseñados para estimar directamente los parámetros de los términos exponenciales, ajustando una función de una serie de datos $y(t)$. Al hacer esto, también puede ser necesario modelar desplazamientos, tendencias, ruido y otros efectos en la señal. El método Prony es un método polinomial en el sentido de que incluye el proceso de encontrar las raíces de un polinomio característico [1]. El método Prony tiene tres pasos, suponiendo una señal medida $y(t)$, cuya representación en tiempo discreto está dada por $y(t_k = n\Delta t)$, y que posee N muestras que están espaciadas uniformemente por Δt , el método se define:

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{\sigma_i t} \cos(\omega_i t + \theta_i) \quad (1.5)$$

donde $n \leq N$ es el numero de modos a determinar. El análisis de Prony se resuelve mediante los siguientes pasos:

1. Crear la matriz Toeplitz T , en la forma $b = Ta$:

$$\begin{bmatrix} y(n) \\ y(n+1) \\ \vdots \\ y(N-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(n-1) & \cdots & y(1) & y(0) \\ y(n) & \cdots & y(2) & y(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y(N-2) & \cdots & y(N-n) & y(N-n-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

2. Los coeficientes polinomiales a se encuentran resolviendo la ecuación (1.7), i.e. aplicando la solución mínimos cuadrados de (1.6)

$$\mathbf{a} = (T^T T)^{-1} T^T \mathbf{b} \quad (1.7)$$

3. Las raíces z_i se extraen del polinomio característico en ((1.8)).

$$z^n - (a_1 z^{n-1} + a_2 z^{n-2} + \cdots + a_{n-1} z^0) = 0 \quad (1.8)$$

donde los coeficientes a_i son desconocidos y se calculan desde la ecuación (1.7).

De las raíces del polinomio en (1.8), z_i se extraen las frecuencias \hat{f}_i y el amortiguamiento $\hat{\sigma}_i$ para el i -ésimo modo, de esta forma, los parámetros modales están dados por:

$$\lambda_i = \frac{\ln(z_i)}{\Delta t} \quad (1.9)$$

$$\hat{f}_i = \text{Im} \left(\frac{\lambda_i}{2\pi} \right) \quad (1.10)$$

$$\hat{\sigma} = \text{Re}(\lambda_i) \quad (1.11)$$

La relación de amortiguamiento ($\hat{\zeta}_i$) de la señal se obtiene mediante la relación del amortiguamiento y frecuencia, de la siguiente forma:

$$\hat{\zeta}_i(t) = \frac{\hat{\sigma}_i}{\hat{\omega}_i} \quad (1.12)$$

donde $\hat{\omega}_i = 2\pi\hat{f}_i$. De la amplitud \mathbf{a} y la velocidad angular ($\hat{\omega}_i$) podemos calcular la energía modal:

$$\hat{E}_i = \frac{1}{2}\hat{\omega}_i^2\hat{a}_i^2. \quad (1.13)$$

1.2.2. Prony Multi-Channel

Considerando un conjunto M de señales $y_m(n)$, $m = 1, \dots, M$, obtenidas del mismo evento y por lo tanto comparten los mismos eigenvalores. La m -ésima aproximación de la señal, es obtenida mediante 1.14:

$$\hat{y}_m(k) = \sum_{i=1}^n B_{mi} z_i^k, k = 0, \dots, N_m - 1 \quad (1.14)$$

donde $B_{mi} \in \mathbb{C}$ es el residuo de salida del polo de tiempo continuo $\lambda_i \in \mathbb{C}$, $\lambda_i \neq \lambda_j$ for $i \neq j$, y $z_i = e^{\lambda_i \Delta t}$.

Como en el caso single-channel, cada conjunto de señal \hat{y}_m satisface (1.8). En el caso multi-channel, el problema de predicción lineal se aborda resolviendo la siguiente ecuación:

$$\hat{y}_m(k) = a_1 \hat{y}_m((k-1)T) + \dots + a_n \hat{y}_m((k-n)T) \quad (1.15)$$

con $m = 1, \dots, M$ simultáneamente para los coeficientes desconocidos.

1.2.3. Eigensystem Realization Single-Channel

Este algoritmo Eigensystem Realization (ERA) se basa en la descomposición de valores singulares (SVD, por sus siglas en inglés Singular Value Decomposition) de la matriz Hankel asociada con la respuesta ringdown del sistema. Las matrices de Hankel \mathbf{H}_0 y \mathbf{H}_1 se ensamblan con muestras correspondientes a una señal medida $y(t)$ de tal forma que:

$$\mathbf{H}_0 = \begin{bmatrix} y_0 & y_1 & \cdots & y_r \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_{r+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_r & y_{r+1} & \cdots & y_{N-1} \end{bmatrix} \quad (1.16)$$

and

$$\mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \cdots & y_{r+1} \\ y_2 & y_3 & \cdots & y_{r+2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{r+1} & y_{r+2} & \cdots & y_N \end{bmatrix} \quad (1.17)$$

donde $r = (N/2) - 1$.

Al aplicar la descomposición en valores singulares (SVD por sus siglas en ingles Singular Value Decomposition) sobre la matriz Hankel H_0 y separando sus componentes de acuerdo al tamaño de los valores singulares, H_0 se puede definir como:

$$\mathbf{H}_0 = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V} = \begin{bmatrix} U_n & U_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_n & 0 \\ 0 & \Sigma_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

donde Σ_n y Σ_z son los elementos de la diagonal de la matriz ordenados de acuerdo a su magnitud.

$$\Sigma_n = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n) \quad (1.19)$$

$$\Sigma_z = \text{diag}(\sigma_{n+1}, \sigma_{n+2}, \sigma_{n+3}, \dots, \sigma_N) \quad (1.20)$$

en donde los valores singulares están ordenados de acuerdo a su magnitud, de tal forma que $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_n > \sigma_{n+1} > \dots > \sigma_N$.

El SVD es una herramienta de mucha utilidad para determinar el valor de n . Lo ideal es establecer que $\sigma_n \gg \sigma_{n+1}$, sin embargo, en eventos reales, por ruido o por no linealidades del sistema, la diferencia entre σ_n y σ_{n+1} no es tan sencilla.

La relación de los valores singulares contenidos en Σ puede determinar la mejor aproximación de n . Para obtener el valor "correcto" de n (valor con información modal suficiente, despreciando el ruido), se aplica el método de umbral de energía, donde se obtiene la relación de la sumatoria de cada elemento empezando por σ_n , hasta que la comparación de la sumatoria entre la suma total es menor o igual a cierto valor p definido previamente, mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum_{i=0}^N \sigma_i}{\sum \sigma} 100 \geq p \quad (1.21)$$

de (1.21), se trunca la matriz \mathbf{H}_0 de la siguiente forma:

$$\mathbf{H}_0 \approx \mathbf{U}_n \mathbf{\Sigma}_n \mathbf{V}_n^T \quad (1.22)$$

posteriormente, de la ecuación (1.22) se obtiene la matriz \mathbf{A} del sistema, mediante la expresión:

$$\mathbf{A} \approx \mathbf{\Sigma}_n^{-1/2} \mathbf{U}_n^T \mathbf{H}_1 \mathbf{V}_n \mathbf{\Sigma}_n^{-1/2} \quad (1.23)$$

donde $z_i = \text{eig}(A)$ y la información modal (frecuencia \hat{f}_i , amortiguamiento $\hat{\sigma}_i$, relación de amortiguamiento $\hat{\zeta}_i$ y energía \hat{E}_i), se obtiene con las ecuaciones (1.10) - (1.13).

1.2.4. Eigensystem Realization Multi-Channel

Para el caso de múltiples señales, se tiene que la matriz $\mathbf{Y}_m \in \mathbb{R}^{N \times m}$ compuesta por m columnas correspondientes a cada canal, de tal forma:

$$\mathbf{Y}_m = [\mathbf{y}^{\{1\}} \ \mathbf{y}^{\{2\}} \ \dots \ \mathbf{y}^{\{q\}} \ \dots \ \mathbf{y}^{\{m\}}] \quad (1.24)$$

donde la q -ésima columna esta representada por $\mathbf{y}^{\{q\}} = [y(0) \ y(1) \ \dots \ y(N-1)]^T$. Así, la representación de todas las señales en la matriz Hankel \mathbf{H}_0 esta definida por:

$$\mathbf{H}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_0 & \mathbf{Y}_1 & \cdots & \mathbf{Y}_{N-1} \\ \mathbf{Y}_1 & \mathbf{Y}_2 & \cdots & \mathbf{Y}_N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{Y}_{N-1} & \mathbf{Y}_N & \cdots & \mathbf{Y}_{2N-1} \end{bmatrix} \quad (1.25)$$

una vez construida la matriz \mathbf{H}_0 , el procedimiento es igual que en Eigensystem Realization para 1 señal, que va de las ecuaciones (1.17) - (1.23)

1.2.5. Matrix Pencil Single-Channel

El metodo Matrix Pencil (MP) produce una matriz cuyas raíces proporcionan z_i , de la cual se pueden extraer los eigenvalores. El número de modos significativos m en el sistema se determina a partir de la descomposición del valor singular de la matriz Hankel, donde \mathbf{H} :

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} y(k) & y(k+1) & \cdots & y(k+L) \\ y(k+1) & y(k+2) & \cdots & y(k+L+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y(k+N-L-1) & y(k+N-L) & \cdots & y(k+N-1) \end{bmatrix} \quad (1.26)$$

la descomposición de \mathbf{H}_1 y \mathbf{H}_2 es mediante SVD:

$$\mathbf{H} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V} \quad (1.27)$$

donde $\mathbf{U} \in \mathbb{R}^{m,(L+1)}$, $\mathbf{\Sigma} \in \mathbb{R}^{m,m}$ and $\mathbf{V} \in \mathbb{R}^{m,(N-L)}$. $\mathbf{\Sigma}$ es la matriz diagonal, que contiene los valores singulares de \mathbf{H} , las marices \mathbf{U} y \mathbf{V} se definen como:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ z_1 & z_2 & \cdots & z_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_1^L & z_2^L & \cdots & z_m^L \end{bmatrix} \quad (1.28)$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & \cdots & z_1^{N-L-1} \\ 1 & z_2 & \cdots & z_2^{N-L-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & z_m & \cdots & z_m^{N-L-1} \end{bmatrix} \quad (1.29)$$

De igual forma que en el procedimiento de ERA de acuerdo a los valores singulares en $\mathbf{\Sigma}$ con (1.21) se trunca \mathbf{H} , para obtener las matrices \mathbf{U}_n y \mathbf{V}_n .

De \mathbf{V}_n , el siguiente paso consiste en ordenar los vectores singulares, como se define a continuación:

$$\mathbf{V}_1 = [\mathbf{V}_1 \quad \mathbf{V}_2 \quad \cdots \quad \mathbf{V}_L] \quad (1.30)$$

$$\mathbf{V}_2 = [\mathbf{V}_2 \quad \mathbf{V}_3 \quad \cdots \quad \mathbf{V}_{L+1}] \quad (1.31)$$

Las raíces (z_i) se pueden obtener desde los valore propios de las matrices $[\mathbf{Y}_2]$ y $[\mathbf{Y}_1]$, mediante:

$$[\mathbf{Y}_1]^{-1}[\mathbf{Y}_2] - \lambda \mathbf{I} \quad (1.32)$$

donde

$$Y_1 = V_1^T V_1 \quad (1.33)$$

$$Y_2 = V_2^T V_1 \quad (1.34)$$

Mediante la ecuación (1.32), las raíces (z_i) se obtienen de la siguiente forma:

$$z_i = eig(Y_1^* Y_2) \quad (1.35)$$

donde * corresponde a la matriz pseudoinversa de Moore-Penrose. De aquí en adelante, es posible obtener la información modal aplicando las ecuaciones (1.10) - (1.13).

1.2.6. Matrix Pencil Multi-Channel

Para un conjunto m de señales, se forman 2 matrices Hankel $\mathbf{H}_1^{(m)}$ y $\mathbf{H}_2^{(m)}$, estas matrices quedan compuestas de la siguiente forma:

$$H_1 = [H_1^{(1)}, H_1^{(2)}, \dots, H_1^{(m)}] \quad (1.36)$$

$$H_2 = [H_2^{(1)}, H_2^{(2)}, \dots, H_2^{(m)}] \quad (1.37)$$

una vez teniendo las matrices Hankel, el procedimiento es el mismo que el descrito de las ecuaciones (1.27) - (1.35).

Capítulo 2

Interfaz Gráfica de Usuario

2.1. Introducción

Una interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés Graphic User Interface) es una herramienta cuyo propósito consiste en proporcionar un entorno visual para permitir la comunicación de manera sencilla entre el usuario y el sistema operativo de una computadora.

2.2. Interfaz Gráfica

Esta interfaz gráfica de usuario esta desarrollada en Python 38 empleando principalmente las siguientes librerías:

- tkinter: interfaz gráfica
- numpy y scipy: herramientas y algoritmos matemáticos
- matplotlib: gráficos

La finalidad de esta herramienta es el análisis de una señal o conjunto de señales obtenidas de eventos medidos en Sistemas de Potencia que pueden ser datos sincrofasoriales, que contienen una estampa de tiempo. Cuando se trata de un conjunto de señales, las señales deben de ser obtenidas del mismo evento en el mismo sistema. Los métodos de análisis son: Prony, Matrix Pencil y Eigensystem Realization, los cuales están integrados en la interfaz gráfica, que de manera sencilla se pueden ejecutar y a su vez, generar resultados gráficos y numéricos.

La interfaz gráfica cuenta con 3 ventanas: Ventana principal, Ventana *Edit* y Ventana *View*.

2.2.1. Ventana principal

Al iniciar la aplicación se muestra la ventana principal, que se muestra en la figura 2.1, la cual contiene 3 secciones:

- a) Menú principal
- b) Configuración

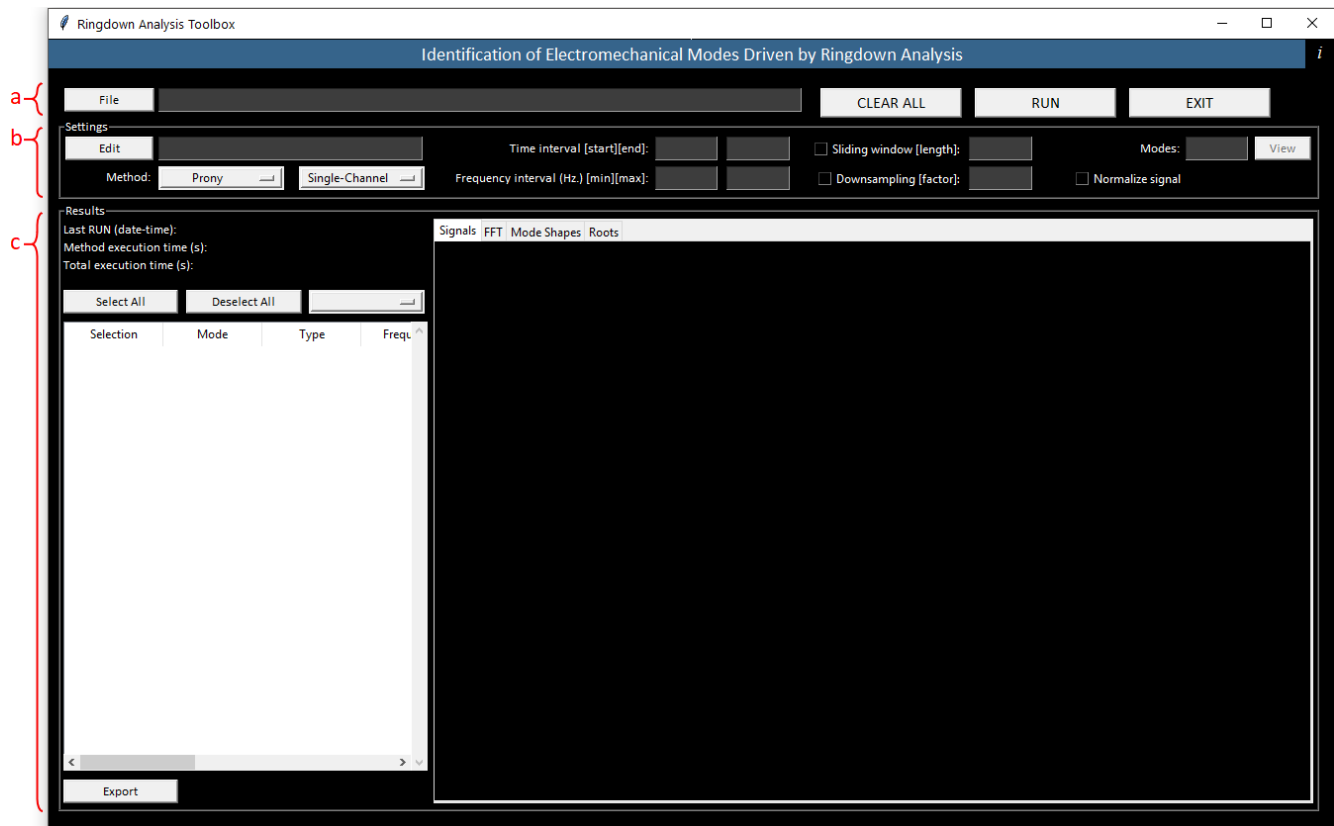



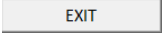
Figura 2.1: Ventana principal

c) Resultados

Menú principal

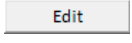
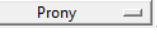
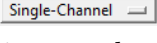
En esta sección de la ventana principal, de izquierda a derecha, se encuentran los siguientes elementos:


- Botón **File**, es el selector del archivo a estudiar. Este botón navega inicialmente dentro de la carpeta donde está el GUI y permite seleccionar el archivo que se va a analizar, los formatos permisibles son **.csv* o **.xlsx*.
- Entrada Manual 1 (tipo de dato: *cadena de texto*), en este elemento, en la cual, si se selecciona un archivo mediante el botón *File*, aquí aparecerá la ruta completa, nombre del archivo y extensión; si no se seleccionó algún archivo mediante el botón *File*, es posible ingresar manualmente ruta completa, nombre del archivo y extensión en la Entrada Manual 1. También es posible editar los datos (cuando existan).
- Botón **CLEAR ALL**, gira la instrucción de borrar todas las entradas manuales y gráficos de la ventana principal.

- Botón , ejecuta el análisis de la(s) señal(es) indicadas en la entrada manual 1, considerando la configuración previamente definida. Para que esta acción se pueda ejecutar se tienen que cumplir con todas las condiciones de necearías de formato, y rangos.
- Botón , salir de la aplicación.

Configuración


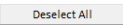
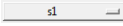
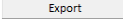
En esta sección de la ventana principal, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, se encuentran los siguientes elementos:

- Botón , abre la Ventana *Edit*, la cual es para una visualización gráfica y numérica de los datos que estamos ingresando y su comportamiento ante diferentes configuraciones.
- Entrada Manual 2 (tipo de dato: *cadena de texto*), en este elemento se editan el nombre de las señales que se van a analizar, se pueden borrar algunas o estar todas, sin embargo, deben estar en orden en el que se encuentran en el insumo.
- Botón Menú , correspondiente al *Method*. Permite seleccionar el método de solución: Prony, MP o ERA.
- Botón Menú , correspondiente al *Method*. Permite seleccionar si el método de solución es único-canal o multi-canal.
- Entrada Manual 3 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Time interval start*. En este elemento se ingresa el tiempo inicial de la ventana de análisis el cual esta delimitado por el tiempo mínimo del insumo.
- Entrada Manual 4 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Time interval end*. En este elemento se ingresa el tiempo final de la ventana de análisis el cual esta delimitado por el tiempo máximo del insumo.
- Entrada Manual 5 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Frequency interval min*. En este elemento se ingresa el tiempo inicial de la ventana del espectro de Fourier.
- Entrada Manual 6 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Frequency interval max*. En este elemento se ingresa el tiempo final de la ventana del espectro de Fourier.
- Casilla 1 (tipo de dato: *booleano*), correspondiente al *Sliding window*. Es activar o desactivar el análisis de la ventana deslizante.
- Entrada Manual 7 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Sliding window length*. Es el ancho de la ventana deslizante.
- Casilla 2 (tipo de dato: *booleano*), correspondiente al *Downsampling*. Es activar o desactivar el submuestreo.
- Entrada Manual 8 (tipo de dato: *entero*), correspondiente al *Downsampling factor*. Es el factor de submuestro de la(s) señal(es) contenida(s) en el insumo.

- Entrada Manual 9. En este caso se tienen 2 opciones, dependiendo de la selección del método de análisis *Prony*, *ERA* o *Matrix Pencil*.
 - Selección *Prony*, (tipo de dato: *entero*), correspondiente a *Modes*. Son los modos que se desean obtener del análisis. Se deshabilita el botón *View*
 - Selección *ERA* o *Matrix Pencil*, (tipo de dato: *flotante*), correspondiente a *Energy threshold (%)*. Es el porcentaje del umbral de energía de los valores singulares. Se habilita el botón *View*
- Botón *View* . Permite la visualización gráfica de los valores singulares obtenidos desde la descomposición SVD de la matriz Hankel para los métodos ERA y Matrix Pencil.
- Casilla 3 (tipo de dato: *booleano*), correspondiente al *Normalize signal*. Normaliza la(s) señal(es).

Resultados

En esta sección de la ventana principal se muestran los resultados finales del análisis, de acuerdo a la configuración estipulada previamente. Describiendo de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, se encuentran los siguientes elementos:

- Texto 1 (tipo de dato: *fecha-hora*), correspondiente al *Last RUN (data-time)*. Es la fecha y hora en que se ejecuto por ultima vez la aplicación.
- Texto 2 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Method execution time (s)*. Es el tiempo (en segundos) en el que, únicamente el método de análisis llega a la solución.
- Texto 3 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Total execution time (s)*. Es el tiempo total (en segundos) de ejecución del programa (recopilación de datos, análisis de la(s) señal(es), solución y carga resultados gráficos).
- Botón , selecciona todos los modos de la señal seleccionada para ser mostradas en los resultados gráficos.
- Botón , deselecta todos los modos de la señal seleccionada para no ser mostradas en los resultados gráficos.
- Botón , selecciona la señal que se va a mostrar en los resultados gráficos.
- Cuadro de datos, muestra los parámetros dinámicos de la señal bajo estudio. Los datos se muestran en el siguiente orden: Selección, Modo, Tipo, Frecuencia, Amplitud, Atenuación, Relación de Atenuación, Fase, Polos y Ceros y Energía
- Botón , exporta todos los resultados en un archivo con formato csv o xlsx.
- Hoja múltiple con tabulador, es donde se muestran las gráficas de los resultados en el siguiente orden: Señales, Espectro de Fourier, Formas de modos y Polos y Ceros. Todas las gráficas contienen las opciones de edición de la librería Matplotlib.

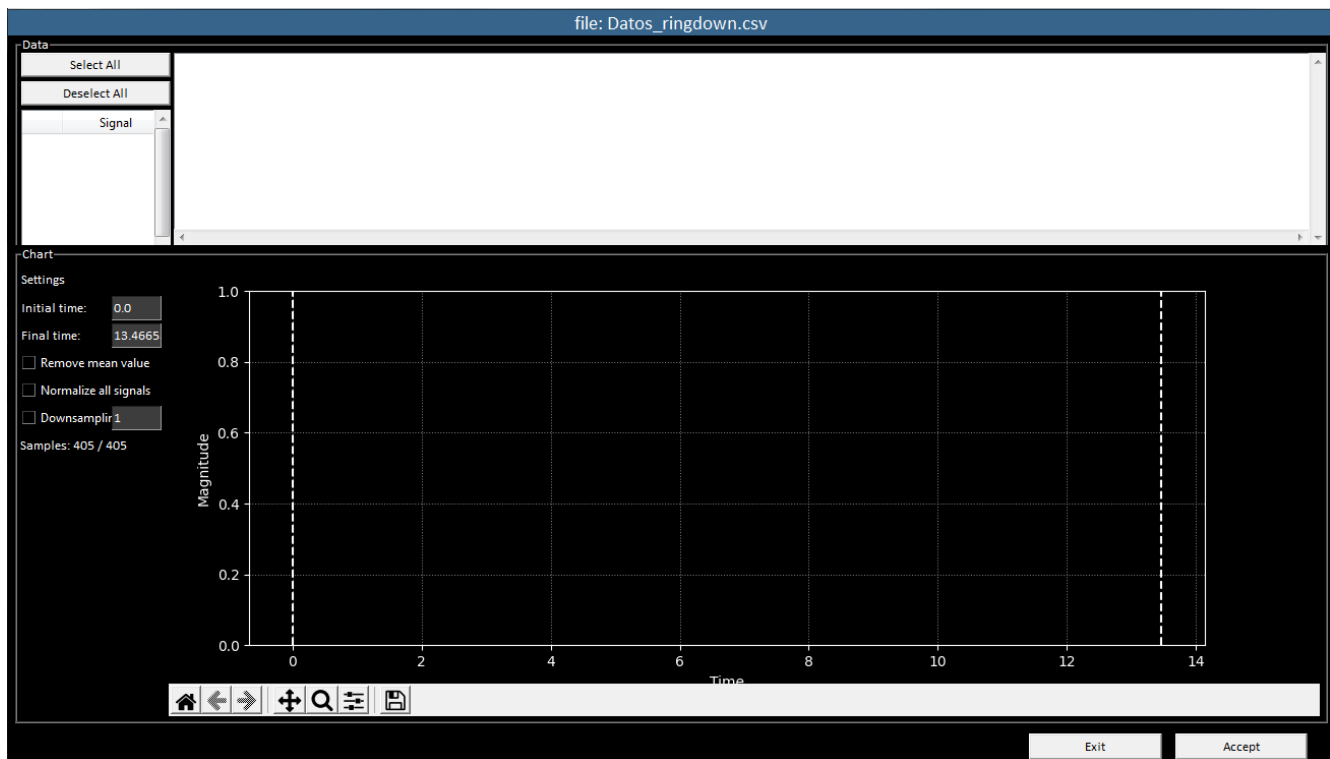


Figura 2.2: Ventana *Edit*

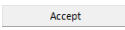

2.2.2. Ventana *Edit*

La ventana *Edit* mostrada en la figura 2.2 permite la observación, selección y comportamiento de la(s) señal(es) que se están ingresando a la aplicación, en las que se pueden aplicar diferentes opciones y observar gráficamente la modificación de las señales. En esta ventana no se aplica ningún método de análisis.

En el recuadro superior de esta ventana, se encuentra la sección *Data*, y describiendo de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, se encuentran los siguientes elementos:

- Botón , selecciona todas las señales existentes para ser analizadas en la ventana principal, también se muestran en los resultados gráficos de esta ventana.
- Botón , deselectiona todas las señales existentes para no ser analizadas en la ventana principal, también se omiten en los resultados gráficos de esta ventana.
- Cuadro de datos 1, muestra el nombre de las señales contenidas en el archivo xls o csv.
- Cuadro de datos 2, muestra todos los datos encontrados en el archivo xls o csv, empezando por la columna de tiempo y seguidas de las señales. La información en este cuadro es solo de lectura.

En el recuadro inferior de esta ventana, se encuentra la sección *Chart*, y describiendo de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, se encuentran los siguientes elementos:

- Entrada Manual 1 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Initial time*. Es el tiempo inicial del total de la(s) señal(es) que se va a analizar. Este tiempo debe de ser mayor o igual al tiempo mínimo del archivo de lectura.
- Entrada Manual 2 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Final time*. Es el tiempo final del total de la(s) señal(es) que se va a analizar. Este tiempo debe de ser menor o igual al tiempo máximo del archivo de lectura.
- Casilla 1 (tipo de dato: *booleano*), correspondiente al *Remove mean value*. Es activar o desactivar quitar el valor medio de la señal para ser mostrado en la gráfica, sin embargo, todos los métodos de análisis quitan el valor medio previamente y ejecutar el método de solución.
- Casilla 2 (tipo de dato: *booleano*), correspondiente al *Normalize all signals*. Es activar o desactivar la normalización de la(s) señal(es) a la unidad. En el caso de varias señales, cuando se tiene analisis *Multi-Channel*: se toma como referencia la señal que alcanza mayor magnitud en algun instante del tiempo y las demas son relativas a su altura.
- Casilla 3 (tipo de dato: *booleano*), correspondiente al *Downsampling*. Es activar o desactivar el submuestreo.
- Entrada Manual 3 (tipo de dato: *entero*), correspondiente al *Downsampling*. Es el factor de submuestreo que se va a aplicar a la señal para reducir el numero de puntos.
- Texto 3 (tipo de dato: *entero/entero*), correspondiente al *Samples: m/n*. Donde es el numero m son los puntos con submuestreo considerados para el análisis y n numero de puntos totales de la señal.
- Gráfica 1 se muestran gráficamente las señales seleccionadas desde el *Cuadro de datos 1*. La gráfica contiene las opciones de edición de la librería Matplotlib.
- Botón , acepta todos los cambios indicados en esta ventana y la cierra. Los cambios indicados en esta ventana se verán reflejados en la ventana principal.
- Botón , no conserva cambios en esta ventana y la cierra. La ventana principal mantendrá sin cambios.

2.2.3. Ventana *View*

La ventana *View* esta disponible, a travez del boton *View*, cuando se tiene seleccionada la opción de solución de ERA o Matrix Pencil, en la que se muestra gráficamente los valores singulares de la descomposición de la SVD de la matriz Hankel.

De izquierda a derecha se muestran los siguientes elementos:

- Entrada Manual 1 (tipo de dato: *flotante*), correspondiente al *Energy Threshold*. Es el porcentaje de umbral de energía de los valores singulares obtenidos de la SVD de la matrix Hankel.

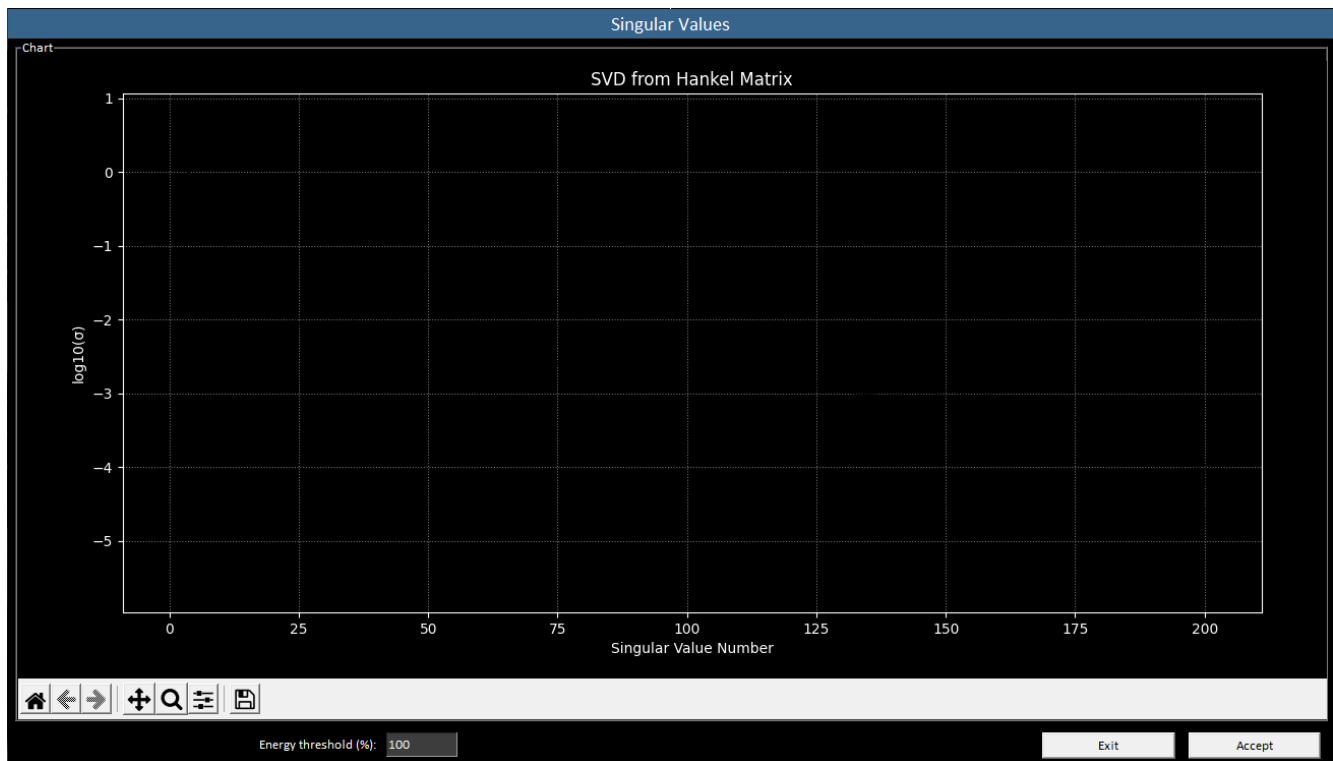


Figura 2.3: Ventana *View*

- Botón , no acepta los cambios indicados en esta ventana y la cierra.
- Botón , conserva cambios en esta ventana y la cierra. Los cambios indicados en esta ventana se verán reflejados en la ventana principal.

2.3. Formatos de insumos

El archivo de entrada o insumo es de suma importancia para la correcta lectura de datos, y así, generar resultados de forma adecuada. El archivo de entrada deberá ser formato CSV (por

	A	B	C	D	E	F
1	t	s1	s2	s3	s4	s5
2	0	1.85702942	1.85707536	1.85724713	1.8572683	0.28754949
3	0.033333	1.85706644	1.85700652	1.8572193	1.85722969	0.28753644
4	0.066666	1.85667549	1.85666963	1.85677708	1.85696604	0.2874427
5	0.099999	1.8563607	1.85643034	1.85650305	1.85653247	0.28712179
6	0.133332	1.8561575	1.85613912	1.85621636	1.85627135	0.28690021
7	0.166665	1.85591302	1.855984	1.85620118	1.85626842	0.28686906
8	0.199998	1.8557041	1.85575856	1.85587307	1.85594605	0.2865801
9	0.233331	1.85575297	1.85576495	1.85582407	1.85595244	0.28648529

Figura 2.4: Formato de insumos

sus siglas en ingles Comma Separated Values) o archivo XLSX, hoja de calculo Excel, Microsoft Windows, versión mínima 2007. Es importante señalar que la lectura de archivos XLSX es en la primera hoja del libro.

Como ejemplo, en la figura 2.4 se muestra las primeras 6 columnas y los primeros 9 renglones de una hoja de calculo Excel. Este archivo muestra en la primer columna el vector tiempo (t) y en las siguientes columnas 5 señales con sus respectivos nombres ($s1, s2, s3, s4, s5$), por lo que se tienen ciertas condiciones necesarias para la lectura del archivo, tales como:

- La primer columna debe de contener el vector tiempo
- No se debe haber columnas en blanco entre la información total.
- La primer fila debe de contener el nombre de cada columna (tiempo y señales), empezando por la columna tiempo.
- Es posible que el archivo de entrada contenga solo 1 señal, sin embargo, si contiene mas de 1 señal, los nombres de las señales deben de ser diferentes entre ellas.
- No se debe haber filas en blanco entre la información total.
- En la primer fila, los nombres de las columnas pueden ser alfanuméricos (preferentemente cadenas de texto), sin embargo, el nombre o texto no puede tener espacios en blanco.
- Los valores a partir de la segunda fila hacia abajo (valores de tiempo y señales) pueden ser enteros o flotantes, pero nunca espacios en blanco ni valores alfanuméricos.
- El numero de columnas no esta limitado, sin embargo, esto afectara la carga computacional para analizar y mostrar resultados.

2.4. Lectura de Datos y Configuración

Al abrir la aplicación, en la ventana principal todos lo elementos aparecerán vacíos, algunos se llenaran al momento de cargar el archivo de entrada. El método de solución inicialmente se mostrara el Prony Single-Channel, sin embargo, este podrá ser cambiado manualmente y aun cuando se haga un borrado total del datos en la aplicación, estos datos se mantendrán de acuerdo a los últimos cambios realizados.

La lectura del archivo de entrada es en la ventana principal, mediante el botón *File*, el cual abre una ventana temporal llamada *Select a file* para la selección de archivo, ver figura 2.5. Esta ventana inicialmente se abre con la dirección raíz donde esta guardada esta aplicación. En la ventana temporal *Select a file* en la parte inferior derecha se muestra la selección del formato CSV o XLSX, la cual filtrara y mostrara solamente los archivos indicados (CSV o XLSX) existentes en la ubicación de referencia.

Ejemplo 1; se considera un archivo CSV que contiene 10 señales $s1, s2, \dots, s10$, se tienen las velocidades angulares de maquinas en un rango de tiempo 0 a 30 seg, con un $\Delta t = 0.03333$. La configuración inicial es con el método de solución ERA Single-Channel, con un umbral de energía del 92.0 %. Ver figura 2.6.

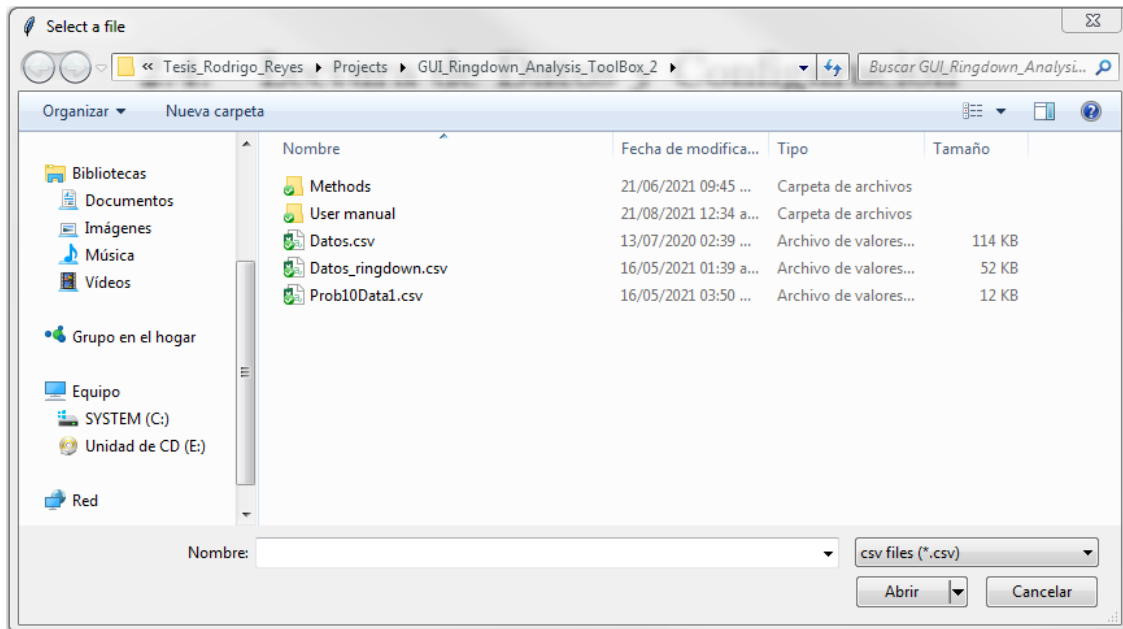


Figura 2.5: Ventana para seleccionar archivo de entrada

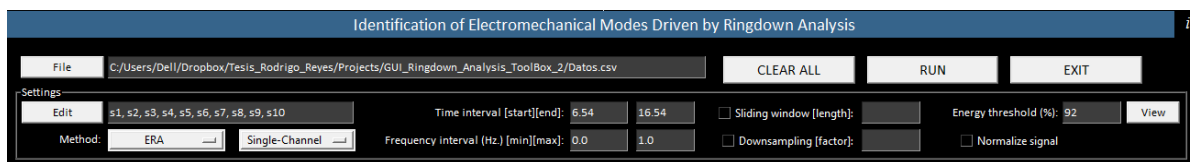
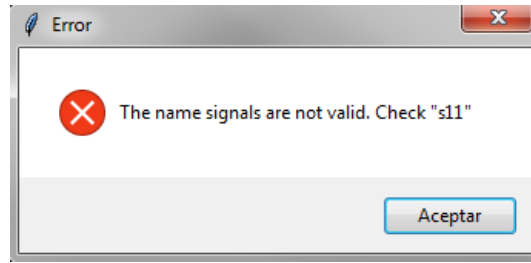


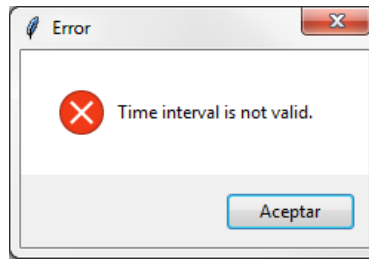
Figura 2.6: Configuración del Ejemplo 1

Una vez seleccionado el archivo se da clic en *Abrir* y se cerrará la ventana temporal *Select a file*, la ventana principal de la aplicación se cargará automáticamente con la información del archivo de entrada, tales como las entradas manuales 2, 3, 4, 5 y 6 las cuales se describen a continuación:

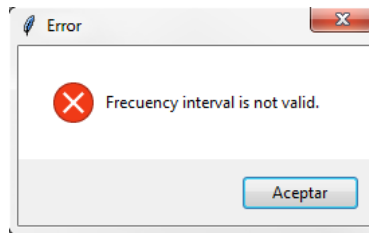
- Entrada manual 2: Este elemento se llenará inicialmente de los nombres de las señales que contiene el archivo de entrada, cada nombre de la señal estará separado por 1 coma y 1 espacio en blanco, los nombres de las señales siempre deberán estar separados por comas. El orden de las señales en este elemento deberá obedecer al orden de las señales en el archivo de entrada. El nombre de las señales no puede tener espacios en blanco. Este elemento podrá ser modificado manualmente (siempre respetando el nombre y orden en el que se encuentran en el archivo de entrada).
Si se digita el nombre de la señal erróneamente, se mostrará un mensaje de error como el de la figura 2.7a, en el cual se indica cuál es el nombre que no coincide con el nombre del archivo de entrada, basta con cerrar la ventana de error y corregir el nombre incorrecto.
- Entrada manual 3 (*time interval start*): Este elemento inicialmente mostrará el tiempo mínimo del archivo de entrada, el cual puede ser modificado manualmente. Solo se acepta 1 valor entero o flotante. Este dato será el tiempo inicial en el que se va a analizar la señal.
Si se digita el número del tiempo inicial erróneamente, se mostrará un mensaje de error como el de la figura 2.7b, en el cual se indica que el rango de tiempo no es válido de acuerdo al archivo de entrada, basta con cerrar la ventana de error y corregir el número incorrecto, el cual debe estar en un rango de tiempo mínimo igual o mayor al del archivo de entrada y de tiempo máximo debe ser menor al tiempo máximo digitado en la *Entrada manual 4*.
- Entrada manual 4 (*time interval end*): Este elemento inicialmente mostrará el tiempo máximo del archivo de entrada, el cual puede ser modificado manualmente. Solo se acepta 1 valor entero o flotante. Este dato será el tiempo final en el que se va a analizar la señal.
Si se digita el número del tiempo final erróneamente, se mostrará un mensaje de error como el de la figura 2.7b, en el cual se indica que el rango de tiempo no es válido de acuerdo al archivo de entrada, basta con cerrar la ventana de error y corregir el número incorrecto, el cual debe estar en un rango de tiempo mínimo mayor al digitado en la *Entrada manual 3* y de tiempo máximo debe ser igual o menor al tiempo máximo del archivo de entrada.
- Entrada manual 5 (*frequency interval min*): Este elemento inicialmente mostrará con el número 0, el cual puede ser modificado manualmente. Solo se acepta 1 valor entero o flotante. Este dato será la frecuencia inicial en la gráfica del espectro de Fourier.
Si se digita el número erróneamente, se mostrará un mensaje de error como el de la figura 2.7c, en el cual se indica que el rango de tiempo no es válido de acuerdo al archivo de entrada, basta con cerrar la ventana de error y corregir el número incorrecto, el cual debe estar en un rango mayor o igual a cero y menor al digitado en la *Entrada manual 6*.
- Entrada manual 6 (*frequency interval max*): Este elemento inicialmente mostrará con el número 1, el cual puede ser modificado manualmente. Solo se acepta 1 valor entero o flotante. Este dato será la frecuencia final en la gráfica del espectro de Fourier.
Si se digita el número erróneamente, se mostrará un mensaje de error como el de la figura 2.7c, en el cual se indica que el rango de tiempo no es válido de acuerdo al archivo de entrada,



(a) Ventana de error en el nombre de la(s) señal(es)



(b) Ventana de error en el rango de tiempo



(c) Ventana de error en el rango de frecuencia

Figura 2.7: Ventanas de errores

basta con cerrar la ventana de error y corregir el numero incorrecto, el cual debe de estar en un rango mayor al digitado en la *Entrada manual 5*.

Las *Entrada manual 5* y *6* referentes al intervalo de frecuencia (independientemente de los datos del archivo de entrada) siempre mostraran 0.0 - 1.0 en el intervalo mínimo y máximo respectivamente. Esto debido a que solo se desean observar las frecuencias de interés en oscilaciones de baja frecuencia en sistemas de potencia (inter-area 0.2-0.8Hz.), no se requiere de la visualización de un rango mayor o negativo.

También se tienen los elementos de configuración que no se van a cargar automáticamente y se necesitan modificar manualmente, estos son:

- *Casilla 1* y *Entrada Manual 7*: la *Casilla 1* es para indicar si se activa la ventana deslizante, la cual se va a deslizar desde el tiempo inicial marcado en la *Entrada manual 3* recorriendo la señal hasta la *Entrada manual 4*, analizando cada punto y generando resultados, lo cual puede mostrar la tendencia del análisis y también obtener un promedio, el cual puede ser

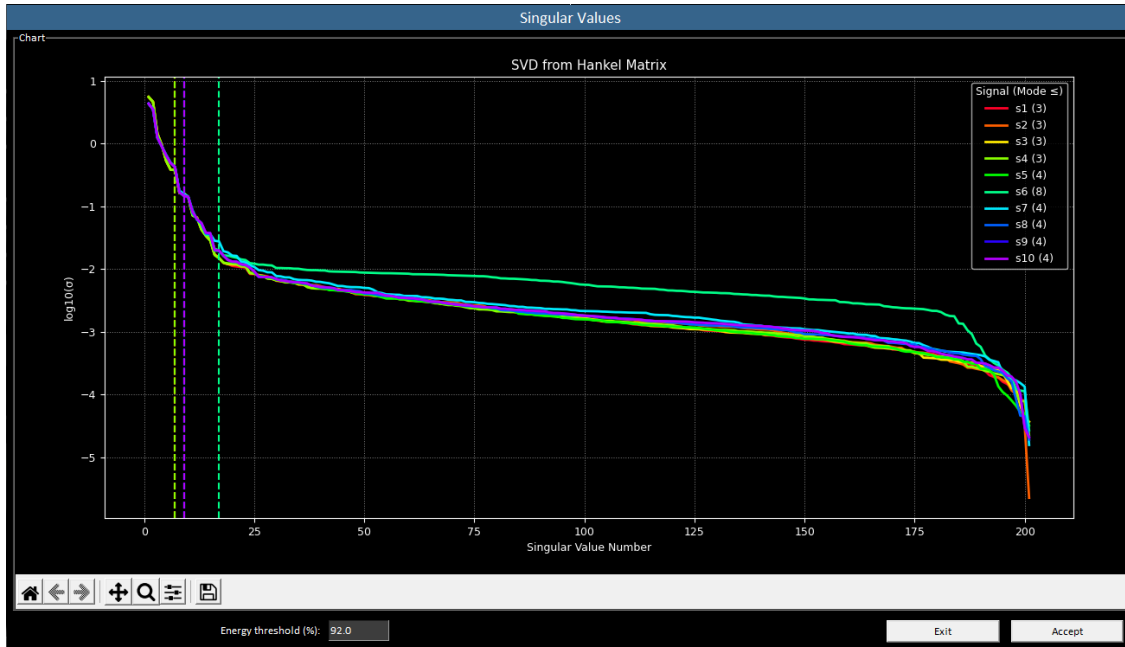


Figura 2.8: Ventana *View* con 10 señales

un resultado mas certero que el análisis en un solo punto. Y la *Entrada Manual 7* indica el ancho de la ventana deslizante, la cual debe de ser menor o igual al intervalo de tiempo.

- *Casilla 2 y Entrada Manual 8*: la Casilla 2 es para indicar si se activa el submuestreo de la señal de entrada, el cual es un proceso para la reducción del la frecuencia de muestreo. Y la *Entrada Manual 8* es el factor entero de submuestreo.
- *Entrada Manual 9 y Boton View*: En este caso se tienen 2 opciones, dependiendo de la selección del método de análisis *Prony*, *ERA* o *Matrix Pencil*.
 - Selección del método de solución *Prony*: son los modos que se desean obtener del análisis. Y se deshabilita el botón *View*.
 - Selección del método de solución *ERA* o *Matrix Pencil*, es el porcentaje del umbral de energía de los valores singulares. Se habilita el botón *View*, el cual muestra gráficamente los valores singulares de la descomposición de la SVD de la matriz Hankel, en donde se da una visualización previa de cuantos modos se obtendrán considerando el porcentaje de energía que se esta ingresado.

Considerando el *Ejemplo 1*, en la figura 2.8 se pueden observar los valores singulares de las señales y su correspondiente linea horizontal punteada la cual indica los valores singulares para mínimos para cubrir el umbral de energía del 92.0 % mencionados en la ecuación 1.21. En la etiqueta de la figura 2.8 se muestran el nombre de la señal y entre paréntesis se da una aproximación de los modos posibles que se van a obtener a partir de el umbral de energía que se esta considerando. En este ejemplo, a pesar de que las señales se obtienen del mismo evento, se están analizando por separado y se tienen señales individuales, por lo que se tendrán diferentes modos calculados para el mismo umbral de energía.

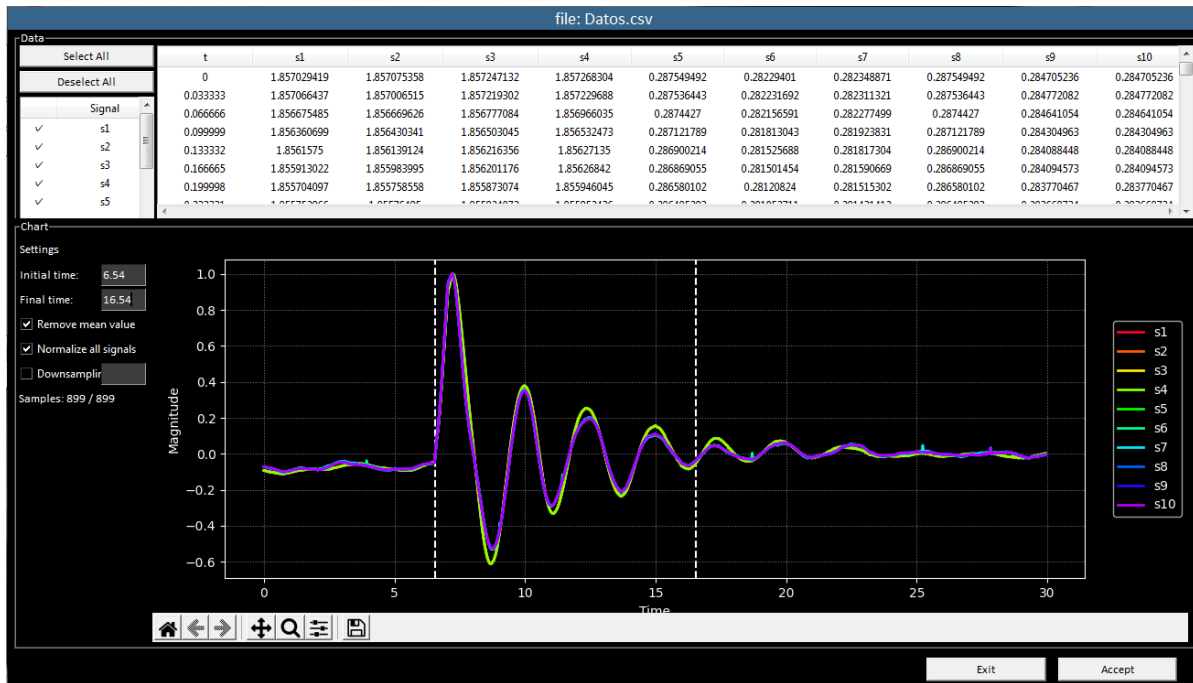


Figura 2.9: Ventana para seleccionar archivo de entrada

- *Casilla 3*: indica si se habilita normalizar la señal a la unidad. Esto es, tomando en cuenta le punto de la señal donde alcanza mayor magnitud, ese punto se normaliza a la unidad (1) y los demás puntos de la señal se hacen relativos al punto normalizado. Si el análisis se tiene en *Single-Channel*, este proceso se hace independientemente q cada señal. Si el análisis se tiene en *Multi-Channel*, este proceso se realiza evaluando todas las señales y considerando el punto de mayor magnitud, todas las demás señales se hacen relativas a este punto.

Una vez habiendo llenado todos los elementos de configuración necesarios en la ventana principal, es posible tener una pre-visualización de la señal bajo estudio con la configuración propuesta, esta se visualiza a través de la ventana *Data check* desplegada por el boton *Edit*.

Como se puede observar en la figura 2.9, se muestran todas las señales seleccionadas, también se muestran todos los valores de la señales en el cuadro superior de la derecha. En la parte inferior derecha se muestra la señal normalizada con 2 líneas verticales las cuales indican el rango de tiempo que se va a analizar (de 6.45 a 16.54), el cual se estableció mediante las entradas manuales en esta ventana, las cuales son independientes de la configuración de la ventana inicial, sin embargo, si en la parte inferior se le da clic al botón aceptar, la configuración establecida en la ventana *Edit* pasa a cambiar los datos en la ventana principal. Si se da clic al boton *Exit* la ventana se cerrara sin modificar información alguna en a ventana principal.

En esta venta de pre-visualización sirve para ver gráficamente la(s) señal(es), seleccionar los elementos que se van a analizar y con ello una mayor flexibilidad en la lectura de datos, sin tener que modificar el archivo de entrada.

2.5. Visor de resultados

Una vez habiendo completado la configuración en la ventana principal, de acuerdo a los requerimientos del usuario, para ejecutar el método de análisis se debe de hacer clic en el botón *RUN*. Si existe algún error o inconsistencia aparecerá un mensaje que indicara el problema, basta con cerrar la ventana informativa, corregir el error y volver a correr. Al ejecutar el programa, se hará el análisis y se mostraran numérica y gráficamente los resultados, todo esto en la sección de resultados en la ventana principal. En la parte izquierda se muestran los resultados numéricos, mientras que en la derecha las gráficas respectivas, ambas partes están correlacionadas para mostrar la influencia de los modos o datos calculados en la aproximación de la señal.

En la primer sección de resultados se muestran los tiempos de ejecución y fecha, las cuales son informativas para conocer el tiempo de ejecución parcial y total del programa. Estos resultados se muestran en el siguiente orden:

- *Last RUN (data-time)*: es la fecha y hora en que se ejecuto por ultima vez la aplicación. Se muestra el día /mes/año hora:minuto:segundo, en que se ejecuto el programa. Cada que se ejecuta el programa, este dato combaría, actualizando los datos.
- *Method execution time (s)*. Es el tiempo (en segundos) en el que, únicamente el método de análisis llega a la solución.
- *Total execution time (s)*. Es el tiempo total (en segundos) de ejecución del programa (recompilación de datos, análisis de la(s) señal(es), solución y carga resultados gráficos).

En la parte inferior se encuentran los botones *Select all* y *Deselect all*, los cuales sirven para de/seleccionas todos los modos de la señal para ser o no considerados en los resultados gráficos.

En la parte izquierda de la sección *Results* se encuentra un cuadro de datos, el cual muestra numericamente los parámetros calculados dinámicos de la señal bajo estudio, lo cuales se muestran en el siguiente orden:

- *Selection*: esta columna indica cuales de los modos calculados están presentes o considerados en la representación gráfica. Si el modo esta seleccionado se muestra el símbolo ✓, si no esta seleccionado se muestra en blanco.
- *Mode*: esta columna muestra la numeración de forma ascendente los modos calculados.
- *Type*: esta columna indica el tipo de modos de oscilación, los cuales pueden ser:
 - *Inter-Area*: en un rango $0.10 \leq \text{frecuencia} < 0.80\text{Hz}$.
 - *Local*: en un rango $0.80 \leq \text{frecuencia} < 2.00\text{Hz}$.
 - *Intra-Plant*: en un rango $2.00 \leq \text{frecuencia} < 3.00\text{Hz}$.

Cuando el rango es $0.10 > \text{frecuencia} \geq 3.00\text{Hz}$, se mostrara un guión medio (-), dado que el rango de interes es de 0.10 - 0.80 Hz. (oscilaciones de baja frecuencia) tipo *Inter-Area*.

- *Frequency*: esta columna muestra la frecuencia calculada (\hat{f}_i) en Hertz (Hz).

- *Amplitude*: esta columna muestra la amplitud calculada (\hat{A}_i) de cada componente de señal calculada, las unidades de esta columna dependen de las unidades de la(s) señal(es) en el archivo de entrada.
- *Damping*: esta columna muestra el atenuamiento calculado ($\hat{\sigma}_i$) de la señal.
- *Damping Ratio*: esta columna muestra la relación de atenuamiento calculado ($\hat{\zeta}_i$) de la señal en por ciento (%).
- *Phase*: esta columna muestra la fase de desplazamiento calculada ($\hat{\theta}_i$) en grados (°).
- *Poles Zeros*: esta columna muestra los polos y ceros del sistema en el plano complejo.
- *Energy*: esta columna muestra la energía calculada (\hat{E}_i).

2.5.1. Aproximación de señales

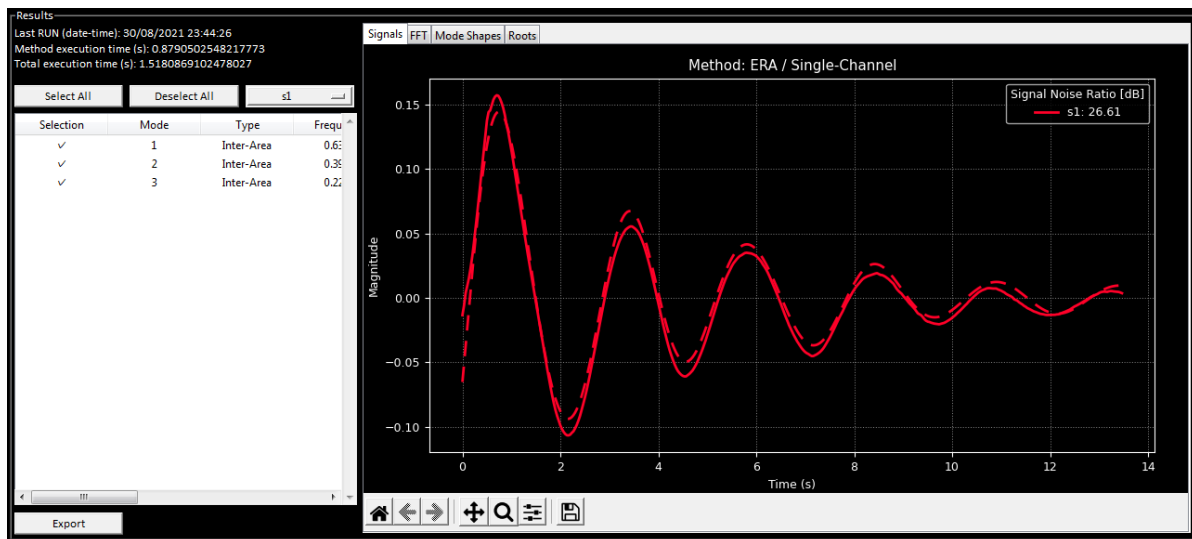
La primera de las pestañas del libro de resultados gráficos, se muestra la aproximación de las señales calculadas a la señal original. Esta señal se muestra como la suma de los modos calculados y seleccionados en el cuadro de datos en la parte izquierda. En la figura 2.10 se tiene el resultado de método para la aproximación de la señal, la cual se compone de 3 modos y en la figura 2.10a están seleccionados todos los modos, y en la figura 2.10b solamente está seleccionado el modo de mayor energía, lo cual se puede observar que la aproximación no pierde mucha igualdad de la señal original.

2.5.2. Espectro de Fourier

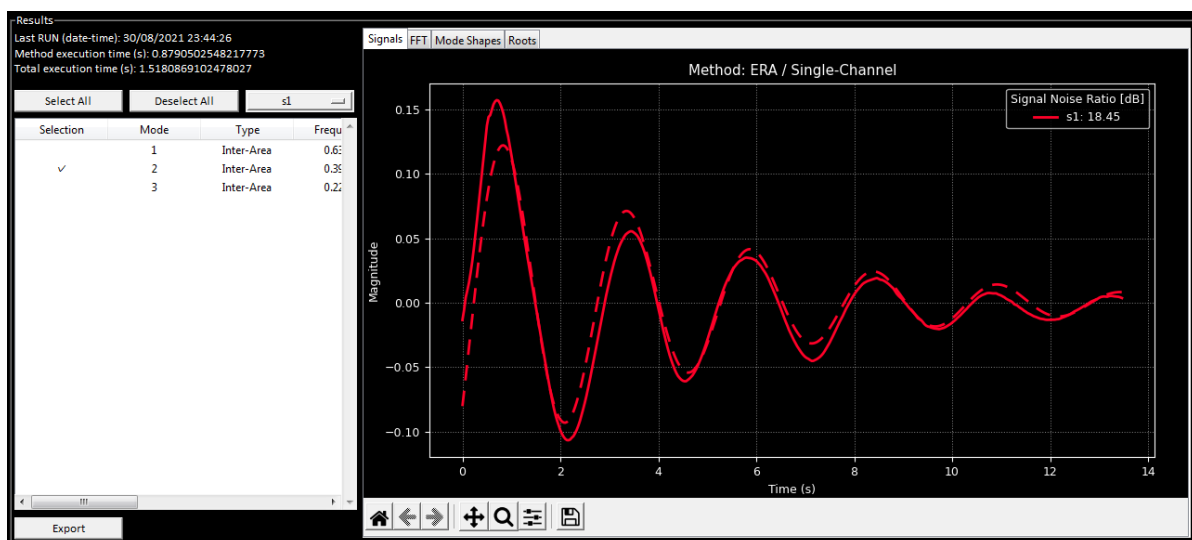
La segunda de las pestañas del libro de resultados gráficos, se muestra el espectro de Fourier, la cual se muestra en la figura 2.11. A pesar que el cuadro de datos tiene la opción de elegir los modos, este no afectará esta gráfica, esto porque es un proceso aparte del método de solución. Esta gráfica es para la orientación de las frecuencias con presentes en la señal que se está analizando.

2.5.3. Formas de modos

Para poder gráfica este ejemplo es necesario cambiar de *Single-Signal* a *Multi-Signal*, esto para trabajar con varias señales y poder general las formas de modos. La tercera pestaña del libro de resultados gráficos, se muestran las formas de modos calculados, los cuales son los vectores de todas las señales en el modo i mostrados en un plano polar, considerando la señal de mayor magnitud como el vector unitario de referencia en magnitud y ángulo. En la figura 2.12 se tiene el resultado de las formas de modos de la aproximación de la señal, la cual se compone de 3 modos y en la figura 2.12a están seleccionados todos los modos, y en la figura 2.13b solamente está seleccionado el modo de mayor energía, lo cual se puede observar que solo muestra 1 modo.



(a) Ventana con 3 modos calculados y 3 seleccionados.



(b) Ventana con 3 modos calculados y 1 seleccionado.

Figura 2.10: Sección *Results-Signals*

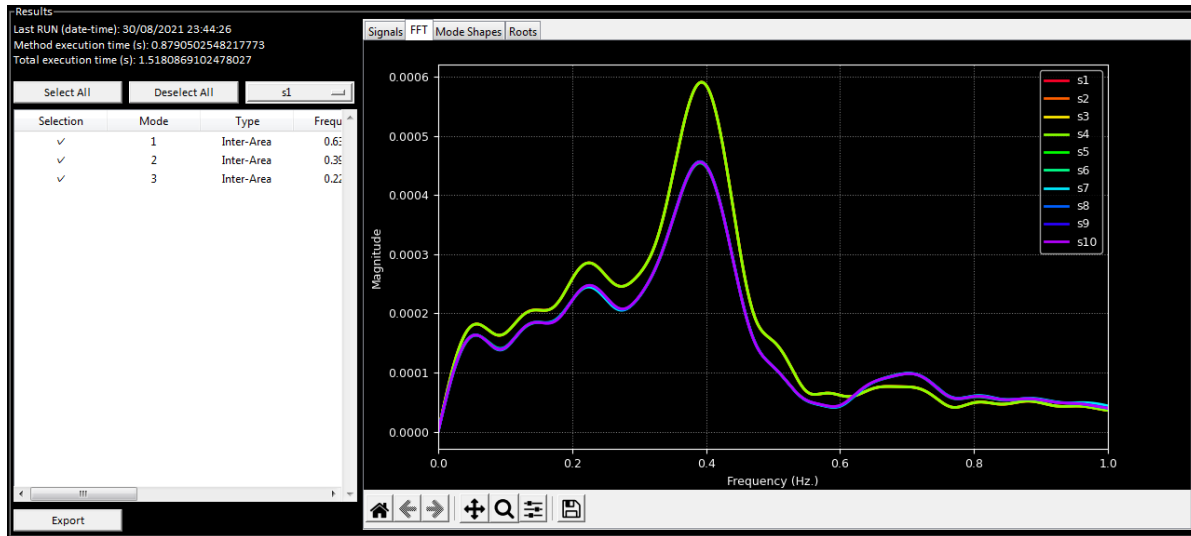


Figura 2.11: Sección *Results-Fourier Spectrum*

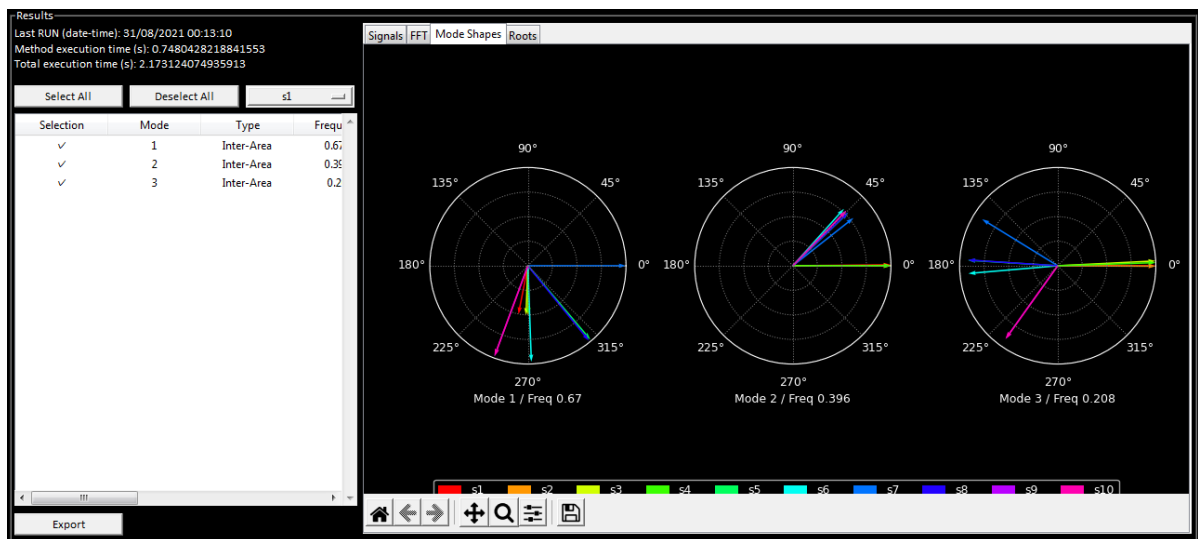
2.5.4. Polos y Ceros

La cuarta pestaña del libro de resultados gráficos, se muestran los polos y ceros calculados, xxxxxx. En la figura 2.13 se tiene el resultado de los Polos y Ceros de la aproximación de la señal, la cual se compone de 3 modos, en la figura 2.13a están seleccionados todos los modos, los cuales están denotados en la gráfica por un punto y son modos estables..

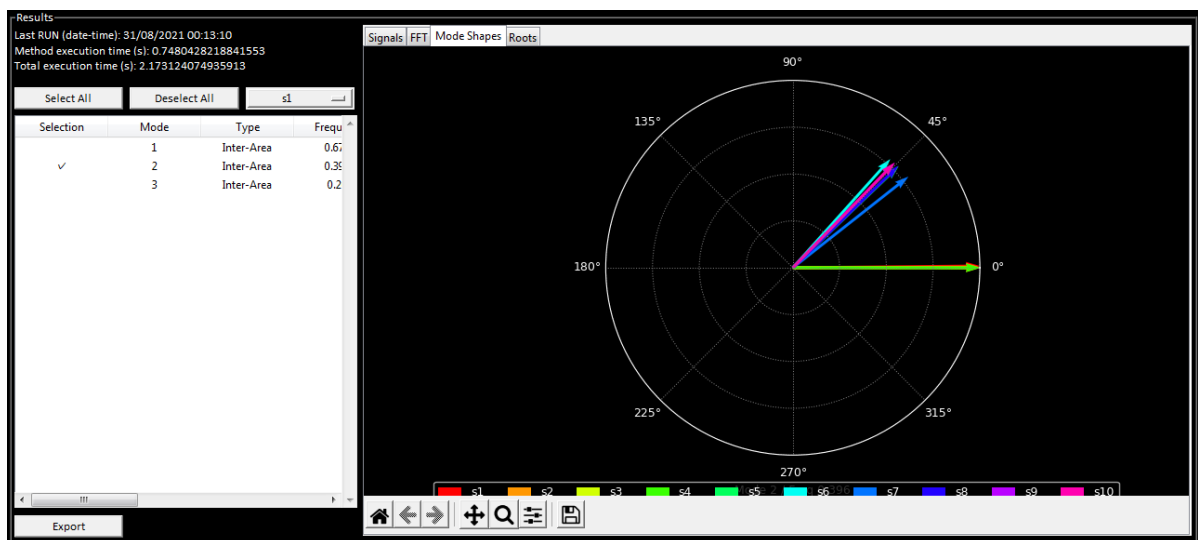
En la figura 2.13b se incremento el umbral de energía a 99.1 %, esto para generar 21 modos y observar como algunos son inestables (están fuera del círculo unitario), los cuales se marcan con una X, como es el caso de los modos 6, 10 y 13.

2.6. Exportar resultados

La exportación de resultados se realiza mediante el botón *Export* en la parte inferior izquierda de la ventana principal, el cual creara un libro de Excel XLSX con la ultima información de solución de la aplicación. El archivo se creara en la misma dirección en que se encuentra la aplicación y el archivo se nombrará *results_ddmmyyyy_hhmmss.xlsx*, en donde *ddmmyyyy_hhmmss* es el día, mes, año, hora, minuto y segundo respectivamente en que se genero el archivo. El archivo de resultados muestra la información numérica del análisis de la(s) señal(es). El formato del libro excel se muestra en la figura 2.14, en el que esta la configuración y criterios para el análisis de la señal y en la parte inferior todos lo parámetros dinámicos calculados.

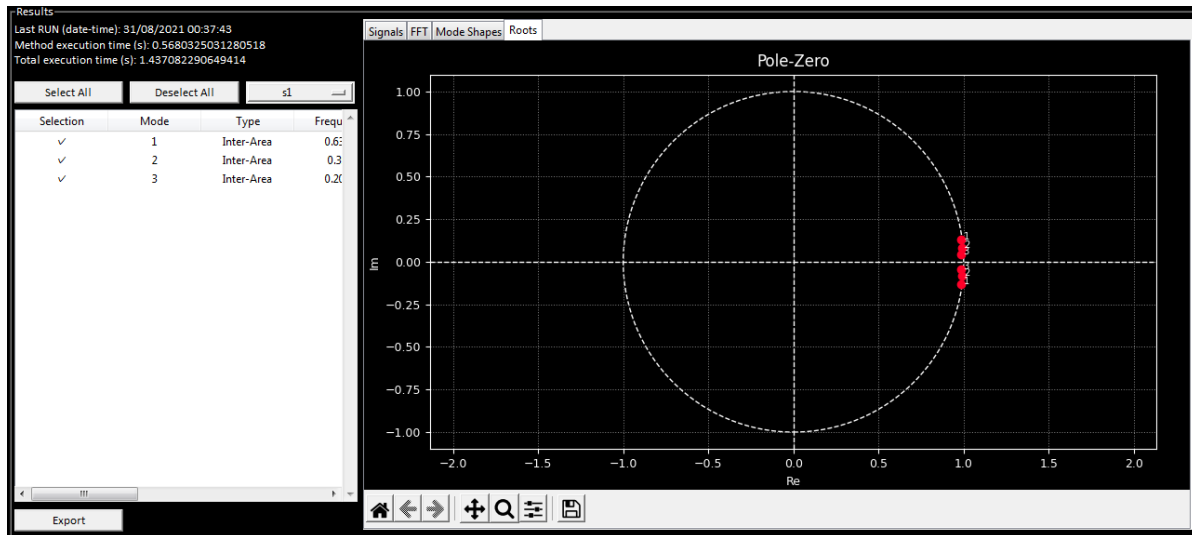


(a) Ventana con 3 modos calculados y 3 seleccionados.

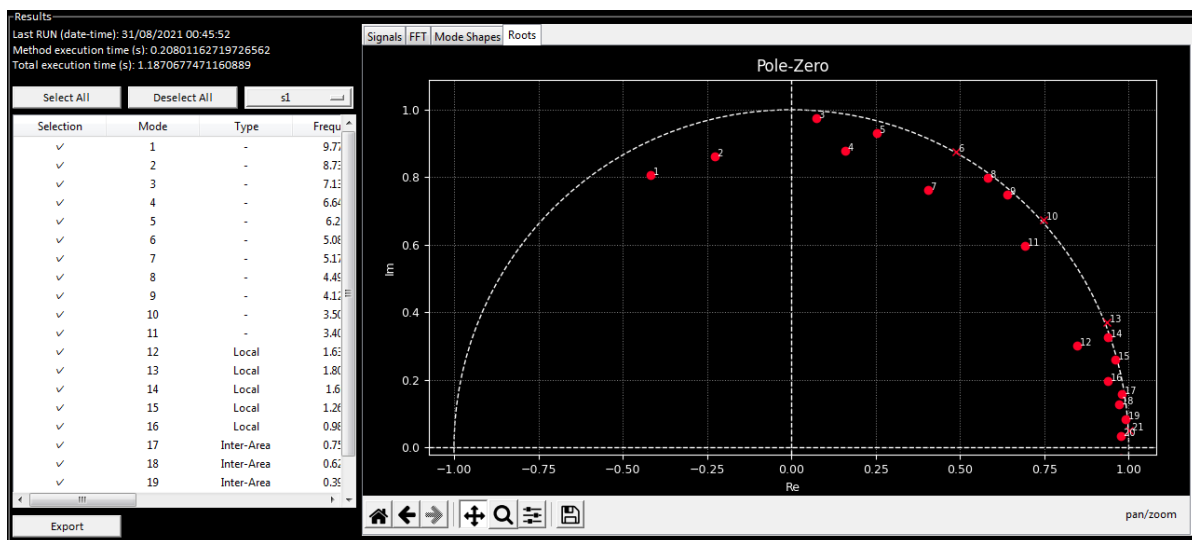


(b) Ventana con 3 modos calculados y 1 seleccionado.

Figura 2.12: Sección *Results-Modal Shapes*



(a) Ventana con 3 modos calculados y 3 seleccionados.



(b) Ventana con 21 modos calculados y 21 seleccionados.

Figura 2.13: Sección *Results-Poles Zeros*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Identification of Electromechanical Modes Driven by Ringdown Analysis										
2	Time-Date:	02Sep2021 - 12:24:26									
3											
4											
5											
6	Settings										
7	File name:	C:/Users/Dell/Dropbox/Tesis_Rodrigo_Reyes/Projects/GUI_Ringdown_Analysis_ToolBox_2/Datos_ringdown.csv									
8	Signals:	s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8, s9, s10									
9	Method:	ERA Single-Channel									
10	Time Interval:	start: 0.0 / end: 13.466532									
11	Frequency Interval:	min: 0.0 / max: 1.0									
12	Sliding window:	False -									
13	Downsampling:	False - 1									
14	Energy threshold:	92%									
15	Normalize signal:	True									
16											
17											
18	Results										
19	Method time (s):	1.3300020694732666									
20	Total time (s):	1.8110027313232422									
21											
22		Signal	Mode	Type	Frequency	Amplitude	Damping	Damping ratio	Phase	Pole-Zero	Energy
23		s1	1	Inter-Area	0.604463434	0.106836116	-0.270951127	-2.606640434	-1.128092388	45467611, 0.12512411	0.616631715
24		s1	2	Inter-Area	0.395178323	0.915899938	-0.210858626	-1.326186544	-2.086560543	84434984, 0.08209161	106.0326394
25		s1	3	Inter-Area	0.221483209	0.313967858	-0.333925842	-1.177093519	-0.817733355	62211754, 0.04585696	39.66600915
26		s2	1	Inter-Area	0.6288474	0.109243096	-0.297796037	-2.980466986	-1.635817564	61952629, 0.13002661	0.595699457
27		s2	2	Inter-Area	0.396568572	0.929489546	-0.213775953	-1.349265065	-2.14831562	92209835, 0.08237171	108.4381683
28		s2	3	Inter-Area	0.22638233	0.165565947	-0.221546632	-0.798229563	-0.828095027	2795618, 0.047046451	10.55812319
29		s3	1	Inter-Area	0.604299757	0.106745537	-0.271883254	-2.614899551	-1.123813302	87601775, 0.12508655	0.61592007
30		s3	2	Inter-Area	0.395137175	0.916760559	-0.210985721	-1.326847731	-2.086037363	134835588, 0.0820827	106.2541256
31		s3	3	Inter-Area	0.221316626	0.312417443	-0.333025393	-1.173036488	-0.816469215	65170968, 0.04582381	39.33437075
32		s4	1	Inter-Area	0.60410319	0.107000084	-0.272394981	-2.618969021	-1.120710157	19311086, 0.12504398	0.619263833
33		s4	2	Inter-Area	0.395150766	0.916727292	-0.211023711	-1.327132288	-2.086241896	66952095, 0.08208541	106.2392512
34		s4	3	Inter-Area	0.221359609	0.312444132	-0.333123168	-1.173608778	-0.817261485	12605815, 0.04583261	39.32581457
35		s5	1	Local	0.878567762	0.416011503	-1.363857912	-19.07060726	1.899540641	729255391, 0.1748366	4.425780719

Figura 2.14: Formato - Exportar resultados

Bibliografía