

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL MENDOZA  
Cátedra: Técnicas Digitales III**

Informe de proyecto:

**SPTool – Signal Procesing Toolbox  
Una GUI para Procesamiento de Señales  
en MATLAB**

Alumno: Pablo F. Manuele  
Correo: pablo.manuele@frm.utn.edu.ar  
Año: 2014

## Índice de contenido

1.Resumen.....	1
2.Introducción.....	1
2.1.SPTool: entorno interactivo para procesamiento de señales.....	1
2.1.1.Visión general.....	1
2.2.Abriendo SPTool.....	1
2.3.Navegador de Señales.....	2
2.3.1.Visión general del Navegador de Señales.....	2
2.3.2.Abriendo el Navegador de Señales.....	2
2.4.FDATool.....	3
2.5.Herramienta para Visualización de Filtros.....	4
2.5.1.Conexión entre FVTool y SPTool.....	4
2.5.2.Abriendo la Herramienta de Visualización de Filtros.....	5
2.5.3.Análisis de parámetros.....	5
2.6.Visor de Espectro.....	5
3.Desarrollo.....	6
3.1.Filtrado y Análisis de una señal con ruido.....	6
3.1.1.Visión general.....	6
3.1.2.Importar una señal a la SPTool.....	7
3.1.3.Diseño del filtro.....	8
3.1.3.1.Especificaciones para el filtro pasabanda.....	8
3.1.4.Aplicación del filtro a una señal.....	9
3.1.5.Análisis de espectro en el Visor de Espectro.....	9
3.1.5.1.Creación de un PSD desde una señal.....	10
3.2.Exportación y acceso a los parámetros de un filtro.....	11
3.2.1.Exportando un filtro al área de trabajo de MATLAB.....	11
3.2.2.Acceso a los parámetros de un filtro.....	11

## 1. Resumen

En este trabajo se pretende presentar la herramienta de MATLAB *SPTool – Signal Processing Tool*, como un entorno interactivo de trabajo, que puede ser usado a través de una interfaz gráfica de usuario.

Se realiza primero una introducción a la SPTool, presentando también a las demás herramientas integradas a las que se puede acceder a través de la misma. Estas herramientas son: el Navegador de Señales, la Herramienta para el Diseño y Análisis de Filtros, la Herramienta para la Visualización de Filtros y el Visor de Espectro.

Posteriormente se realiza el diseño de un filtro, el cual será aplicado a una señal compuesta por la suma de una senoidal de 1 kHz y ruido aleatorio, a los fines de observar cómo se recupera tal señal.

Finalmente se mencionan algunas características adicionales para acceder a los coeficientes del filtro desde el área de trabajo de MATLAB.

## 2. Introducción

### 2.1. SPTool: entorno interactivo para procesamiento de señales

#### 2.1.1. Visión general

La SPTool (Signal Processing Tool) es una GUI<sup>1</sup> interactiva para procesamiento digital de señales, usada en:

- Análisis de señales.
- Diseño de filtros.
- Análisis de filtros.
- Análisis de espectros.

Todas estas tareas se pueden realizar usando cuatro GUIs a las que se puede acceder desde la SPTool. Éstas se verán a lo largo de este trabajo y son:

- El *Navegador de Señales*, usado para el análisis señales. Con este se pueden reproducir porciones de señales usando el hardware de audio de la computadora.
- La *FDATool (Filter Design and Analysis Tool)*: usada para el diseño o la edición de filtros digitales FIR e IIR. La mayoría de los métodos disponibles para el procesamiento de señales en la línea de comandos de MATLAB están también disponibles en la FDATool. Adicionalmente, se puede usar la FDATool para diseñar un filtro usando el Editor de Polos/Ceros para ubicar polos y ceros gráficamente en el plano  $z$ .
- La *FVTool (Filter Visualization Tool)*, se usa para el análisis de las características del filtro.
- El *Visor de Espectro*, usado para el análisis de espectros. Se pueden usar los métodos de estimación de espectros del Toolbox de Procesamiento de Señales para estimar el espectro de densidad de potencia (PSD – Power Spectrum Density) de una señal.

### 2.2. Abriendo SPTool

Para abrir SPTool se escribe en la línea de comandos de MATLAB el siguiente comando

```
>> sptool
```

Se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 1.

---

1 GUI: Interfaz Gráfica de Usuario

Cuando se abre por primera vez la SPTool, ésta contiene un grupo de señales, filtros y espectros cargados por defecto, en cada una de las correspondientes listas.

Se puede acceder a las tres siguientes GUIs al seleccionar una señal, un filtro o un espectro, y hacer click en el botón **View** apropiado:

- Navegador de señales.
- Herramienta de visualización de filtros.
- Visor de espectro.

Se puede acceder a la FDATool al hacer click en **New** para crear un nuevo filtro o en **Edit** para editar un filtro seleccionado. Al hacer click en **Apply** se aplica el filtro seleccionado a la señal seleccionada, como se verá más adelante.

**Create** abre el Visor de Espectro y crea el espectro de densidad de potencia de la señal seleccionada. **Update** abre el Visor de Espectro para el espectro seleccionado.

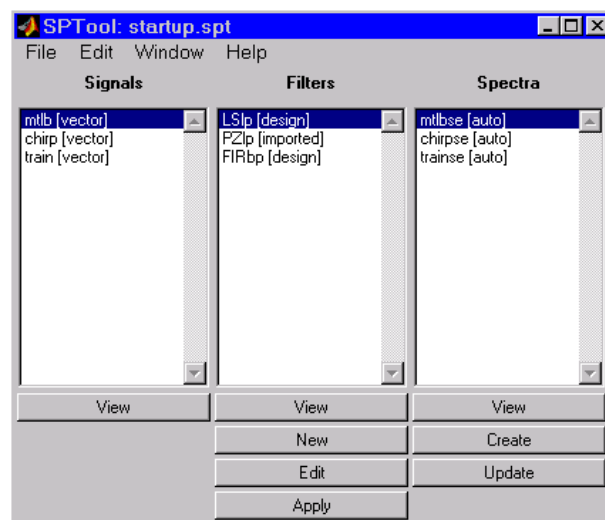


Figura 1: ventana de inicio de la SPTool

## 2.3. Navegador de Señales

### 2.3.1. Visión general del Navegador de Señales

Se puede usar el Navegador de Señales para visualizar y analizar las señales que se encuentran en la lista **Signals** de la ventana de la SPTool.

Mediante el uso del Navegador de Señales se puede:

- Analizar y comparar arreglos o vectores de señales.
- Observar de cerca porciones de datos de la señal.
- Medir una variedad de características de los datos de una señal.
- Comparar múltiples señales.
- Reproducir porciones de datos de la señal con el hardware de audio.
- Imprimir gráficos de las señales.

### 2.3.2. Abriendo el Navegador de Señales

Para abrir el Navegador de Señales desde la SPTool se realiza lo siguiente:

1. Se selecciona una o más señales de la lista **Signals** en la ventana de la SPTool.
2. Se hace click en **View** debajo de la lista de señales.

Tomando como ejemplo la señal `mtlb`, la seleccionamos y, al hacer click en **View**, se abrirá una ventana como la mostrada en la Figura 2.

La ventana del Navegador de Señales tiene los siguientes componentes:

- Una región de visualización para analizar señales, que incluye marcas para realizar

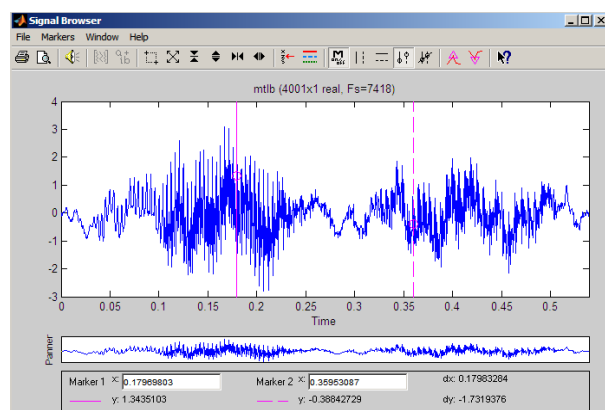


Figura 2: navegador de señales.

mediciones, comparaciones o reproducción de señales.

- Un “panner” que muestra la longitud total de la señal, resaltando la porción que se encuentra actualmente en la región de visualización. Esto es útil para cuando se realiza un acercamiento a la señal.
- Un área para las marcas de medición.
- Una barra de herramientas con botones para el conveniente acceso a las funciones usadas más frecuentemente.

## 2.4. FDATool

La Herramienta para el Análisis y Diseño de Filtros (FDATool) se utiliza para diseñar y editar filtros.

Para abrir esta herramienta desde la SPTool, se hace click en **New** bajo la lista **Filters** para crear un nuevo filtro, o se selecciona uno de los filtros de la lista y se hace click en **Edit** para editar ese filtro.

En este caso, hacemos click en **New** y se abre la ventana de la Figura 3.

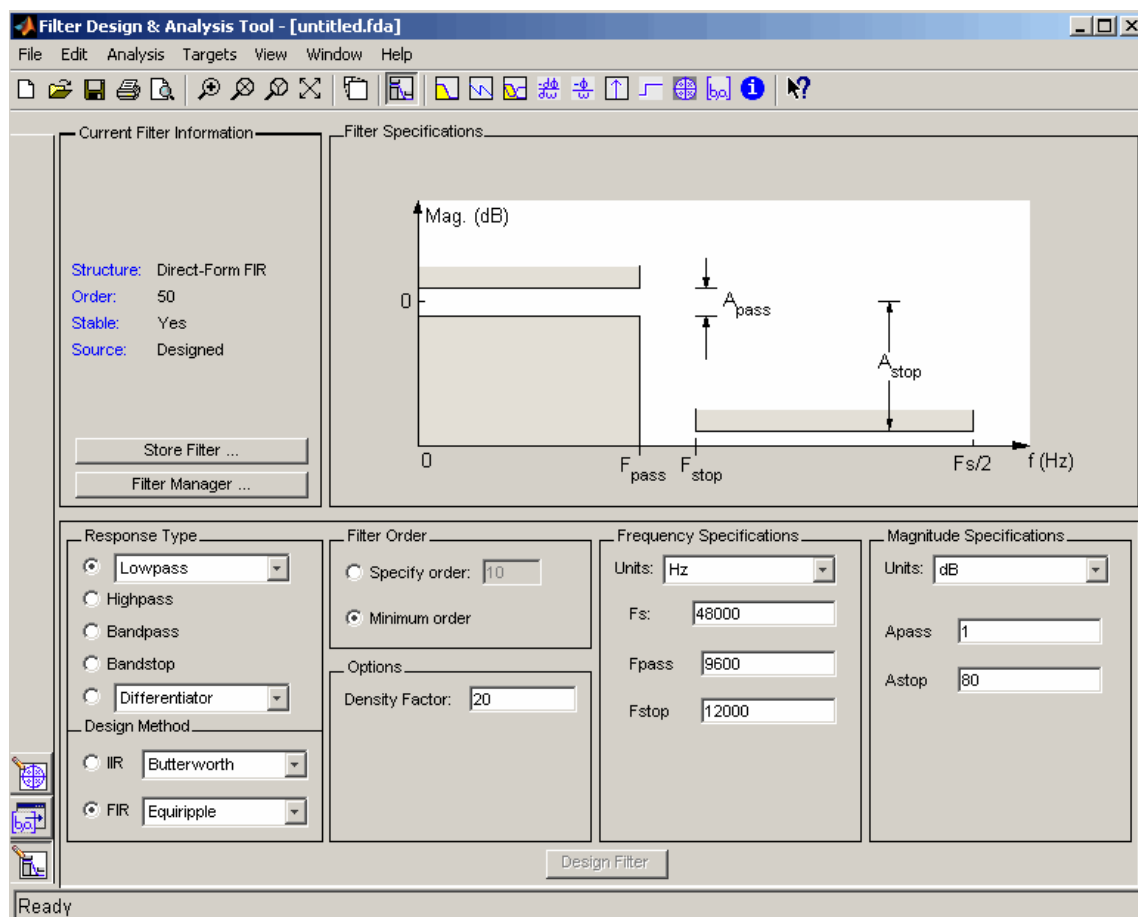


Figura 3: herramienta para el diseño y análisis de filtros.

Esta herramienta nos permite diseñar filtros digitales FIR e IIR determinando las especificaciones del filtro, o mediante la adición, modificación o eliminación de polos y ceros. También se puede importar un filtro existente desde el área de trabajo de MATLAB.

Algunos de los métodos de diseño de filtros a los que se puede acceder a través de la FDATool son:

- Butterworth
- Chebyshev

- Equiripple
- Least-squares
- Window

Una vez que se ha diseñado el filtro se pueden ver los coeficientes del filtro y demás información detallada, exportar los coeficientes al área de trabajo de MATLAB y crear un archivo de encabezado en C que contenga los coeficientes. Se pueden analizar también diferentes tipos de respuesta del filtro con la FVTool. Algunas de las respuestas disponibles son:

- Respuesta de magnitud
- Respuesta de fase
- Respuesta impulsiva
- Respuesta escalón
- Gráficos de polos y ceros

La FDATool también nos permite elegir entre distintos tipos de respuesta. Algunos de estos son:

- Pasa bajos
- Pasa altos
- Suprime banda
- Pasa banda
- Multibanda
- Diferenciador

Una vez seleccionado el tipo de filtro que se desea diseñar, se deberán establecer las especificaciones para el mismo. En la ventana de la FDATool podemos acceder a:

- *Orden*. Se puede especificar el orden del filtro, o se puede seleccionar la opción para que el método de diseño del filtro determine el orden mínimo.
- *Opciones*. Dependen del método de diseño seleccionado. Por ejemplo, para FIR Equiripple la opción es el Factor de Densidad; para FIR Window, se debe seleccionar la ventana.
- *Especificaciones de frecuencia*. Tales como frecuencia de muestreo y frecuencias de corte de las bandas pasante y atenuada.
- *Especificaciones de magnitud*. Ripple en la banda pasante y atenuación en la banda atenuada.

Una vez determinadas y establecidas todas las especificaciones del filtro, se hace click en **Design Filter** y el diseño será llevado a cabo.

## ***2.5. Herramienta para Visualización de Filtros***

### **2.5.1. Conexión entre FVTool y SPTTool**

La Herramienta para la Visualización de Filtros FVTool puede usarse de forma individual, o de forma vinculada a la SPTTool.

Si se inicia la FVTool al hacer click en el botón **View** de la lista **Filters** de la SPTTool, esa FVTool está vinculada a la SPTTool. Cualquier cambio hecho al filtro en la FVTool, se refleja inmediatamente en la SPTTool. La barra de título de la FVTool incluye “SPTTool” para indicar el vínculo.

Si se inicia la FVTool al hacer click en **New** o al seleccionar **File > New** dentro de una ventana individual de la FVTool, esa FVTool es una versión aislada y no está vinculada a SPTTool.

### 2.5.2. Abriendo la Herramienta de Visualización de Filtros

Se abre la FVTool desde la SPTool como sigue:

1. Seleccionar uno o más filtros en la lista **Filters** en la SPTool.
2. Hacer click en el botón **View** bajo la lista **Filters**.

Cuando se abre la FVTool por primera vez, esta muestra la gráfica de magnitud del filtro seleccionado, tal como se ve en la Figura 4.

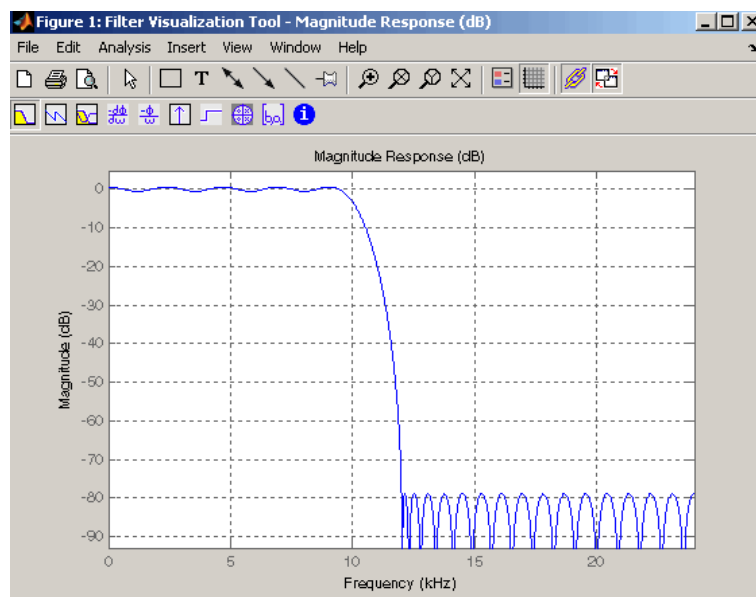


Figura 4: herramienta para la visualización de filtros.

### 2.5.3. Análisis de parámetros

En el área de la gráfica de cualquier gráfico de respuesta de un filtro, si se hace click derecho y se selecciona **Analysis Parameters**, se podrá visualizar detalles acerca de la gráfica mostrada. La ventana obtenida es la que se muestra en la Figura 5.

Se puede cambiar cualquier parámetro en una FVTool vinculada, excepto la frecuencia de muestreo. La frecuencia de muestreo sólo se puede cambiar usando la SPTool en **Edit > Sampling Frequency** o en el botón **Edit** debajo de la lista **Filters**.

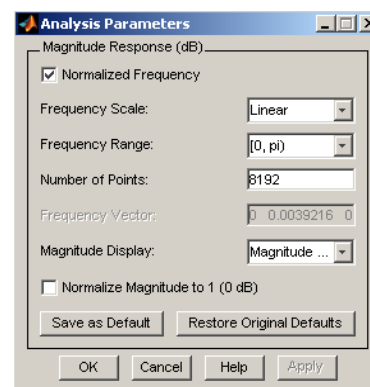


Figura 5: análisis de parámetros.

### 2.6. Visor de Espectro

El Visor de Espectro nos permite visualizar el espectro de densidad de potencia de una señal (PSD – Power Spectrum Density). Con éste se puede entender el contenido de frecuencia de una señal.

Para abrir el Visor de Espectro y visualizar el PSD de una señal desde la SPTool:

1. Seleccionar una señal de la lista **Signal** en la ventana de la SPTool.
2. Hacer click en **Create** en la lista **Spectra**.
3. Hacer click en **Apply** en el Visor de Espectro.

Para abrir el Visor de Espectro con un PSD ya listado en la SPTool:

1. Seleccionar un PSD de la lista **Spectra** en la ventana de la SPTool.
2. Hacer click en **View** bajo la lista Spectra.

Por ejemplo:

1. Se selecciona `mtlb` de las señales cargadas por defecto en la lista **Signals** de SPTool.
2. Se hace click en **Create** en SPTool para abrir el Visor de Espectro.
3. Se hace click en **Apply** en el Visor de de Espectro para generar la gráfica del espectro.

El resultado que se obtiene al seguir estos pasos se muestra en la Figura 6.

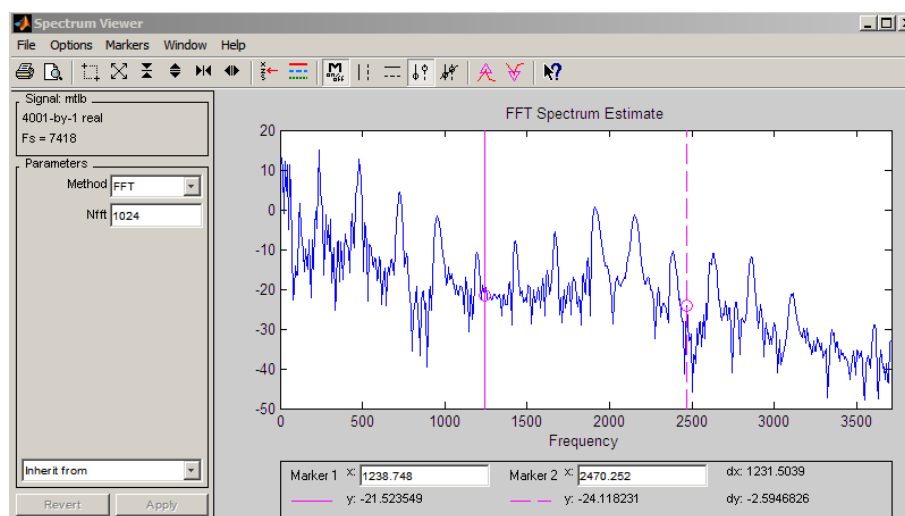


Figura 6: visor de espectro.

Dentro de diversas características, el Visor de Espectro tiene los siguientes componentes:

- Una región que provee información acerca de la señal.
- Una región de parámetros para modificar los parámetros del PSD.
- Una región de visualización para analizar el espectro y un menú de opciones para modificar las características mostradas.
- Un botón **Apply** para crear o actualizar estimaciones PSD.

## 3. Desarrollo

### 3.1. Filtrado y Análisis de una señal con ruido

#### 3.1.1. Visión general

Se verá a continuación el uso de las herramientas interactivas de MATLAB basadas en GUI para:

- Diseñar e implementar un filtro digital pasabanda FIR.
- Aplicar de filtro a una señal con un tono puro sumada a una señal ruidosa.



- Analizar las señales utilizadas y su espectro.

Los pasos incluyen:

1. Generar e importar la señal a la SPTool.
2. Diseñar un filtro pasabanda usando la FDATool.
3. Aplicar el filtro a la suma de la señal de tono puro y la de ruido, con intención de recuperarla.
4. Comparar la información en el dominio del tiempo de las señales original y filtrada usando el Navegador de Señales.
5. Comparar el espectro de las señales con el Visor de Espectro.

A continuación se desarrolla lo mencionado.

### 3.1.2. Importar una señal a la SPTool

Para poder importar las señales a la SPTool, éstas son primero creadas en la línea de comandos de MATLAB.

Creemos en primer lugar una señal senoidal de frecuencia 1 kHz y de 1 segundo de duración de la siguiente forma:

```
>> t = (0:0.00002:1); % se crea al vector t con 50001 muestras  
>> y = sin(2*pi*1000*t); % senoidal de 1 kHz
```

La importamos ahora a la SPTool.

Si la SPTool no está abierta escribimos

```
>> sptool
```

y en la ventana de la misma se selecciona **File > Import**. Con esto se abre la ventana de diálogo para importar señales a la SPTool, tal como la que se muestra en la Figura 7.

En la ventana **Workspace Content** se selecciona la *y*, que es el nombre de nuestra señal. Luego se hace click en la flecha que está al lado del campo **Data** para que el nombre de la señal aparezca en el mismo.

Se ingresa un valor para la frecuencia de muestreo igual a 50000.

Se ingresa como nombre para la señal importada *seno1k* y se hace click en **Ok**. Con esto la señal aparecerá en la lista **Signals** de la SPTool.

Se crea ahora la señal de ruido para sumarle a la señal senoidal. Se escribe en la línea de comandos:

```
>> x = randn(50001,1);
```

y se importa a la SPTool de la misma forma que se importó la senoidal anterior. Se usa frecuencia de muestreo 50000 y se la nombra *ruido*.

Ahora con un comando sencillo sumamos ambas señales:

```
>> sr = y + x;
```

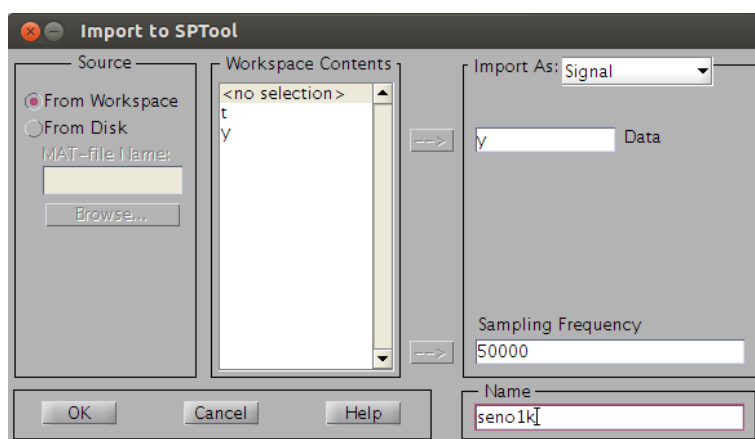


Figura 7: importar a SPTool.

e importamos esta última señal nuevamente a la SPTool, con el nombre `senoruido`.

Vemos a continuación en las Figuras 8, 9 y 10 las señales que se acaban de construir.

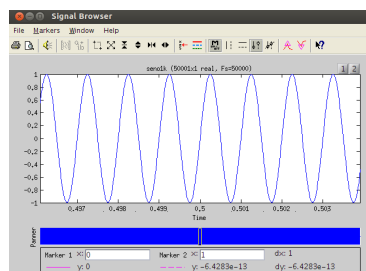


Figura 8: senoidal a 1k Hz.

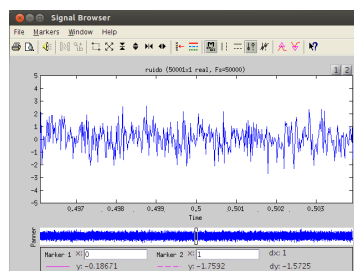


Figura 9: ruido.

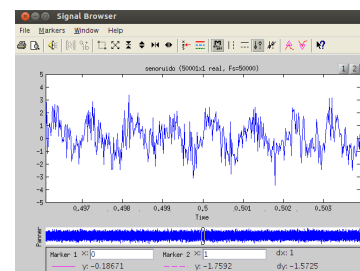



Figura 10: senoidal más ruido.

Adicionalmente, por medio de uno de los botones de la barra de herramientas del Navegador de Señales, la señal activa puede ser reproducida en el hardware de audio de la computadora. Sólo basta con hacer click en el botón  y se escuchará la señal seleccionada.

Mediante el uso de las marcas verticales, se puede reproducir sólo una parte de la misma.

### 3.1.3. Diseño del filtro

Desde la SPTool se puede importar un filtro existente desde el área de trabajo de MATLAB, o se puede diseñar y editar un nuevo filtro usando la FDATool. Esta herramienta nos permite diseñar filtros digitales FIR e IIR determinando las especificaciones del filtro, o mediante la adición, modificación o eliminación de polos y ceros, de la gráfica de polos y ceros del mismo.

Acá se creará uno nuevo con la FDATool.

Para abrir FDATool, se hace click en **New** en la lista **Filters** de la SPTool. Se abrirá la FDATool con un filtro por defecto llamado `filt1`.

#### 3.1.3.1. Especificaciones para el filtro pasabanda

Se elige como método de diseño el de filtro FIR con Ventanas. Las especificaciones se establecen como se lista a continuación:

- *Tipo de respuesta:* Bandpass.
- *Método de diseño:* FIR – Window
- *Orden del filtro:* 300.
- *Opciones:* Window – Hamming.
- *Especificaciones de frecuencia:*
  - *Unidades:* Hz.
  - *Frecuencia de muestreo:* 48000.
  - *Frecuencia de corte 1:* 800.
  - *Frecuencia de corte 2:* 1200.
- *Especificaciones de magnitud:* para éste método de diseño están fijas en 6 dB.

El resultado obtenido luego de completar con todos los datos se muestra en la Figura 11. Posteriormente se hace

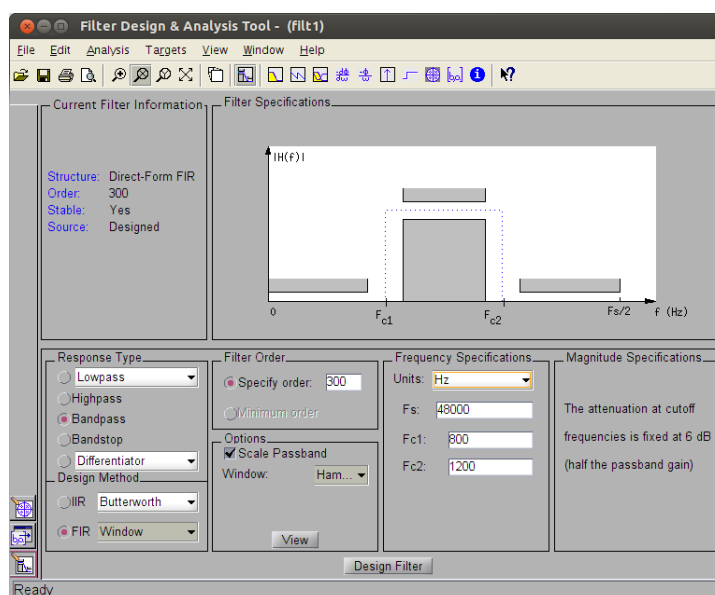


Figura 11: especificaciones del filtro.

click en **Desing Filter** y se obtiene el filtro mostrado en la Figura 12.

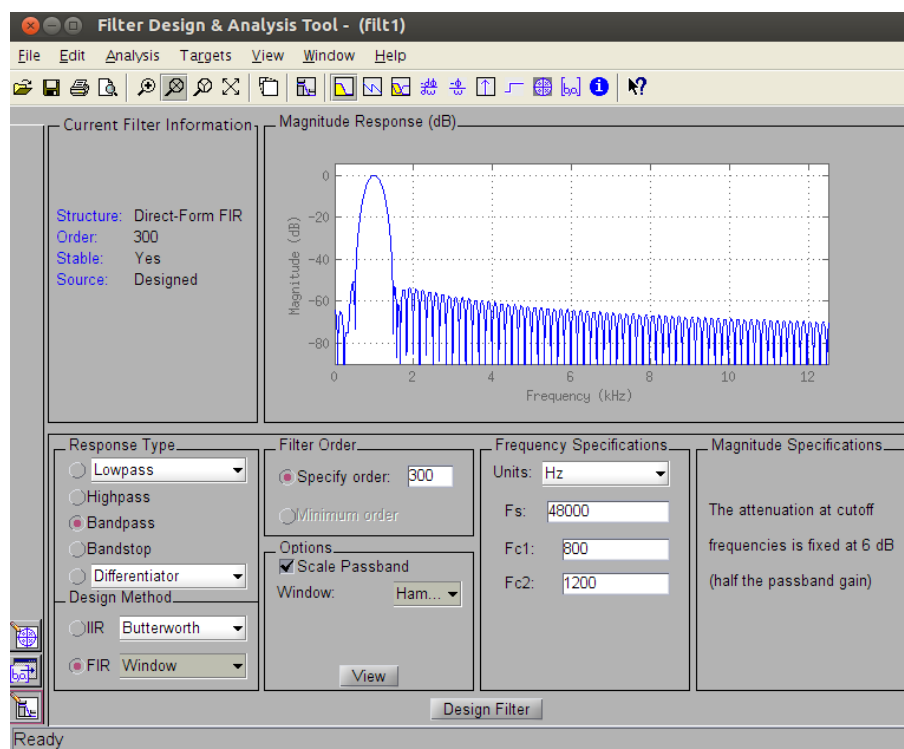


Figura 12: filtro ventana.

### 3.1.4. Aplicación del filtro a una señal

Cuando se aplica el filtro a una señal, se crea una nueva señal en la SPTool que representa a la señal filtrada.

Para aplicar el filtro creado `filt1` a la señal `senoruido`, se hace lo siguiente.

1. En la ventana SPTool, se selecciona la señal `senoruido` de la lista **Signals** y se selecciona el filtro `filt1` de la lista **Filters**.
2. Se hace click en **Apply** debajo de la lista Filters, con lo que se abre una ventana como la mostrada en la Figura 13.
3. Dejar el **Algoritmo** como Direct-Form FIR.
4. Se ingresa el nombre `srfilt` como el nombre de la señal en **Output Signal**.
5. Se hace click en **OK**.

El filtro se aplica entonces a la señal seleccionada, y la señal filtrada `srfilt` aparecerá listada en la lista **Signals** de la SPTool.

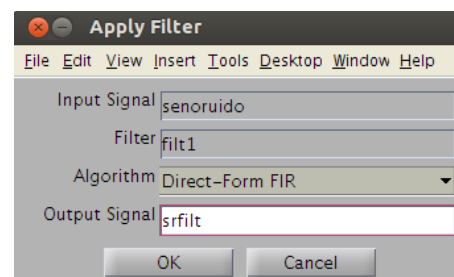


Figura 13: aplicación de un filtro.

### 3.1.5. Análisis de espectro en el Visor de Espectro

Es posible analizar el contenido de frecuencia de una señal utilizando el Visor de Espectro, el cual nos permite visualizar el espectro de densidad de potencia de una señal.

A continuación se verá cómo crear un espectro de densidad de potencia (PSD) y cómo usar el Visor de Espectro para analizar y comparar los espectros de las señales vistas anteriormente.

### 3.1.5.1. Creación de un PSD desde una señal

Se siguen los pasos a continuación.

1. En la ventana de la SPTool se selecciona la señal `ruido` de la lista **Signals**.
2. En la lista **Spectra** se hace click en **Create**. Se activará el Visor de Espectro y un PSD (`spect1`) correspondiente a la señal `ruido` será creado en la lista **Spectra**. El PSD todavía no ha sido calculado y no se puede visualizar.
3. Se hace click en **Apply** en el Visor de Espectro para calcular y visualizar el PSD `spect1` usando los parámetros por defecto. El PSD de la señal `ruido` se muestra en la región de visualización. La información que identifica al PSD asociado a la señal se muestra encima de la región de parámetros. El espectro obtenido es el mostrado en la Figura 14.

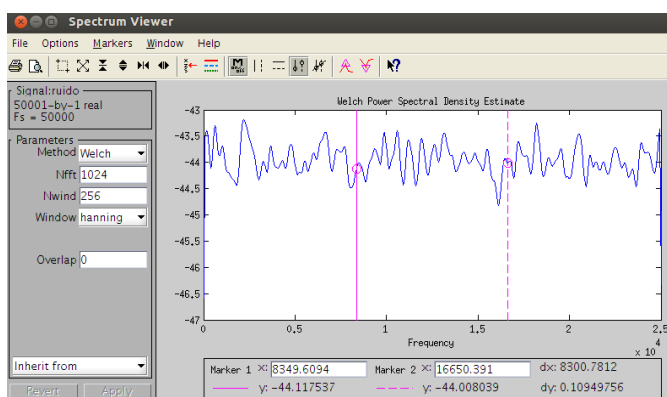


Figura 14: espectro de la señal de ruido.

4. Se vuelven a seguir los pasos anteriores para generar los espectros de la señal senoidal pura, la señal suma (seno más ruido) y de la señal filtrada. Los tres espectros se muestran juntos en la Figura 15, donde se puede apreciar cómo nos aproximamos a reconstruir la señal original una vez filtrada.

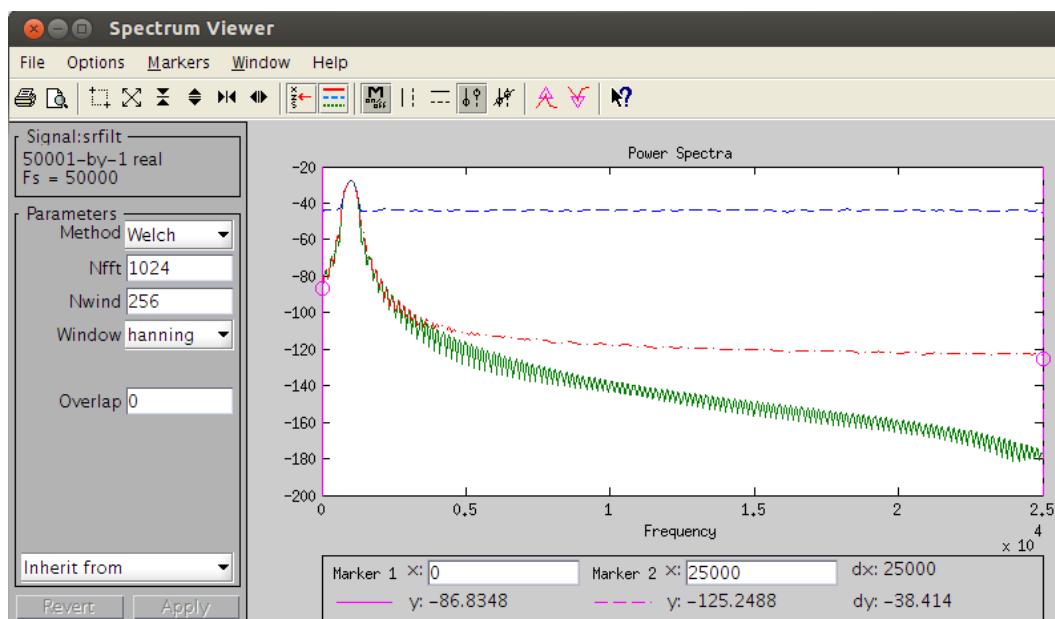


Figura 15: Espectros: seno puro en línea continua; senoidal con ruido en línea de trazos; y señal filtrada en línea de trazos y puntos.

### 3.2. Exportación y acceso a los parámetros de un filtro

Por último, resulta de interés ver cómo exportar un filtro al área de trabajo de MATLAB, para así poder acceder a la distinta información contenida en el mismo, en el caso de que sea útil y necesario.

#### 3.2.1. Exportando un filtro al área de trabajo de MATLAB

Desde la SPTool, para exportar el filtro `filt1` que se ha creado anteriormente se abre la ventana de diálogo de la siguiente forma:

1. Seleccionar el filtro `filt1` en la lista **Filters** de la SPTool.
2. Seleccionar **File > Export**.

Una vez en la ventana de diálogo, se marca sólo el filtro deseado en la Export List y se procede de una de las dos formas siguientes:

1. Se hace click en **Export to disk...** para almacenar en disco.
2. Se hace click en **Export to Workspace** para exportar el filtro al área de trabajo.

#### 3.2.2. Acceso a los parámetros de un filtro

Las estructuras de MATLAB creadas por la SPTool tienen varios campos asociados, muchos de los cuales son también estructuras de MATLAB.

Después de exportar el filtro `filt1` al área de trabajo de MATLAB, al escribir en la misma

```
>> filt1
```

se pueden visualizar los campos de la estructura del filtro de MATLAB.

Es de particular interés el campo `tf`. Este campo es una estructura que contiene la representación de la función de transferencia del filtro. A través de este campo se pueden obtener los coeficientes del filtro:

- `filt1.tf.num` contiene los coeficientes del numerador.
- `filt2.tf.den` contiene los coeficientes del denominador.

Los vectores contenidos en estas estructuras representan polinomios en potencias decrecientes de  $z$ . Los polinomios del numerador y del denominador se usan para especificar la función de transferencia:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(nb+1)z^{-m}}{a(1) + a(2)z^{-1} + \dots + a(an+1)z^{-n}}$$

donde:

- $b$  es un vector que contiene los coeficientes del campo `tf.num`.
- $a$  es un vector que contiene los coeficientes del campo `tf.den`.
- $m$  es el orden del numerador.
- $n$  es el orden del denominador.