

A.1 INTRODUCCIÓN

Se presenta un conjunto de programas de cómputo para PC y rutinas de Matlab (Mathworks Inc.) para automatizar tareas comunes en el área de identificación de sistemas con aplicación en la identificación de parámetros dinámicos en sistemas estructurales.

Este trabajo es parte de la tesis “Análisis y Comparación de Técnicas de Identificación de Parámetros Dinámicos en Sistemas Estructurales” presentada ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México por Marcial Alberto Contreras Zazueta en Marzo de 2009.

Los tópicos cubiertos por el software presentado son:

1. Gestión de registros (descompresión, pre visualización y ordenamiento).
2. Procesamiento de señales (correcciones de escala, cálculo del espectro y filtrado).
3. Identificación con técnicas no paramétricas (Función de Transferencia y Coherencia).
4. Identificación con técnicas paramétricas (ARX, ARMAX, Box-Jenkins, Output Error y State Space). Se utiliza rangos de búsqueda en el orden de los polinomios y los resultados se presentan en diagramas de estabilización.

El software presentado tiene interfaz gráfica y se agrupa en tres programas independientes, el tópico 1 es cubierto por *IdEst – Base de Registros* (presentado en la sección A.2 de este anexo), los tópicos 2 y 3 por *IdEst - Editor* (secciones A.3 y A.4) y el tópico 4 por *diagest* dentro de Matlab (presentado en la sección A.5). El código de este software se presenta en la sección A.6.

El software presentado puede operar con registros de cualquier tipo, pero por simplicidad aquí se asume que las señales son registros de aceleraciones medidas a lo largo del tiempo.

A.2 GESTIÓN DE REGISTROS

El programa para la gestión de registros fue realizado como parte del servicio social del autor dentro del programa “Instrumentación Sísmica del Edificio Administrativo” a cargo del Dr. Jesús Valdés en 2007, pero se presenta aquí como complemento a las rutinas de identificación de sistemas. El propósito principal del programa *IdEst – Base de Registros* es servir como base de datos de los registros obtenidos en algún proyecto de instrumentación permanente. En la Figura A.1 se puede ver la ventana principal del programa. Esta ventana consta de dos partes: El listado de carpetas a la derecha y la lista de archivos en la carpeta seleccionada a la izquierda. En la figura comentada también se muestran la vista previa de una señal que ha sido seleccionada del listado de la carpeta con nombre *6 de Mayo 2005*.

El programa *IdEst - Base de Registros* además ofrece la capacidad de automatizar la descompresión de archivos con extensión EVT haciendo uso de las librerías suministradas por Kinemetrics Inc. Los archivos EVT son paquetes comprimidos de las señales registradas durante un evento (de ahí el nombre) por instrumentos de este fabricante; pueden contener cualquier número de canales, donde cada canal puede contener el registro de aceleraciones o desplazamientos según el tipo de sensor. Al

descomprimir un archivo EVT se obtiene un archivo por cada canal cuyos nombres se toman del archivo EVT pero la extensión sigue la sintaxis de (A-1). Se obtienen además, dos archivos de texto con información de los parámetros del sensor y del evento registrado.

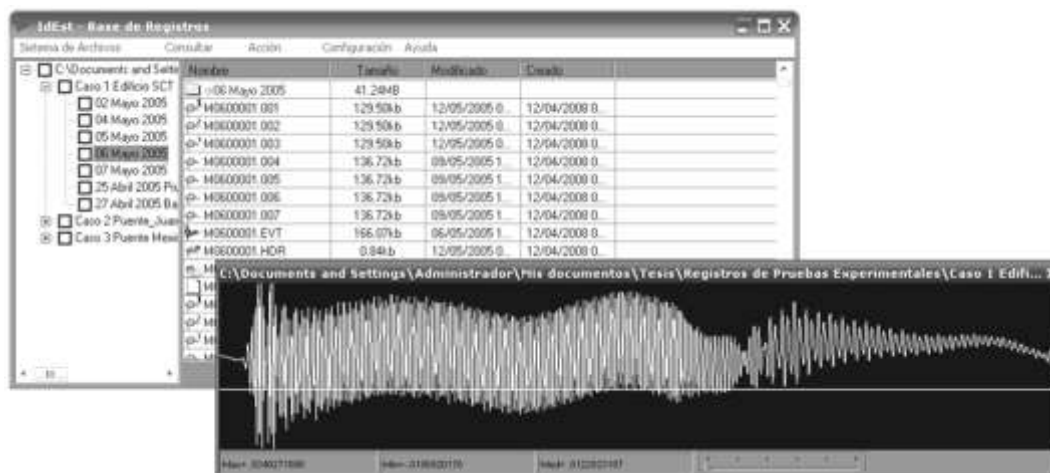


Figura A.1 Ventana principal de *IdEst – Base de Registros*, con la vista previa de una de las señales.

Otras características de *IdEst – Base de registros* son que permite realizar consultas bajo varios criterios (fecha de creación, canal, etc.) al sistema de archivos de registros descomprimidos y obtener el valor máximo y mínimo de cada una de las señales dentro de una lista (definidos como valores característicos). Esta última función ha probado ser útil para la calibración de umbrales de disparo para sensores en un proyecto de instrumentación permanente; por otra parte se facilita la búsqueda de registros de eventos con un nivel determinado de aceleraciones (discernir entre registros de vibración ambiental y registros de un sismo sin necesidad de abrir los archivos). Estas funciones debe seleccionarse la carpeta o carpetas de interés en la ventana principal y utilizar el comando *Consultar – Carpetas*. Aparece una ventana (Figura A.2) con todas las señales de las carpetas seleccionadas; por ejemplo en la siguiente figura se han solicitado los valores característicos de las señales en la consulta.

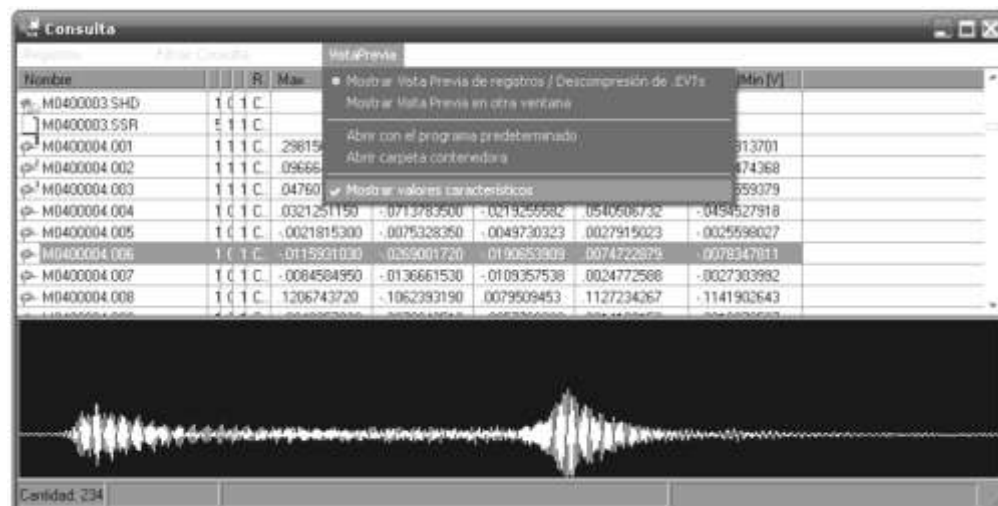


Figura A.2 Ventana de consulta de la base de registros. Se muestran los valores característicos de las señales y se traza la vista previa de la señal seleccionada.

Los comandos para *IdEst – Base de registros* están disponibles en las barras de menús. Los comandos son de nombre homónimo a su propósito y están agrupados de forma que puedan ser encontrados intuitivamente, para así facilitar su uso.

Tras la instalación, la computadora vincula los archivos de las señales al paquete y les asigna íconos distintivos en base a la extensión del archivo. Las extensiones de archivo siguen la siguiente sintaxis:

$$\text{nombre_del_archivo.\&\#\#p} \quad (\text{A-1})$$

donde **&** es una letra mayúscula desde A hasta L que indica la grabadora de donde proviene la señal. Este carácter corresponde a la primera letra del campo *Station Id* definido en los parámetros del aparato. En caso de que no se haya asignado un nombre el valor es cero.

es un número entre 01 y 24 que indica el canal al que pertenece el registro. Un canal puede ser la dirección de registro en un sensor triaxial (X=01, Y=02, Z=03) o pertenecer a un sensor uniaxial externo. La presencia del carácter **p** junto con el color azul del ícono, indican que el registro ya fue procesado.

En el menú *Abrir elementos seleccionados en el Editor* del menú *Acción* de la ventana principal es posible enviar las señales seleccionadas a el editor que se presenta en la siguiente sección. También es posible abrir una señal automáticamente, al dar doble clic en su archivo en el explorador de Windows.

A.3 PROCESAMIENTO DE SEÑALES

El programa ***IdEst - Editor*** está inspirado en DegraA4 de M. Ordaz y Montoya Dulché, pero adiciona la capacidad de trabajar con listas de archivos sin límite en la duración de los registros y generar reportes sobre una señal o una comparación entre dos señales.

La Figura A.3 muestra la ventana principal del *Editor* con una lista de registros y el gráfico de uno de ellos. Los comandos son accesibles mediante la barra de herramientas mostrada en la parte superior de la ventana principal (se discute más adelante).

El programa es capaz de manipular uno o varios registros. Si se requiere manipular varios registros de forma automática, es necesario abrirllos en una lista como la mostrada en la Figura A.3 Al hacer clic en la caja de la izquierda de cada registro en la lista, se muestra el gráfico de la señal correspondiente en una ventana independiente.

En la parte superior de la ventana del gráfico se indica de izquierda a derecha el valor máximo, mínimo, la media y el tiempo entre los puntos máximo y mínimo de esta señal. En el extremo derecho se leen el valor en el tiempo y la aceleración para la posición del cursor.



Figura A.3 Ventana principal del editor con un registro abierto y una lista de archivos.

En la barra de título de cada registro se lleva un *historial* de los comandos utilizados previamente por medio de dos caracteres entre corchetes de la forma [xx] que se agregan de izquierda a derecha y cuyo significado se indica en la Tabla A.1 Por ejemplo en la Figura A.1 puede saberse que en la señal mostrada ya se definió la tasa de muestreo [SP].

Icono	Descripción del comando	[xx]
	Abrir un registro ya sea en formato ascii o Degra.	
	Abrir el último registro utilizado.	
	Abrir varios registros y colocarlos en una lista. Los comandos enviados a las listas se aplican por igual a todos los elementos con excepción del filtrado.	
	Abrir un archivo de consulta generado por el <i>IdEst – Base de Registros</i> . Los archivos son colocados dentro de una lista.	
	Importar uno o varios registros (<i>Time History</i>) de un archivo de texto exportado por SAP2000. Las señales se colocan en una lista.	
	Guardar los cambios en la o las señales seleccionadas.	[Gu]
	Copiar el registro de la ventana activa a la memoria, con el propósito de sobreponerlo a otro registro.	[CP]
	Crear un duplicado del registro actual en otra ventana. El título de la nueva ventana comienza con “Clon de”	[CL]
	Pegar el registro copiado en la memoria sobre el registro actual.	[Pg]
	Definir la tasa de muestreo en muestras por segundo (sps). Este valor se muestra siempre en la parte inferior izquierda de la ventana principal.	[SP]
	Corrección por línea base.	[LB]
	Diezmado de la señal. Permite reducir artificialmente la tasa de muestreo. Si el valor de Diezmado es 1 no hay cambios; si es 2 el programa conserva cada segundo dato. Si el valore es 5 se toma cada quinto dato, etcétera.	[Dz]
	Escalar los datos. Multiplica todo el registro por un valor constante. La opción predeterminada (392.4) es el factor para transformar los registros de un sensor con escala completa de 1g equivalente a 2.5 Voltios y ganancia de 1, a gals.	[Es]
	Tabla A.1 Comandos de la barra de herramientas de <i>IdEst - Editor de Registros</i>.	








	Agregar ceros al inicio del registro. El valor añadido se mide en segundos. Este comando es útil en la sincronización de señales. Para las listas, este comando es accesible vía el menú contextual y se aplica únicamente a la ventana activa.	[Cr]
	Se calcula la transformada rápida de Fourier de la señal y se muestra el módulo del número complejo (amplitud). No hay límite en el tamaño de la señal pues el programa agrega ceros al final para ajustarse al siguiente número N que pueda expresarse como una potencia entera de dos $N=2^p$. Para las listas, este comando es accesible vía el menú contextual y se aplica únicamente a la ventana activa.	[FT]
	Filtrado de la señal. Para las listas, este comando es accesible vía el menú contextual y se aplica únicamente a la ventana activa.	[Ft]
	Identificación no paramétrica. Se abre una ventana donde se ingresan los parámetros necesarios para calcular la función de transferencia o la coherencia entre dos señales (véase la siguiente sección).	
	Muestra la parte seleccionada del registro, en otra ventana.	
	Mostrar y editar los parámetros para el filtrado y la transformada de Fourier.	

Tabla A.1 (cont.) Comandos de la barra de herramientas de *IdEst - Editor de Registros*.

Otros comandos son accesibles desde el menú contextual del clic derecho sobre la gráfica. Por ejemplo el programa permite generar reportes impresos para uno o un par de registros sobrepuestos. En dicho reporte se incluye información sobre el archivo y sobre los valores característicos de la señal, además de un gráfico de alta calidad de la señal y del espectro de amplitudes de Fourier.

A.4 IDENTIFICACIÓN NO PARAMÉTRICA

Dentro de *IdEst - Editor de Registros* se incluye un módulo para calcular la función de transferencia o bien la coherencia suavizada entre dos señales, accesible al dar clic al ícono  de la barra de herramientas. En la Figura A.5 se presenta la ventana de este módulo; los comandos están agrupados en pestañas para su mejor organización.

Para utilizar este módulo es necesario tener dos o más señales procesadas abiertas en el *Editor* y seleccionar una como señal de entrada y otra como señal de salida en la pestaña titulada *Datos*. Por ejemplo en la Figura A.4 se muestra un detalle de la pestaña *Datos* donde se ha seleccionado la señal BL015.001p como salida y se muestran desplegadas todas las señales disponibles para fungir como señal de entrada.



Figura A.4 Detalle de la pestaña Datos en el módulo de identificación no paramétrica del *Editor*.

En seguida, se presiona el botón de cálculo en la pestaña correspondiente según la técnica que se decaea aplicar. En la ventana se trazará el gráfico de la función calculada y en la barra de estado se podrán leer las coordenadas del cursor en frecuencia [Hz] o bien el periodo T (en segundos) y la ordenada según sea el caso.

En la pestaña *Opciones* se pueden modificar los parámetros de suavizado sin necesidad de recalcular la función. Los efectos del suavizado indicado se aprecian en tiempo real. El suavizado puede definirse como un procedimiento para alisar el gráfico de la función y así facilitar la identificación visual de picos.

En cualquier momento la información generada puede ser guardada como imagen o archivo de texto con los botones *Copiar Imagen* y *Guardar Función* respectivamente. La función también puede copiarse al portapapeles con el botón del ícono copiar. De usarse el botón *Copiar Imagen*, se solicitará el nombre del archivo para guardarla y en el archivo generado se trazarán los valores del eje horizontal (frecuencia). Noté que en la pestaña *Opciones* está disponible la opción de cambiar el esquema de colores del gráfico.

Para facilitar la identificación en los gráficos de la función de transferencia y la coherencia, el programa permite seleccionar con el cursor una ventana dentro de la cual este encuentra el máximo y tras ser ratificado por el usuario (botón *Zoom y Amortiguamiento* en la Figura A.5), la información es almacenada en una lista en la parte inferior de la ventana. Esta información puede utilizarse para el cálculo del amortiguamiento modal según la amplitud de la gráfica de la función de transferencia como se describe en la referencia (Vázquez, Suárez y López) o bien con un método alternativo desarrollado por Taborda y Ordaz que estima el amortiguamiento en base a un ajuste de una función analítica a la función de transferencia experimental (Taborda y Ordaz, 2003). Una evaluación de estos procedimientos se presentó en la referencia Valdés y Contreras, 2007.

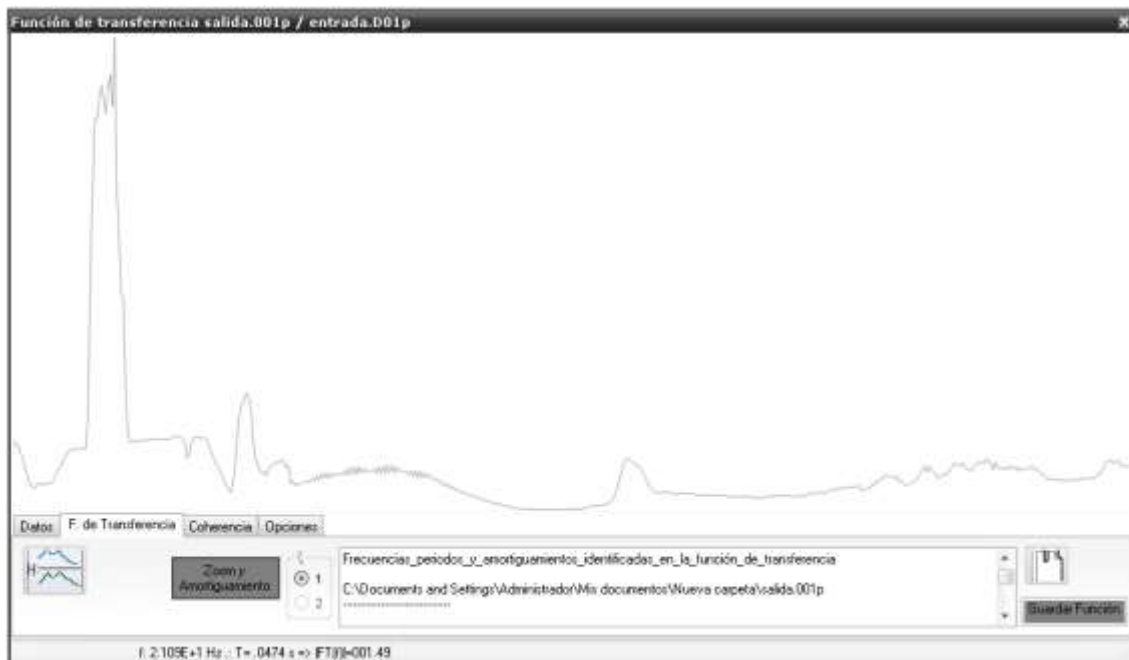


Figura A.5 Ventana para el cálculo de la Función de Transferencia.

A.5 IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA

Para la identificación paramétrica se proporciona un conjunto de *scripts* o rutinas para Matlab y una interfaz gráfica que simplifican el proceso de identificación de parámetros dinámicos por medio de

las técnicas ARX, ARMAX, Box-Jenkins, Output Error y State Space al reducir el trabajo necesario por parte del usuario en dos actividades:

1. Encontrar el modelo con el máximo coeficiente de ajuste dentro de un conjunto de modelos derivados de rangos definidos para el orden de sus polinomios y
2. producir diagramas de estabilización con las frecuencias identificadas por los modelos ensayados y analizar estadísticamente el histograma de frecuencias de estos valores.

En la Figura A.6 se muestra dicha interfaz, en la cual se ingresan los parámetros necesarios para trazar los diagramas de estabilización como los presentados en el Capítulo 6 de la Tesis citada.

Para ejecutar *diagest* es necesario cambiar el directorio de trabajo de Matlab a el que contenga los archivos con extensión **.m** y **.fig** incluidos en el disco anexo o en el repositorio de internet. Y tener instalado el módulo de identificación de sistemas (*system identification toolbox*). En la línea de comandos se ejecuta la orden `>>diagest` e inmediatamente aparece información sobre la versión del programa y la interfaz gráfica para la identificación paramétrica. Véase la Figura A.6. En el tope de la ventana se indica el nombre del ensaye a calcular (en este caso EdifSCT).

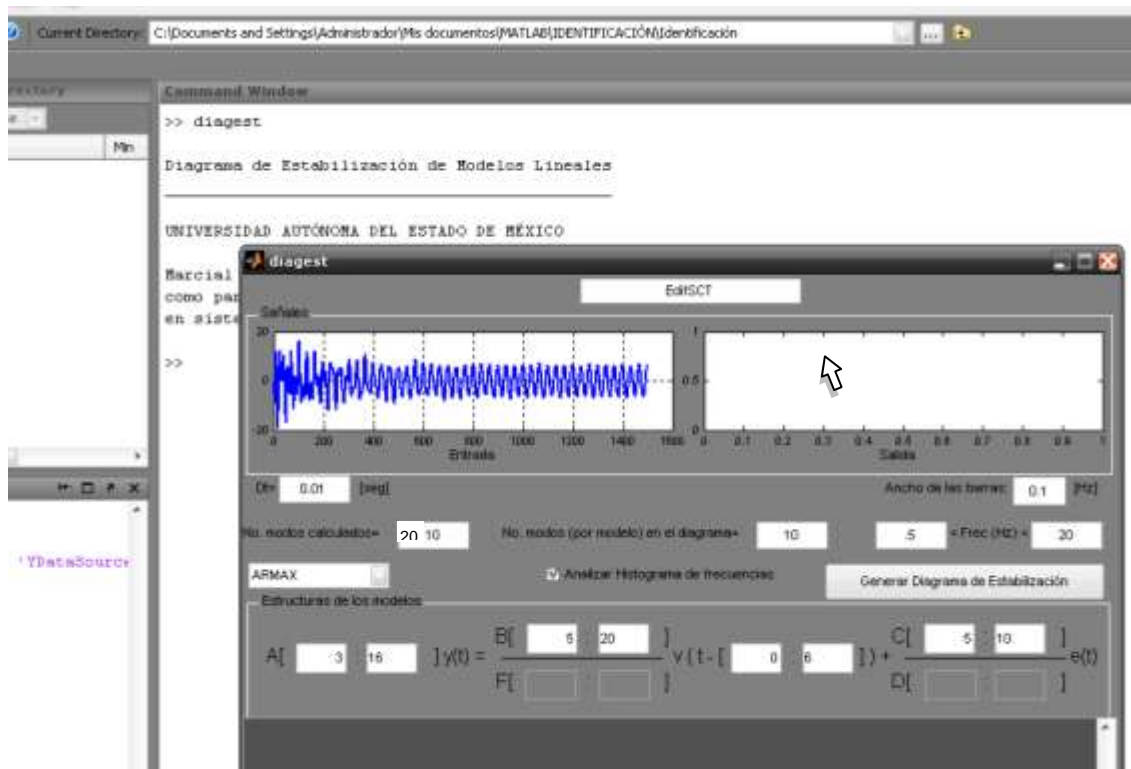


Figura A.6 Interfaz gráfica de *diagest* dentro de Matlab.

A continuación se indican las señales de Entrada y Salida dando clic en las gráficas, haciendo esto aparece un cuadro de diálogo para seleccionar el archivo. En el ejemplo de la Figura A.6 ya se ha elegido la señal de entrada. El siguiente paso es definir el valor de la velocidad de muestreo en segundos (Dt), el número de modos a calcular por modelo y de estos los que deban incluirse en el diagrama (recuérdese que los conjugados no se trazan). En seguida se define el rango de frecuencias para el histograma y el Ancho de las barras (diferencia entre marcas de clase).

Por último se define el tipo de modelo (ARMAX en este caso) desde la lista desplegable y los rangos de búsqueda para los diferentes órdenes en los polinomios según sea la estructura del modelo. Se presenta una figura de la ecuación general (1.21) de los modelos polinomiales para facilitar la interpretación de estos rangos.

Al dar clic al botón de cálculo se abrirá una ventana en la que se traza el diagrama de estabilización conforme avanza el proceso de cálculo. El título de este gráfico es el indicado en la interfaz gráfica más los rangos de búsqueda. Cuando el cálculo termina, en la misma ventana se muestra un gráfico con el ajuste de los modelos individuales (a la derecha) y un histograma de frecuencias de los puntos trazados en el diagrama. Si se dejó marcada la opción de “Analizar histograma de frecuencias” en la interfaz gráfica, entonces aparecerá otra ventana (Figura A.7) con el mismo histograma de frecuencias, en la cual se pueden calcular los parámetros estadísticos de secciones específicas del histograma.

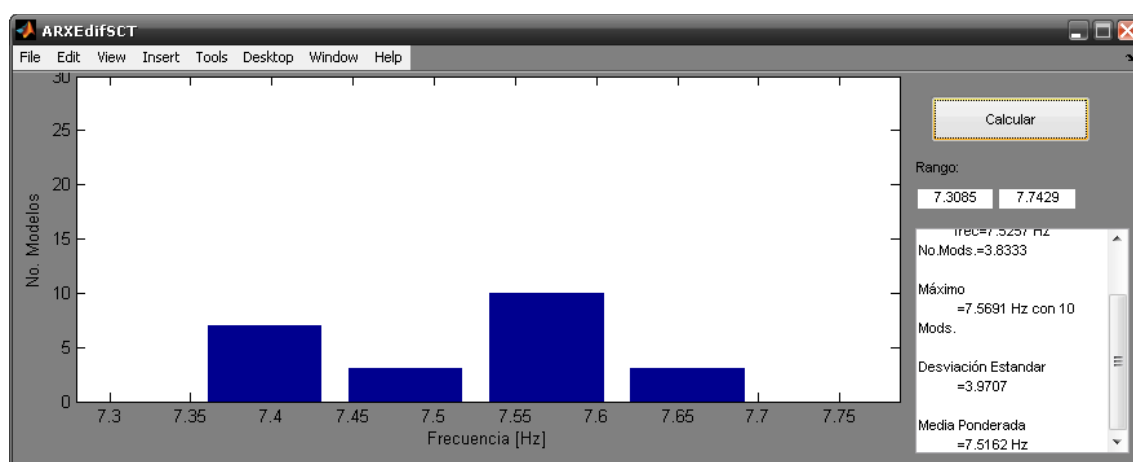


Figura A.7 Cálculo de parámetros estadísticos de los modos identificados por el diagrama de estabilización.

Como precaución contra la pérdida de datos, al término del proceso de cálculo se guardan varios archivos con la información generada en el directorio de trabajo de Matlab. Se trata de un archivo en formato HTML (página web) con un resumen del ensaye (nombre, rangos de búsqueda y mejor modelo) y un archivo de texto con toda la información generada (Los encabezados de estos datos son los indicados en el archivo HTML).

Se genera además un archivo con extensión **.fig** que almacena la figura del diagrama de estabilización en formato de imagen de Matlab y un archivo de texto con el histograma de frecuencias. La imagen puede ser guardada con cualquier otro formato desde Matlab.

A.6 CÓDIGO FUENTE

El código fuente del software presentado en este trabajo está disponible en el disco anexo y desde el repositorio de internet en la página del proyecto “Identificación Estructural” en sourceforge.net (<http://sourceforge.net/projects/identificacines/>). El código portará la licencia GNU en su última versión (código libre), pero debe citarse la fuente.

El paquete *IdEst* fue desarrollado en Visual Basic.NET 2005 de Microsoft y comprende tres programas una librería y un instalador. El código está profundamente comentado y los nombres de

las funciones y variables corresponden a su propósito. De modo que se evitó el re uso de variables salvo en contadores y variables auxiliares. Las funciones están agrupadas de acuerdo a los objetos que afectan (propósito general, interfaz, operaciones matemáticas, etc.). No se requieren conocimientos avanzados de programación para manipular el código suministrado.