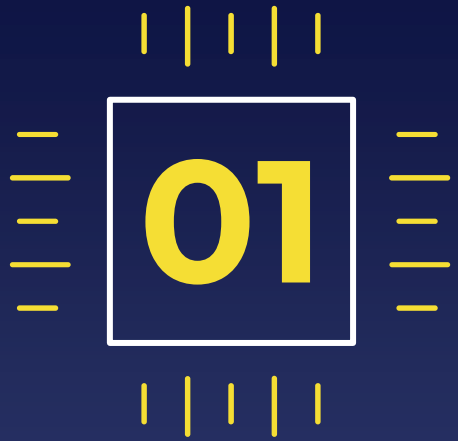
Diseño de filtros digitales FIR con aplicación en procesamiento de señales de audio

Por: Francisco Navarro Padilla
Asesor: Dr. José Javier Diaz Carmona

TABLA DE CONTENIDOS



INTRODUCCIÓN

Objetivos y Justificación

Uso de los Filtros.

Audio: Limpieza de ruido, separación de instrumentos, análisis de bandas espectrales.

Uso de los Filtros.

Medicina: Diagnostico de enfermedades (Separación de fuentes sonoras [Corazón y pulmones], Resonador Magnético)

Objetivo General

Diseñar en MATLAB e implementar físicamente filtros digitales FIR para el procesamiento de señales de audio en aplicaciones específicas.

Objetivos Específicos

Objetivos Específicos

02

MARCO TEÓRICO

Conceptos y Definiciones

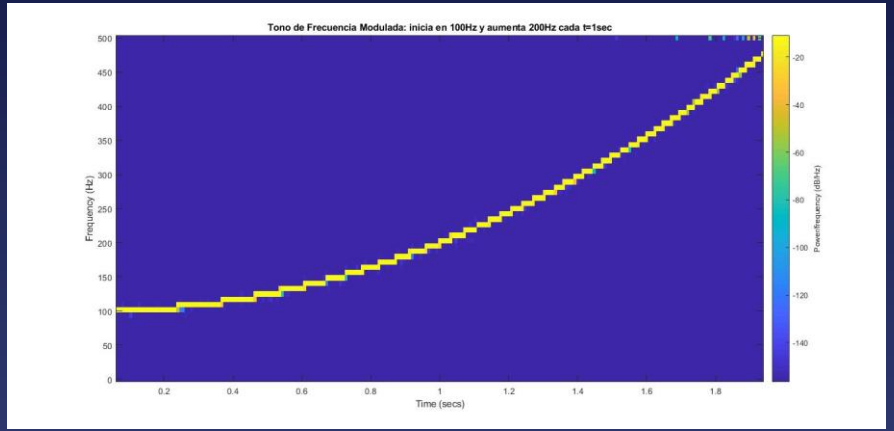
La Transformada de Fourier y la DFT

Descomposición de Señales en sus Componentes espectrales.

Discret Fourier Transform

$$F(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j\omega n}$$

Transformada de Fourier de Tiempo reducido



Espectro de frecuencias de secciones locales en una serie de muestras.

Ejemplo: Pieza musical con diferentes instrumentos.

Entender la evolución del espectro de frecuencias en el tiempo.

FILTROS DIGITALES VS FILTROS ANALÓGICOS

El procesamiento de señales mediante el uso de filtros digitales ofrece una serie de ventajas con respecto al procesamiento en el dominio analógico.

- Fácil ajuste a las condiciones.
- Rápido montaje y testeo
- Estabilidad (Tiempo y Temperatura)
- Sin componentes de precisión
- Replicabilidad

Filtros Digitales

Algoritmo que altera las propiedades espectrales de una señal digital

Sonido, Video, imagen

FIR

- Finite Impulse Response

IIR

- Infinite Impulse Response

FILTROS FIR VS FILTROS IIR

Los Filtros FIR tienen dos principales ventajas frente a los Filtros IIR importantes para el filtrado de audio.

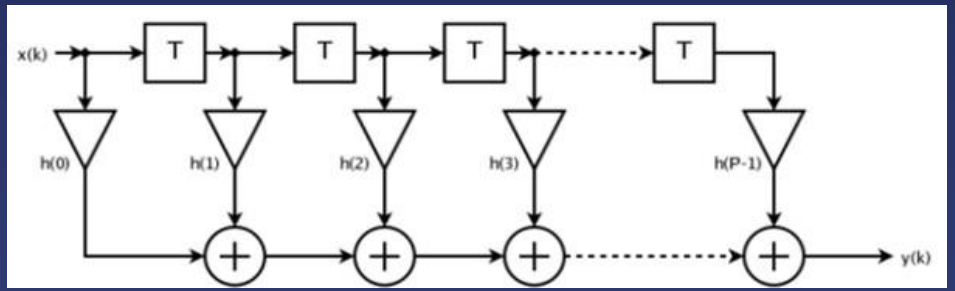
- Atenuación mas severa en la banda de rechazo.
- Sin distorsión de fase.

Desventaja:

- Latencia.

Filtros FIR

$$Y_n = \sum_{k=0}^{N-1} b_k X(n-k)$$

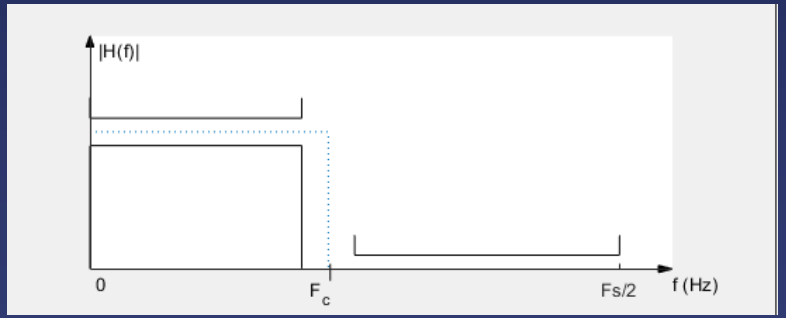


- Numero Finito de pulsos para una entrada impulso
- Fase lineal ideal para aplicaciones de audio

Métodos de Diseño de filtros FIR

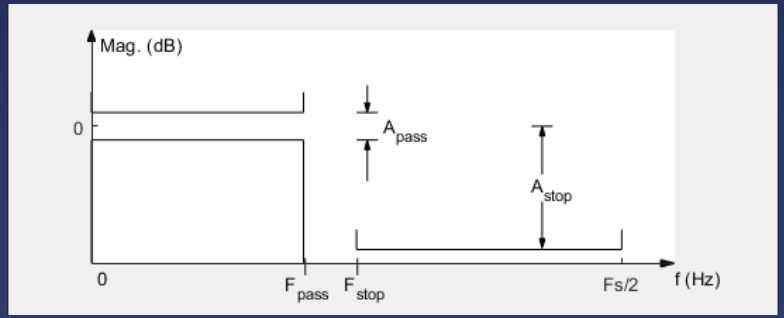
Aventanado

Frecuencia de Muestreo
Tipo de Filtro
Orden de Filtro
Frecuencia(s) de Corte
Ventana



Parks-McLellan

Frecuencia de Muestreo
Tipo de Filtro
Frecuencia(s) de Corte y Paso
Rizado Frec Corte y Paso



C5535 EZDSP

- TMS320C5535 DSP de Texas Instrument
- Texas Instruments TLV320AIC3204 Stereo Codec (entrada estéreo, salida estéreo)
- Interfaz USB 2.0 - C5535
- Alimentación por Interfaz USB
- Emulador embebido USB XDS100 JTAG
- Compatible con Code Composer Studio v4

- Ranura Micro SD
- 8 Mbytes Memoria SPI flash
- I2C OLED display
- 5 Leds
- 2 botones pulsadores
- Conector de Expansión

03

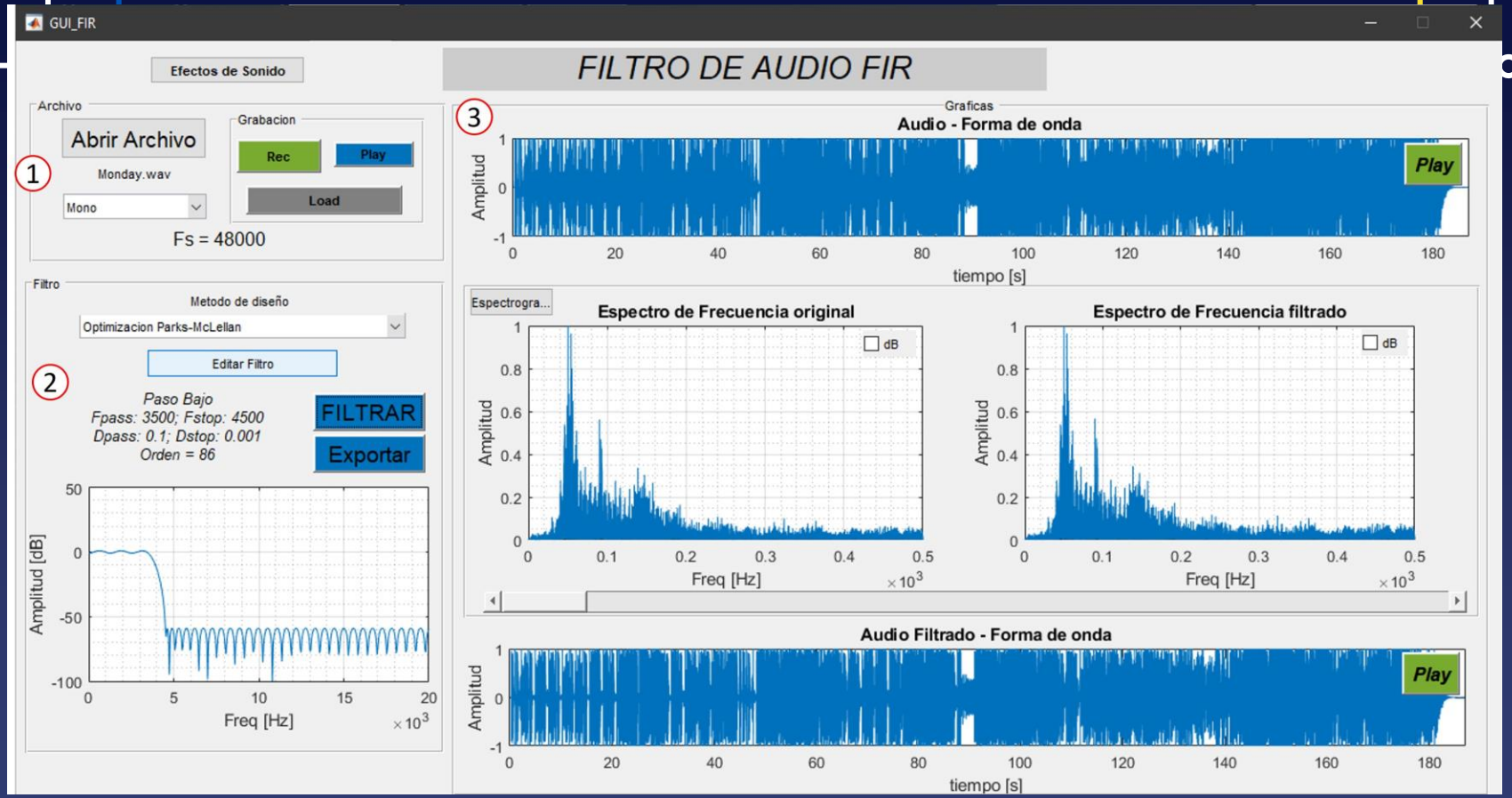
DESARROLLO

Interfaz Grafica (GUI) e Implementación en DSP

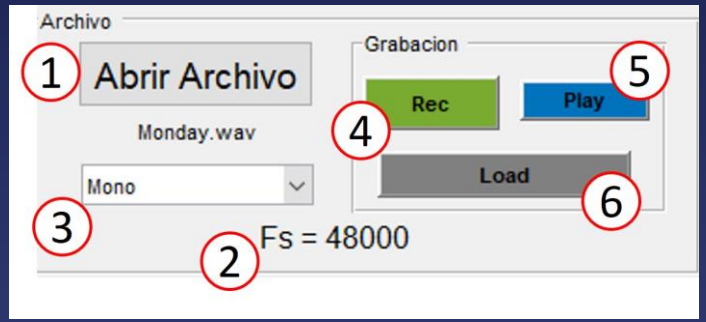
Diseñando la GUI

Características

- Lectura de archivos y grabación de audio desde el ordenador.
- Gráficas en tiempo y frecuencia necesarias para audios y filtro.
- Reproducción de audio.
- Exportar los coeficientes del filtro.


GUI_FIR
Efectos de Sonido
FILTRO DE AUDIO FIR
Archivo
Abrir Archivo
Monday.wav
Mono
Grabacion
Rec
Play
Load
Fs = 48000
1
Filtro
Metodo de diseño
Optimizacion Parks-McLellan
Editar Filtro
2
Paso Bajo
Fpass: 3500; Fstop: 4500
Dpass: 0.1; Dstop: 0.001
Orden = 86
FILTRAR
Exportar
Amplitud [dB]
Freq [Hz]
3
Graficas
Audio - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play
Espectrogra...
Espectro de Frecuencia original
Espectro de Frecuencia filtrado
dB
Amplitud
Freq [Hz]
Audio Filtrado - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play

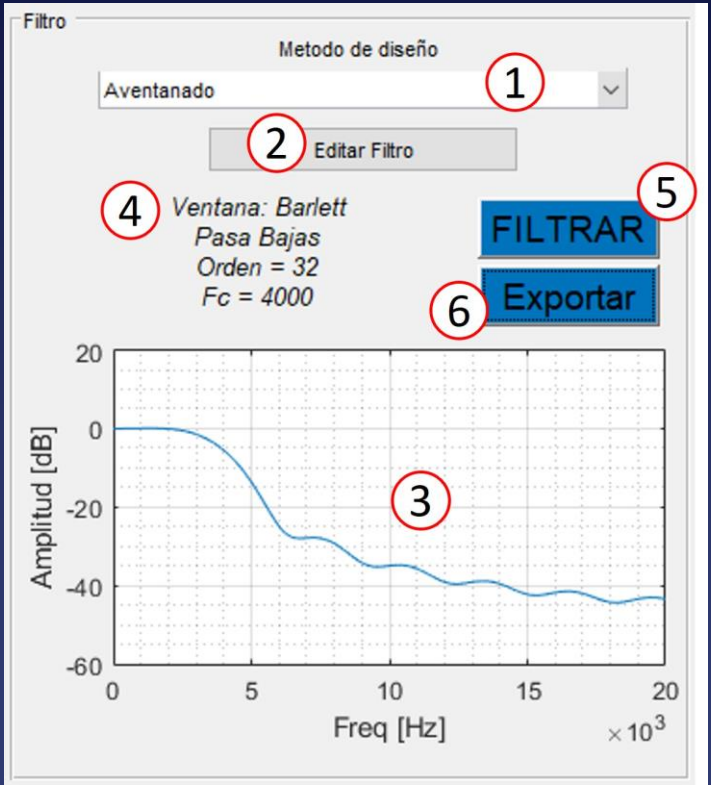
Panel Archivo



Métodos de entrada de audio

Lectura de archivos (.wav)
Botones de grabación(44100Hz)

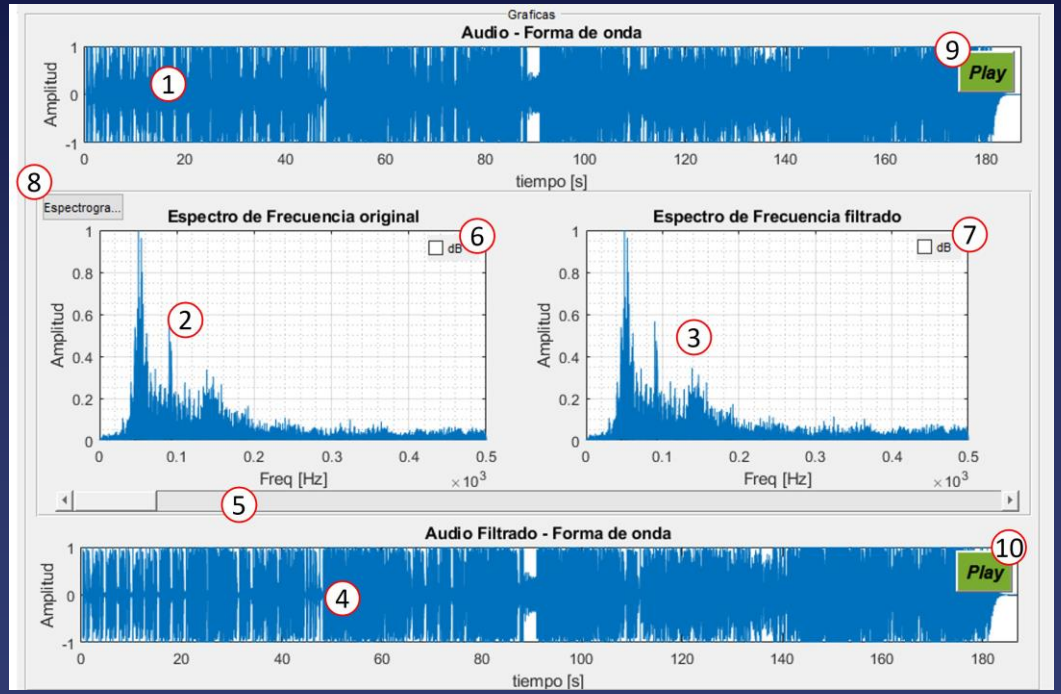
Panel Filtro



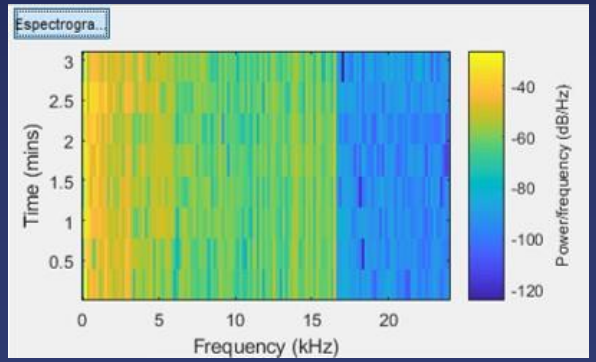
Enfocado al diseño del filtro.
Método de diseño y características del filtro.
Grafica de la respuesta en frecuencia del filtro.
Exportar los coeficientes del filtro.

```
#include "tmwtypes.h"
const int BL = 33;
const int16_T B[33] = {0, 47, 88, 82,
0, -162, -369, -553, -615, -457, 0, 782, 1846, 3079, 4308, 5330,
5953, 5330, 4308, 3079, 1846, 782,
0, -457, -615, -553, -369, -162, 0, 82, 88, 47, 0};
#define BUFFER SIZE 33
```

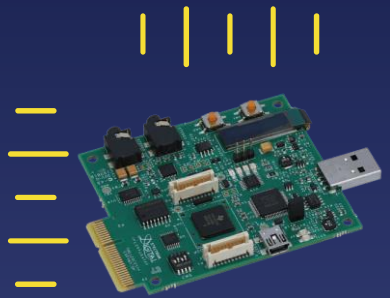
Panel Gráficas



Graficas de la forma de onda en tiempo.
Graficas en frecuencia.
Espectrograma.
Botones de reproducción.



Implementando Filtros en DSP



Características

- La DSP debe ser capaz de muestrear una señal de audio.
- Aplicar un filtro en tiempo real.
- Escribir en el periférico de salida la señal filtrada.

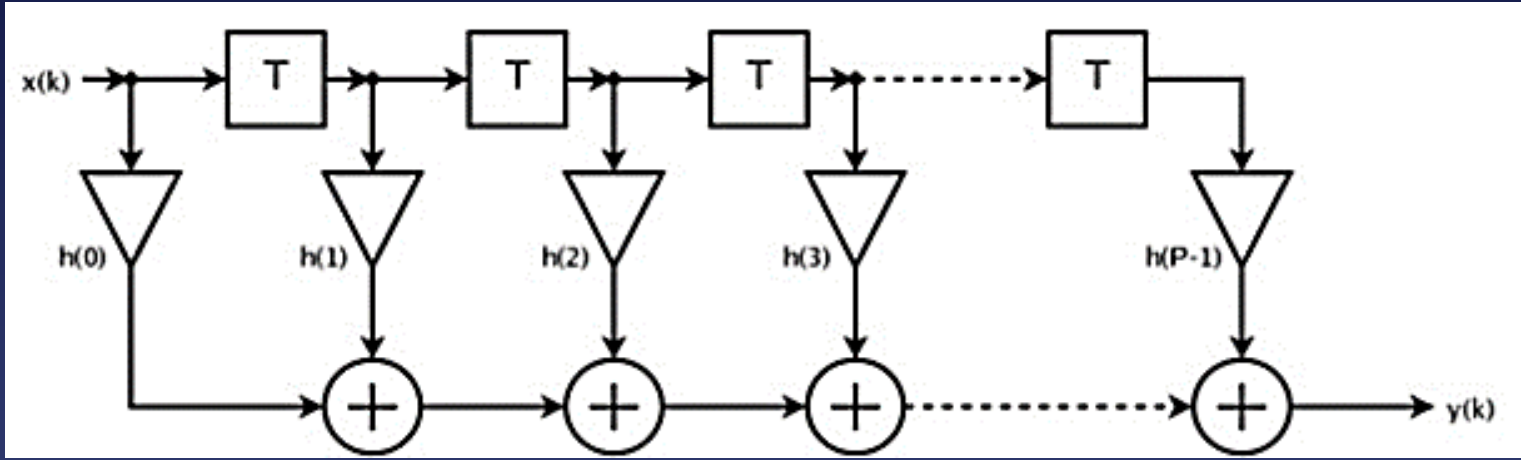


Diagrama a bloques para filtros FIR

Flujo del programa

- Configuración Códec audio (Frecuencia de muestreo 48Khz).
- Importar coeficientes.
- Buffer de datos.

```
#include "tmwtypes.h"
const int BL = 33;
const int16_T B[33] = {0, 47, 88, 82,
0, -162, -369, -553, -615, -457, 0, 782, 1846, 3079, 4308, 5330,
5953, 5330, 4308, 3079, 1846, 782,
0, -457, -615, -553, -369, -162, 0, 82, 88, 47, 0};
#define BUFFER_SIZE 33
```

```
EZDSP5535_I2S_readLeft(lAddr);
EZDSP5535_I2S_readRight(rAddr);
```

```
void shift (Int16 *x, int loop) {
    int i; /* Loop index */
    for(i=loop-1; i> 0; i--) {
        x[i] = x[i-1]; /* Shift old data x(n-i) */
    }
}
```

Flujo del programa

- Convolución
- Salida

```
Int16 fir_convolution (Int16 *x) {
    Int32 yn = 0; /* Output of FIR filter */
    int i; /* Loop index */

    for(i=0; i<BL; i++) {
        yn += (Int32)B[i]*(Int32)x[i];/* Convolution of x(n) with h(n) */
    }
    yn = yn>> 15;
    return((Int16)yn);
}
```

```
EZDSP5535_I2S_writeRight(ROut);
EZDSP5535_I2S_writeLeft(LOut);
```

Flujo del programa

```
while(1){

        EZDSP5535_I2S_readLeft(lAddr);
        //EZDSP5535_I2S_readRight(rAddr);

        dataIn.L[0]=*lAddr;
        lOut = fir_convolution(dataIn.L);
        shift(dataIn.L, BL);

        entrada.muestra[0]=lData;
        shift(entrada.muestra, 50);

        salida.muestra[0]=lOut;
        shift(salida.muestra, 50);

        EZDSP5535_I2S_writeRight(lOut);
        EZDSP5535_I2S_writeLeft(lData);

    }
```

04

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

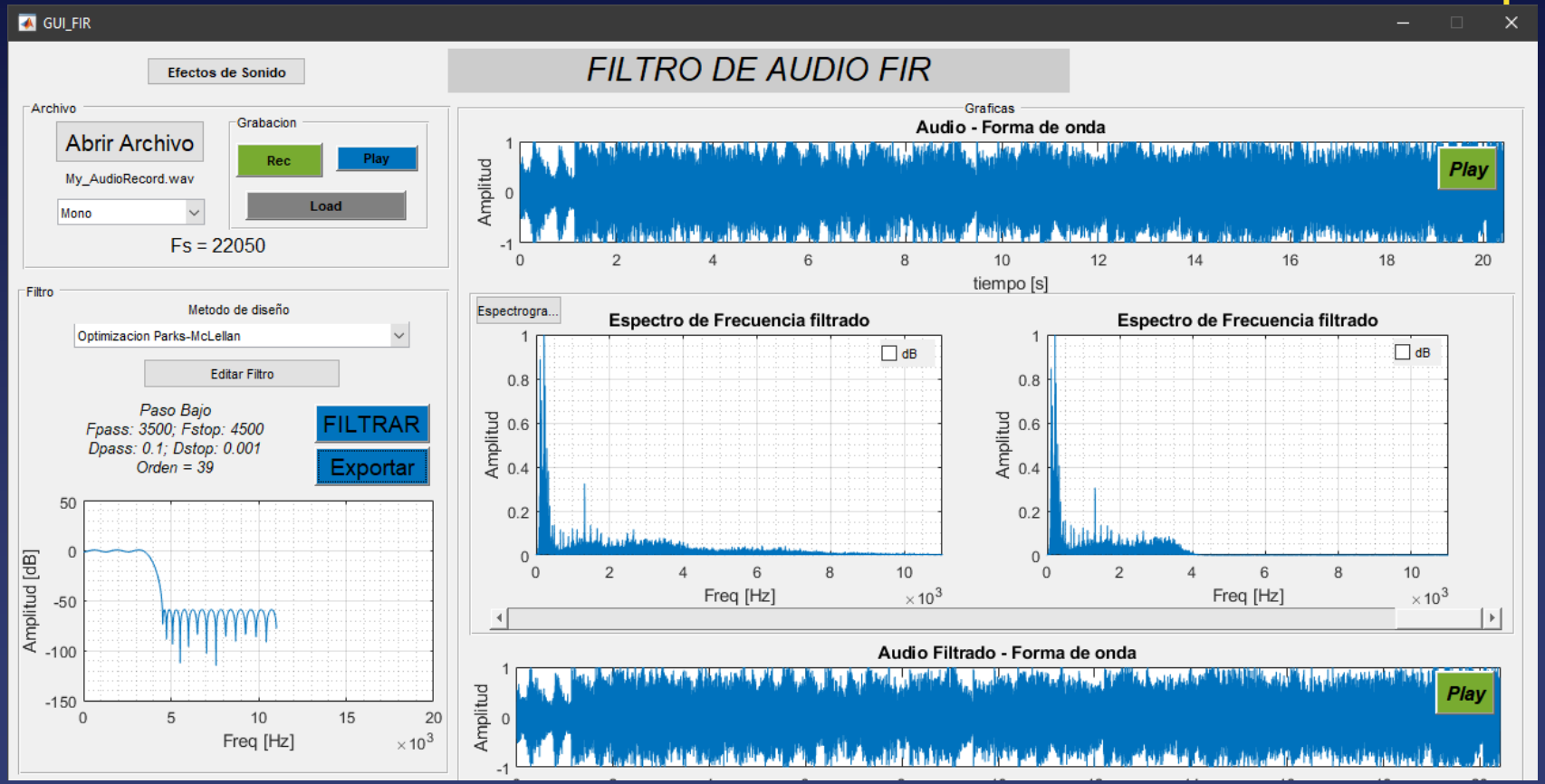
Nota:

Sobre la frecuencia de muestreo utilizada para las pruebas.

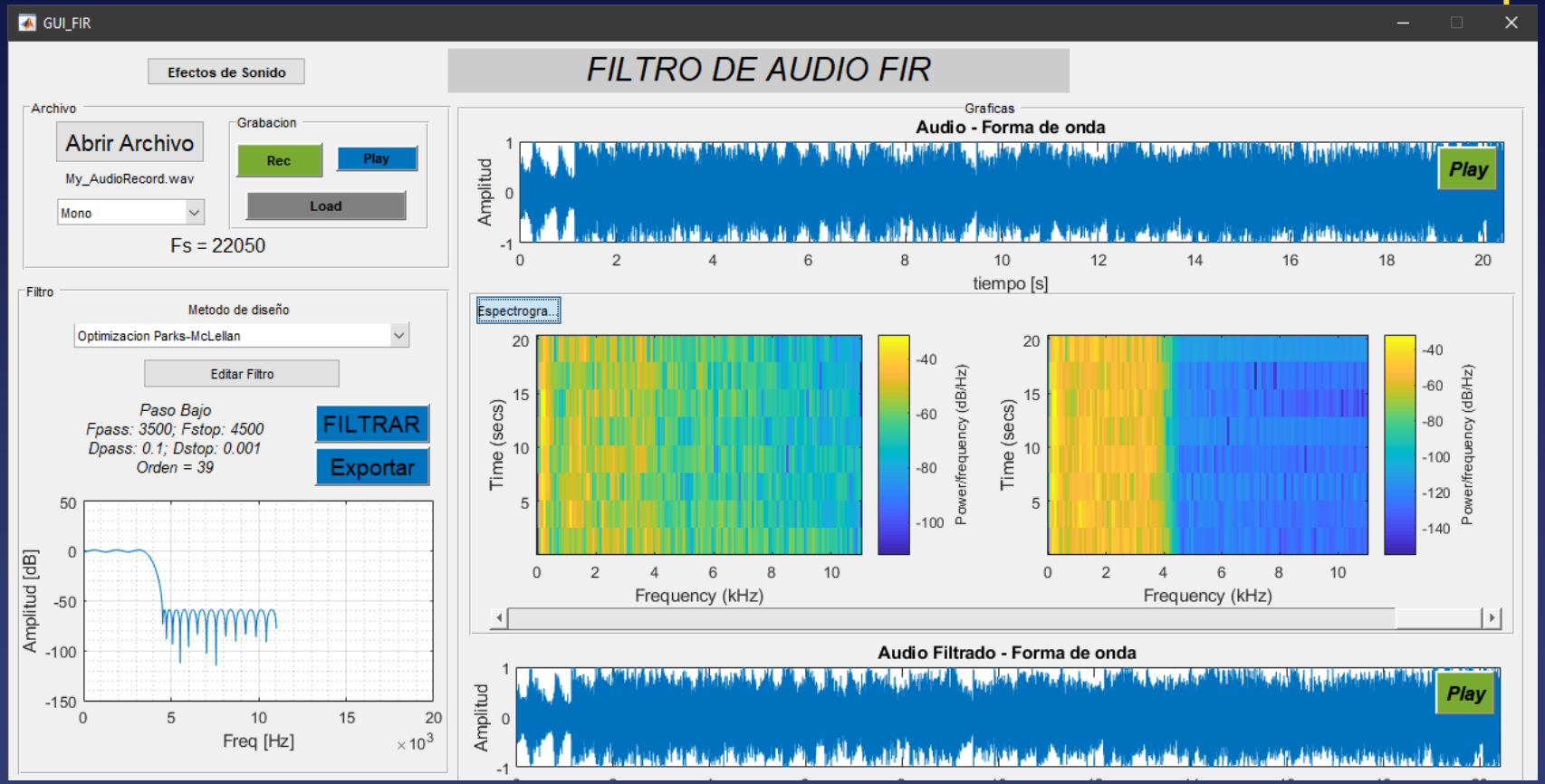
Depurador de Code Composer Studio.
Herramienta magnitud de la FFT.
Código para generar tabla.
+Resolución \ -Frecuencia de muestreo.

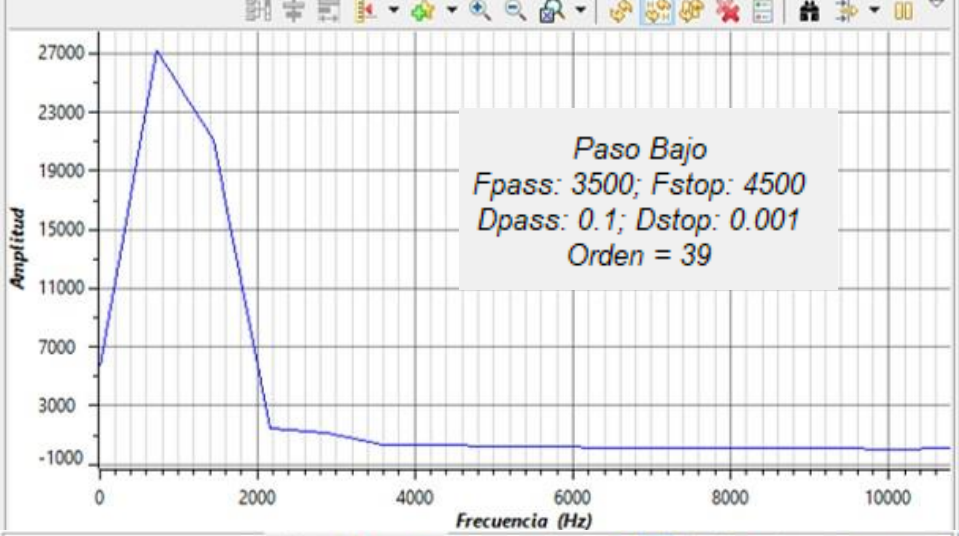
Pruebas → 50 muestras
Fs = 22Khz

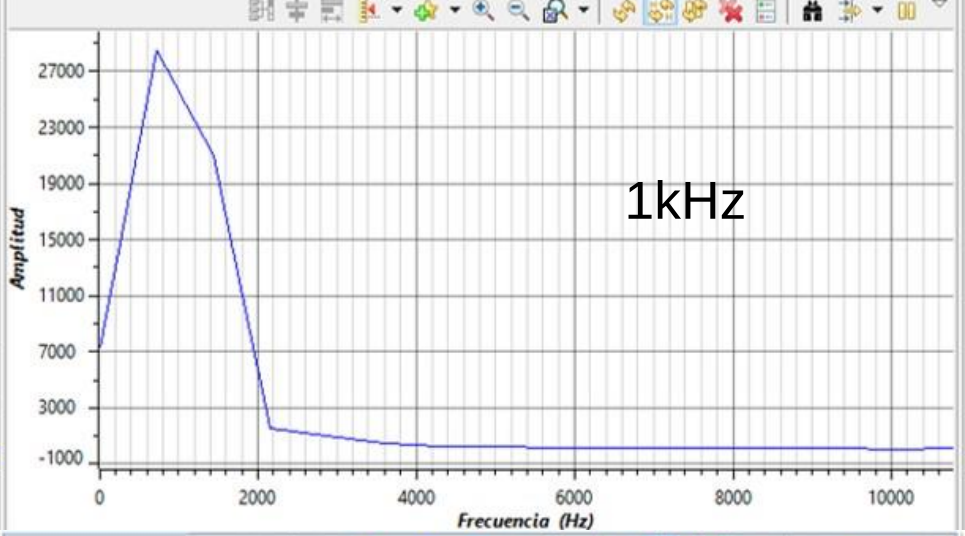
Pasa Bajas

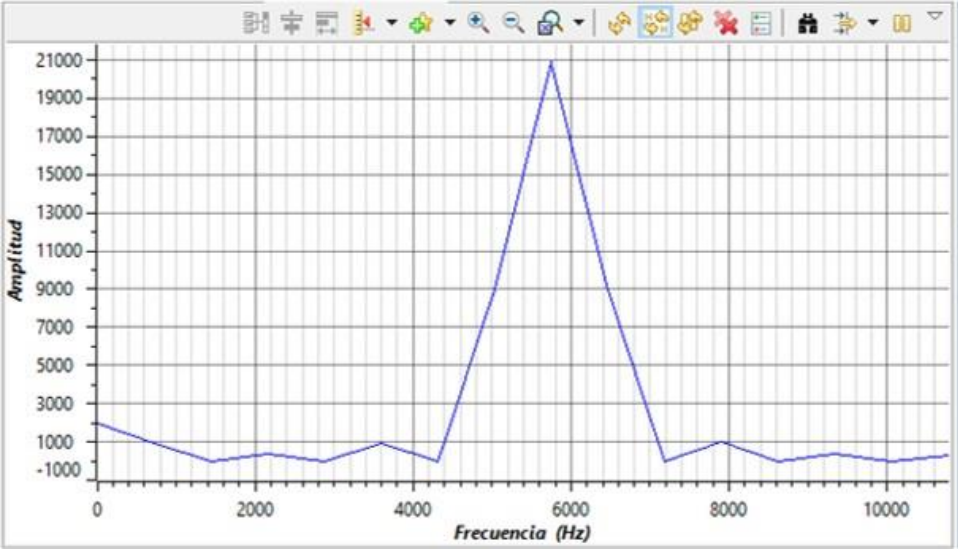

GUI_FIR
Efectos de Sonido
FILTRO DE AUDIO FIR
Archivo
Abrir Archivo
My_AudioRecord.wav
Mono
Grabacion
Rec
Play
Load
Fs = 22050
Filtro
Metodo de diseño
Optimizacion Parks-McLellan
Editar Filtro
Paso Bajo
Fpass: 3500; Fstop: 4500
Dpass: 0.1; Dstop: 0.001
Orden = 39
FILTRAR
Exportar
Amplitud [dB]
Freq [Hz]
Graficas
Audio - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play
Espectrogra...
Espectro de Frecuencia filtrado
dB
Amplitud
Freq [Hz]
Espectro de Frecuencia filtrado
dB
Amplitud
Freq [Hz]
Audio Filtrado - Forma de onda
Amplitud
Play

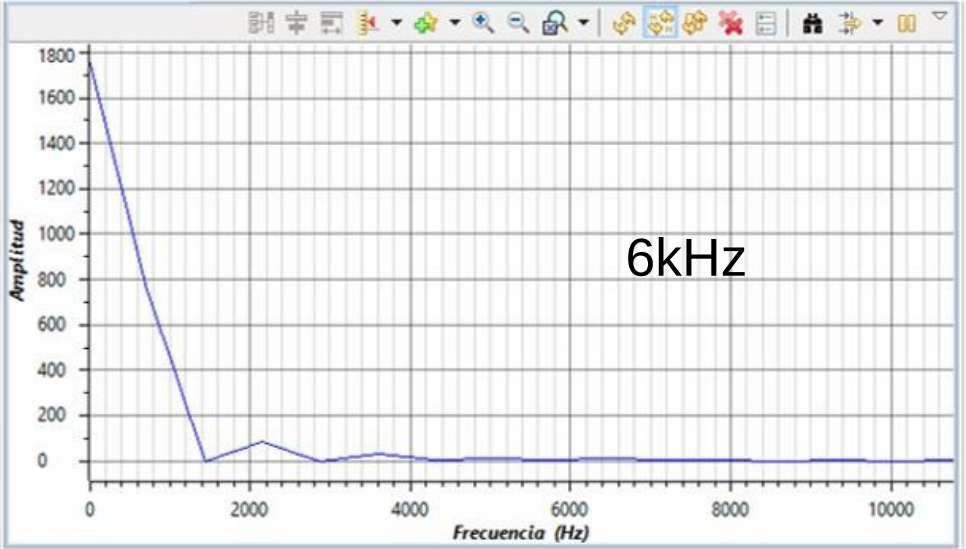
Pasa Bajas

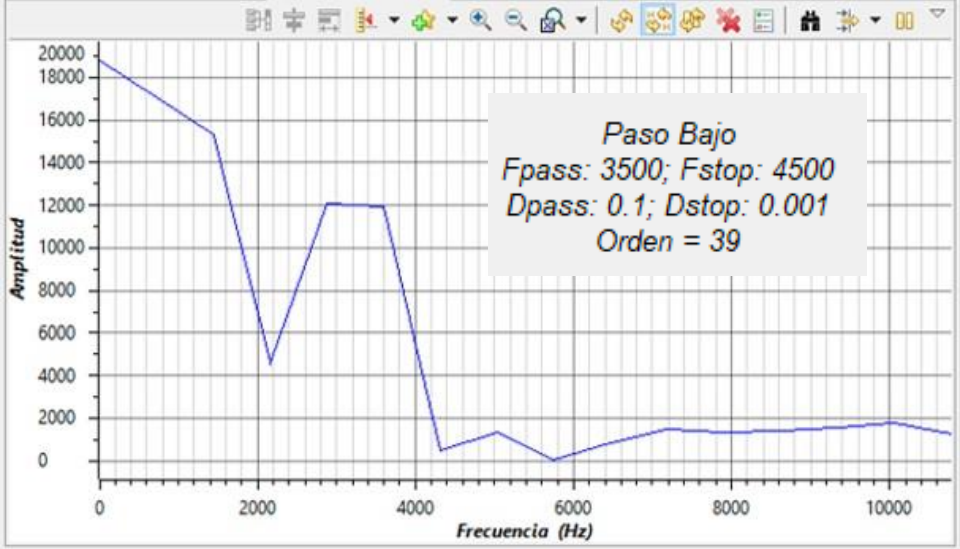

GUI_FIR
Efectos de Sonido
FILTRO DE AUDIO FIR
Archivo
Abrir Archivo
My_AudioRecord.wav
Mono
Fs = 22050
Grabacion
Rec
Play
Load
Filtro
Metodo de diseño
Optimizacion Parks-McLellan
Editar Filtro
Paso Bajo
Fpass: 3500; Fstop: 4500
Dpass: 0.1; Dstop: 0.001
Orden = 39
FILTRAR
Exportar
Amplitud [dB]
Freq [Hz]
Graficas
Audio - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play
Espectrogra...
Time (secs)
Frequency (kHz)
Power/frequency (dB/Hz)
Audio Filtrado - Forma de onda
Play

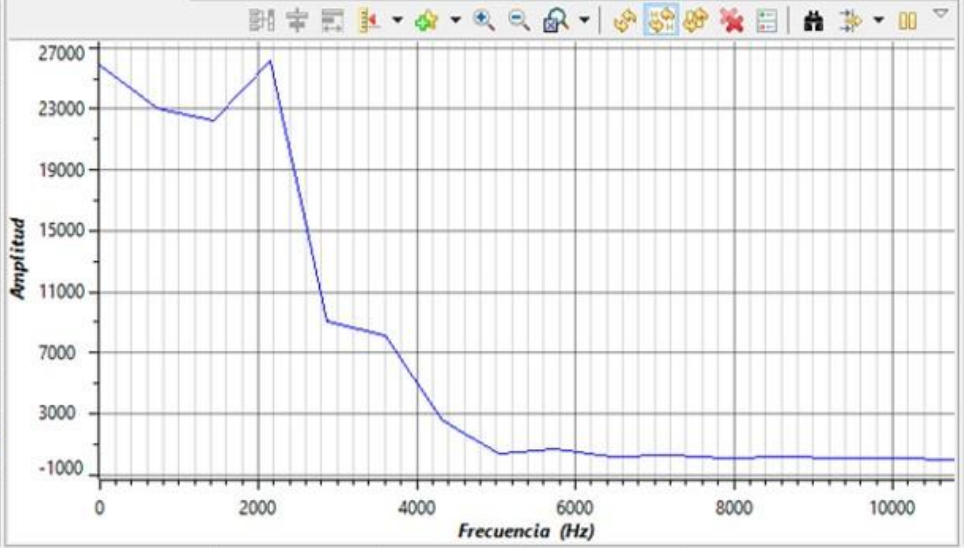

Paso Bajo
Fpass: 3500; Fstop: 4500
Dpass: 0.1; Dstop: 0.001
Orden = 39
Amplitud
Frecuencia (Hz)

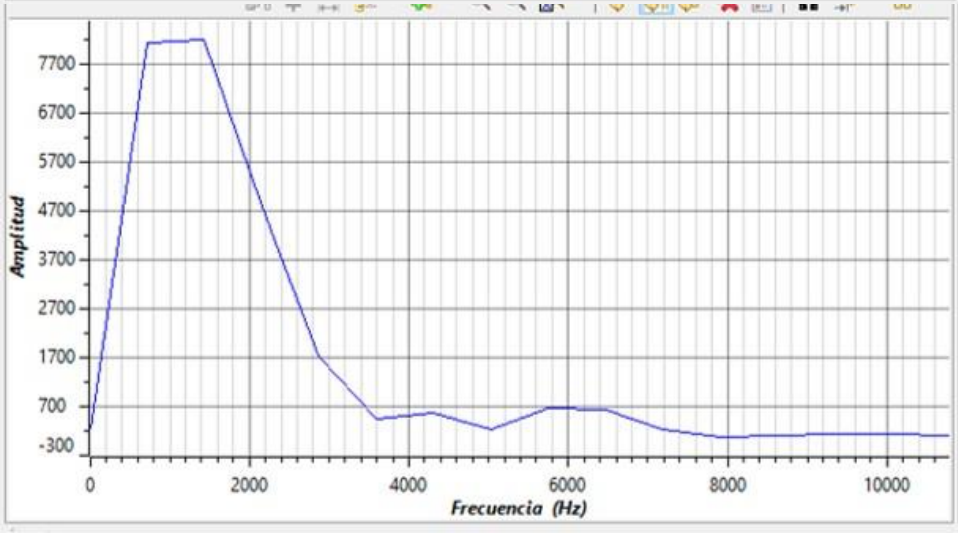

1kHz
Amplitud
Frecuencia (Hz)

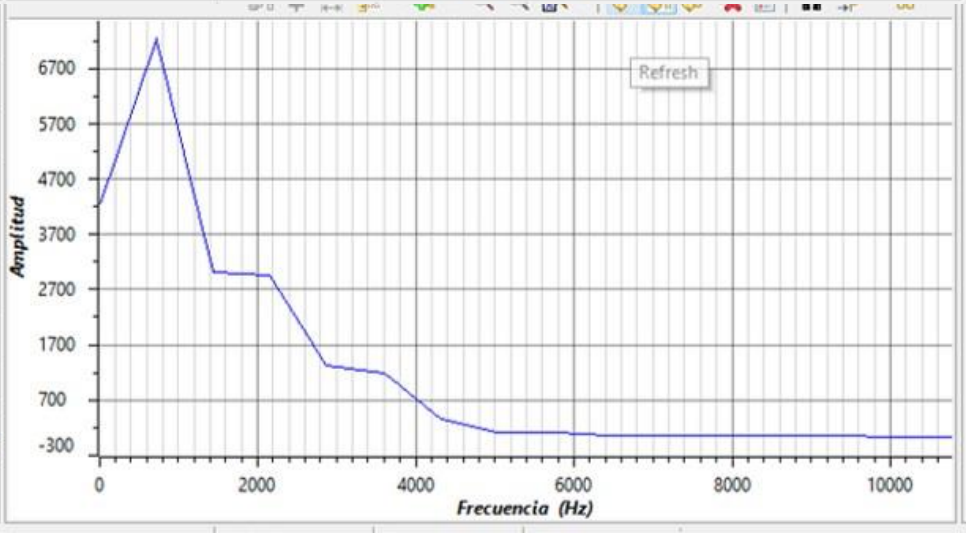

Amplitud
Frecuencia (Hz)


6kHz
Amplitud
Frecuencia (Hz)

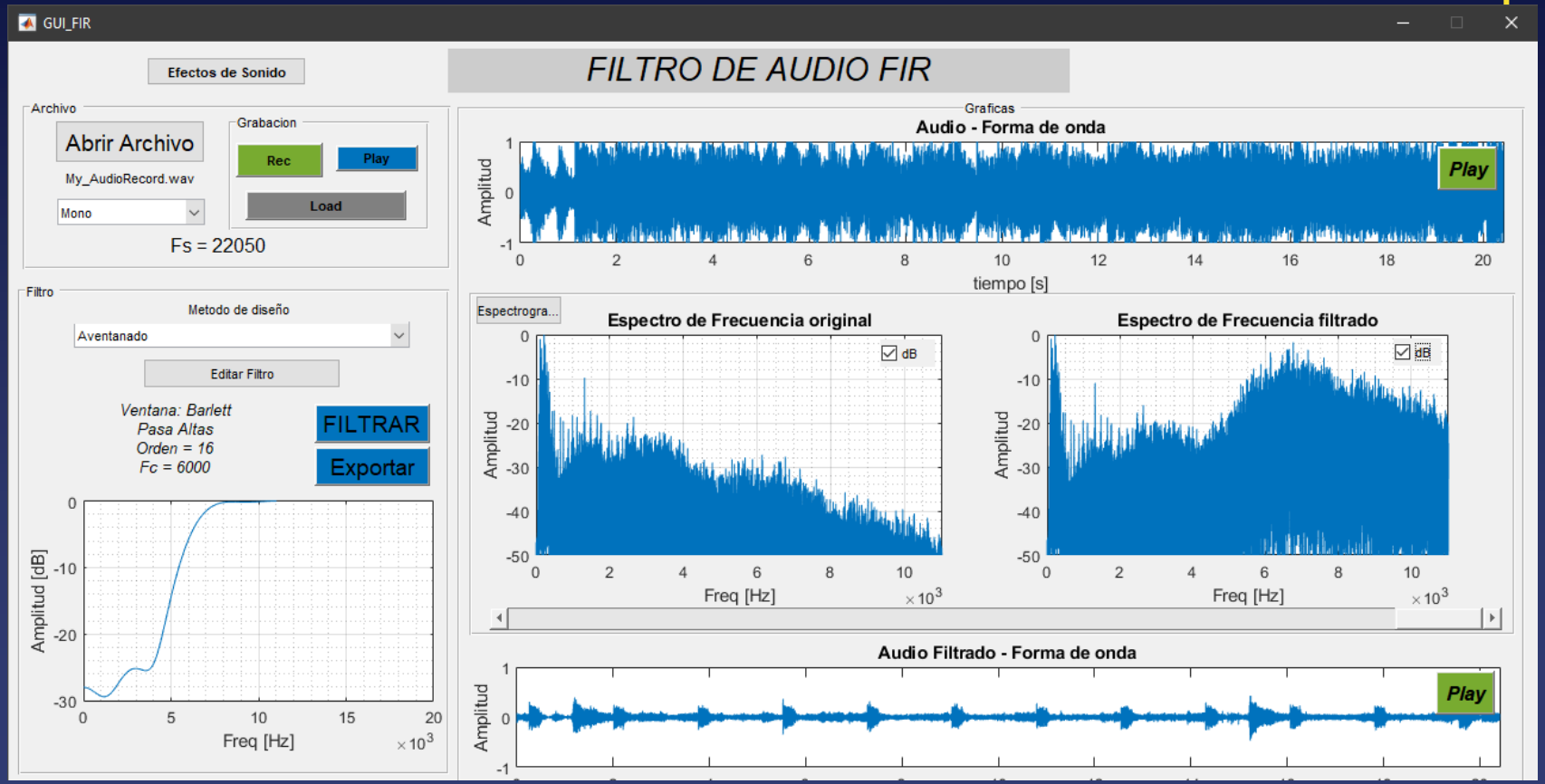

Paso Bajo
Fpass: 3500; Fstop: 4500
Dpass: 0.1; Dstop: 0.001
Orden = 39
Amplitud
Frecuencia (Hz)


Amplitud
Frecuencia (Hz)

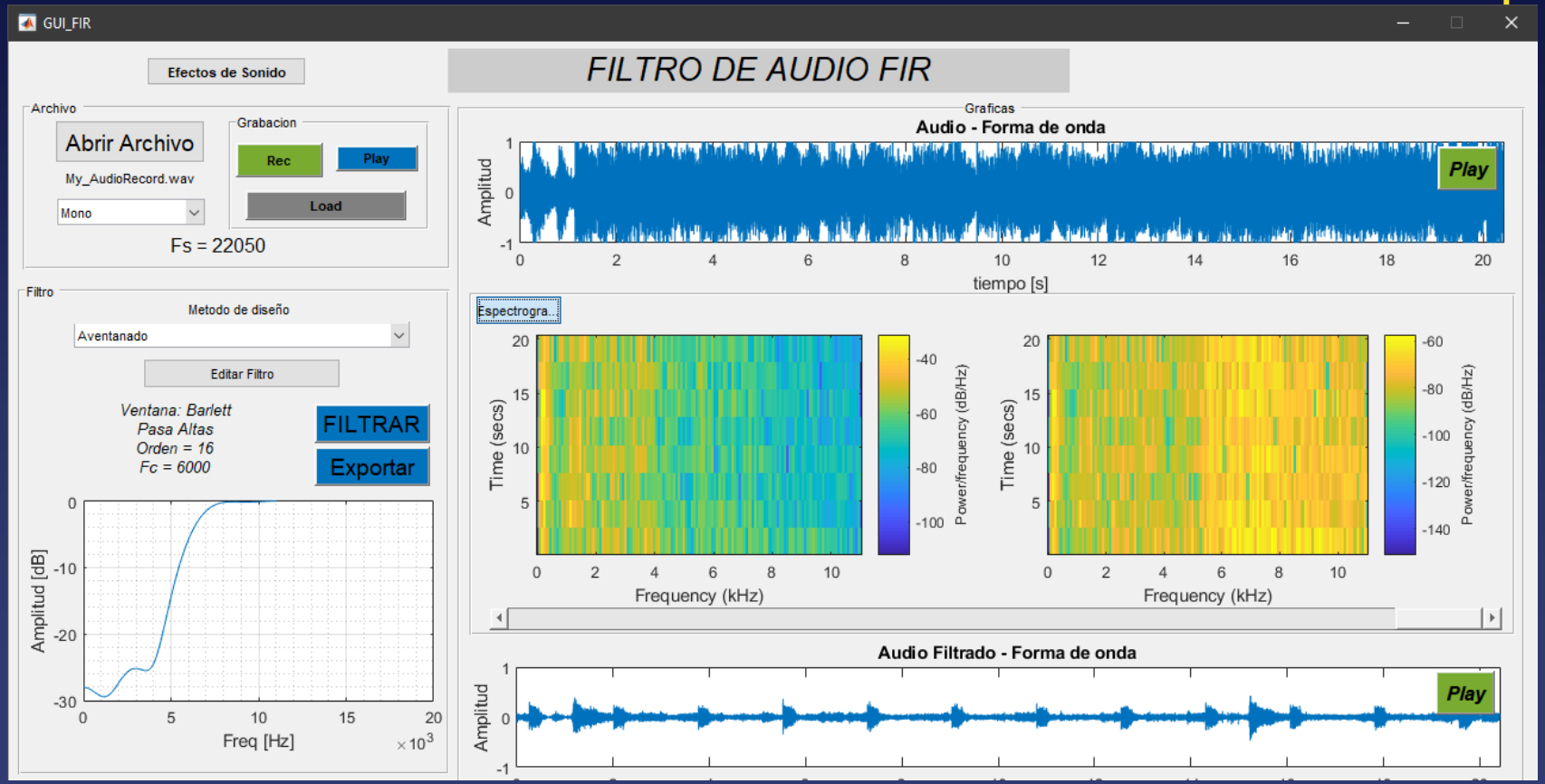

Amplitud
Frecuencia (Hz)

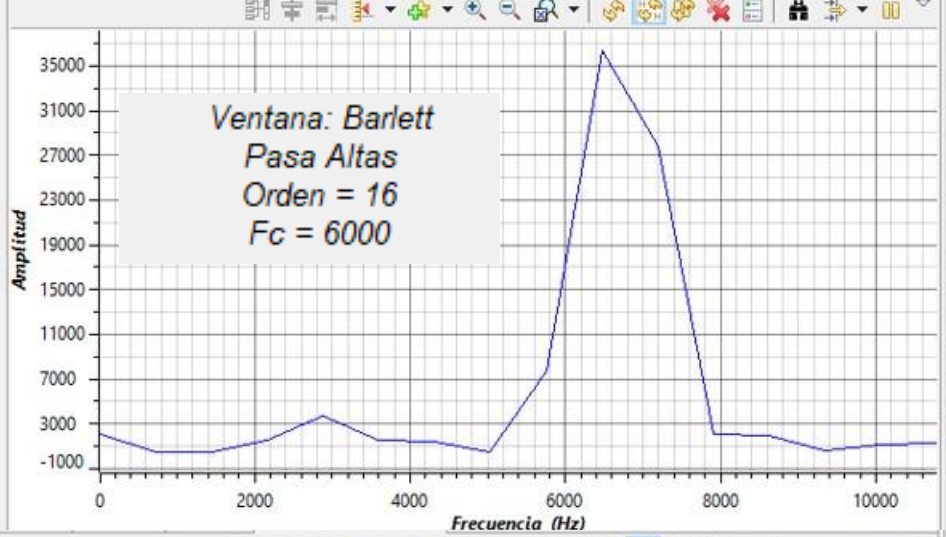

Refresh
Amplitud
Frecuencia (Hz)

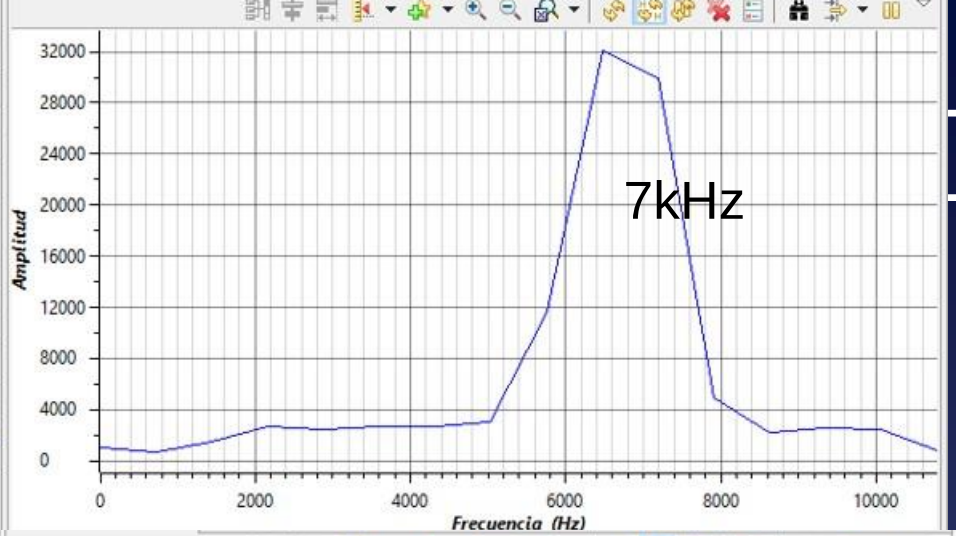
Pasa Altas

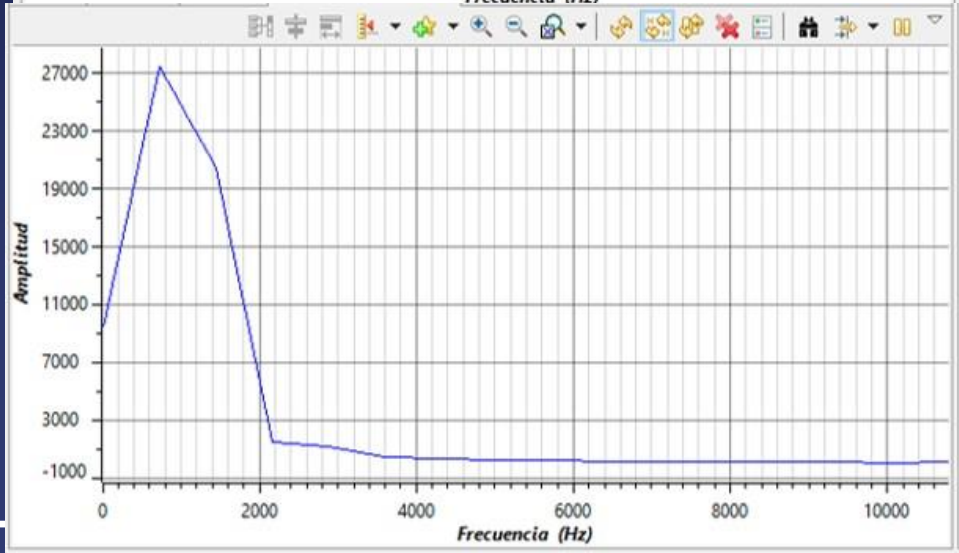

GUI_FIR
Efectos de Sonido
FILTRO DE AUDIO FIR
Archivo
Abrir Archivo
My_AudioRecord.wav
Mono
Fs = 22050
Grabacion
Rec
Play
Load
Filtro
Metodo de diseño
Aventanado
Editar Filtro
Ventana: Barlett
Pasa Altas
Orden = 16
Fc = 6000
FILTRAR
Exportar
Amplitud [dB]
Freq [Hz]
Graficas
Audio - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play
Espectrogra...
Espectro de Frecuencia original
Espectro de Frecuencia filtrado
dB
Amplitud
Freq [Hz]
Audio Filtrado - Forma de onda
Play

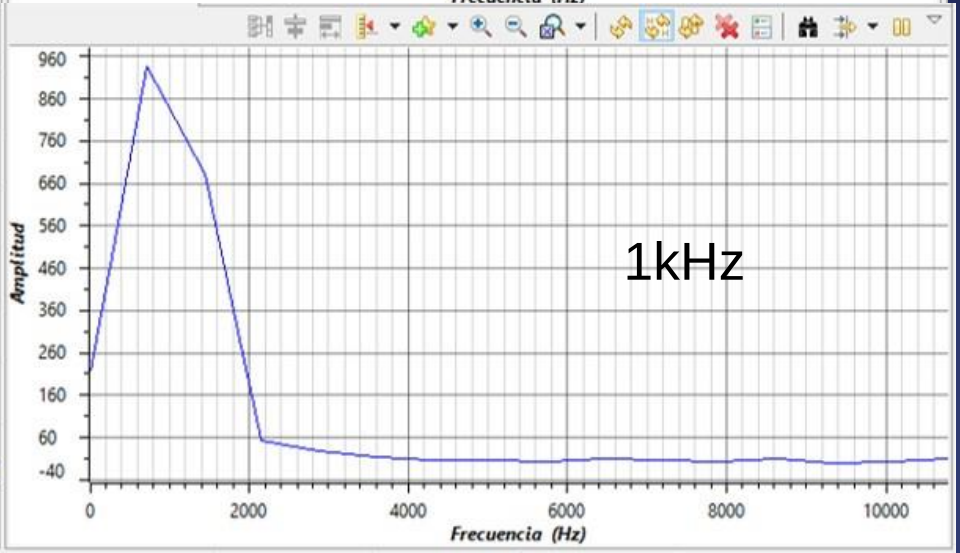
Pasa Altas

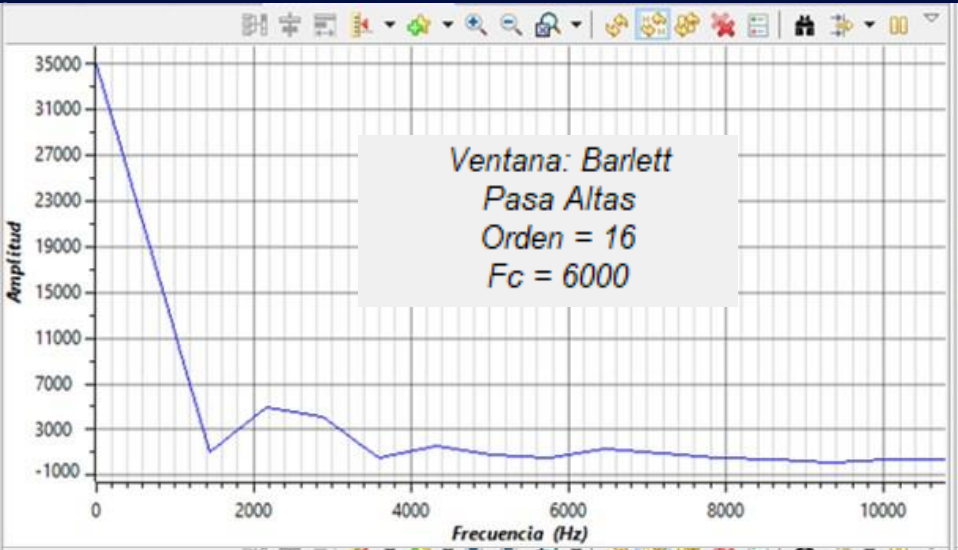

GUI_FIR
Efectos de Sonido
FILTRO DE AUDIO FIR
Archivo
Abrir Archivo
My_AudioRecord.wav
Mono
Grabacion
Rec
Play
Load
Fs = 22050
Filtro
Metodo de diseño
Aventanado
Editar Filtro
Ventana: Barlett
Pasa Altas
Orden = 16
Fc = 6000
FILTRAR
Exportar
Amplitud [dB]
Freq [Hz]
Graficas
Audio - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play
Espectrogra...
Time (secs)
Frequency (kHz)
Power/frequency (dB/Hz)
Audio Filtrado - Forma de onda
Play

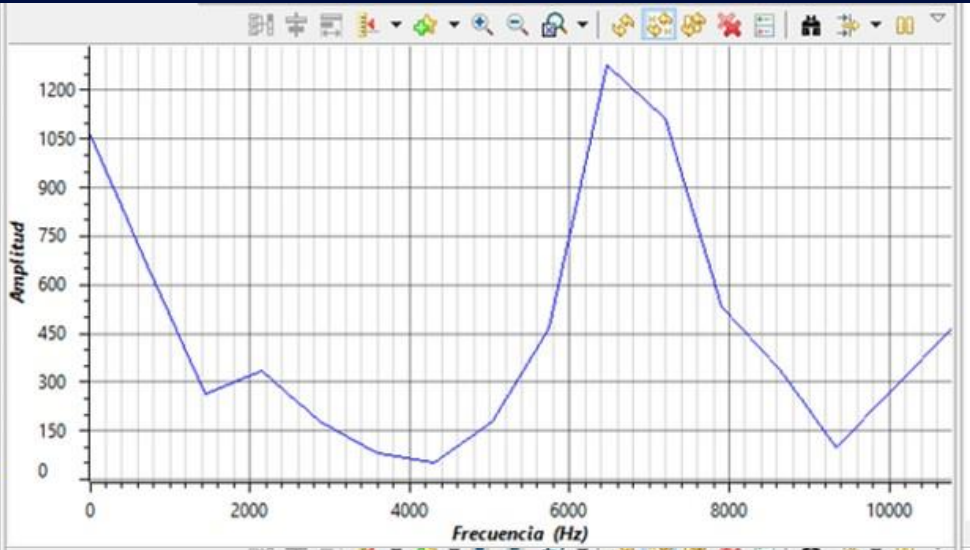

Ventana: Barlett
Pasa Altas
Orden = 16
Fc = 6000
Amplitud
Frecuencia (Hz)

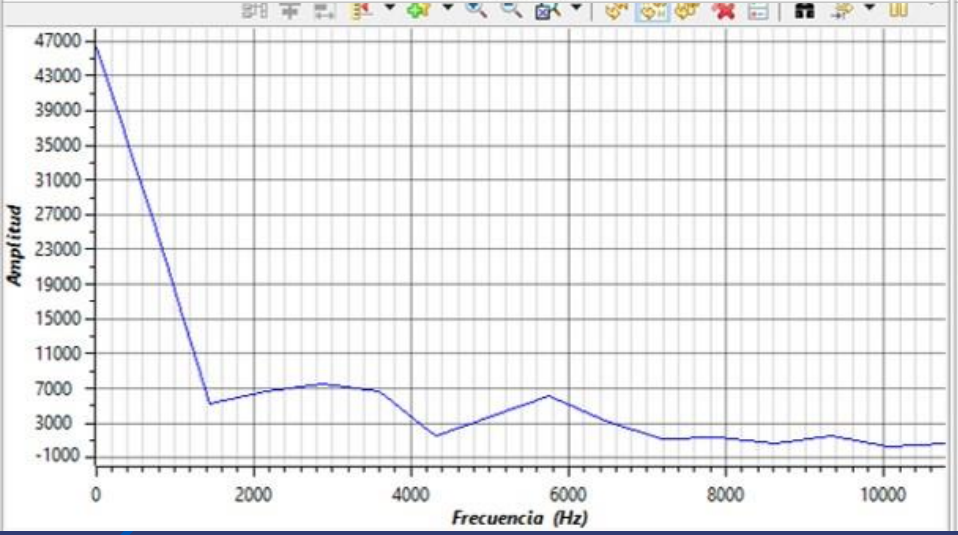

7kHz
Amplitud
Frecuencia (Hz)

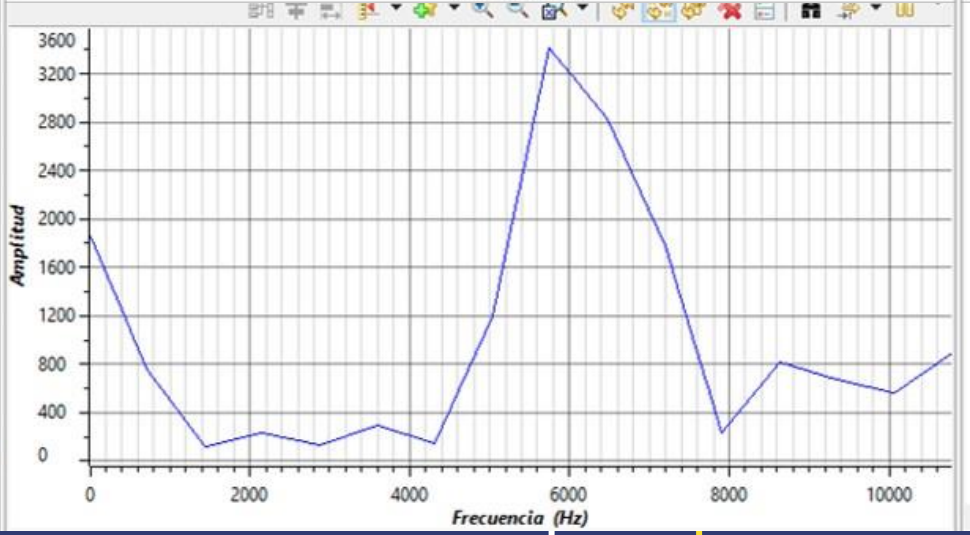

Amplitud
Frecuencia (Hz)


1kHz
Amplitud
Frecuencia (Hz)

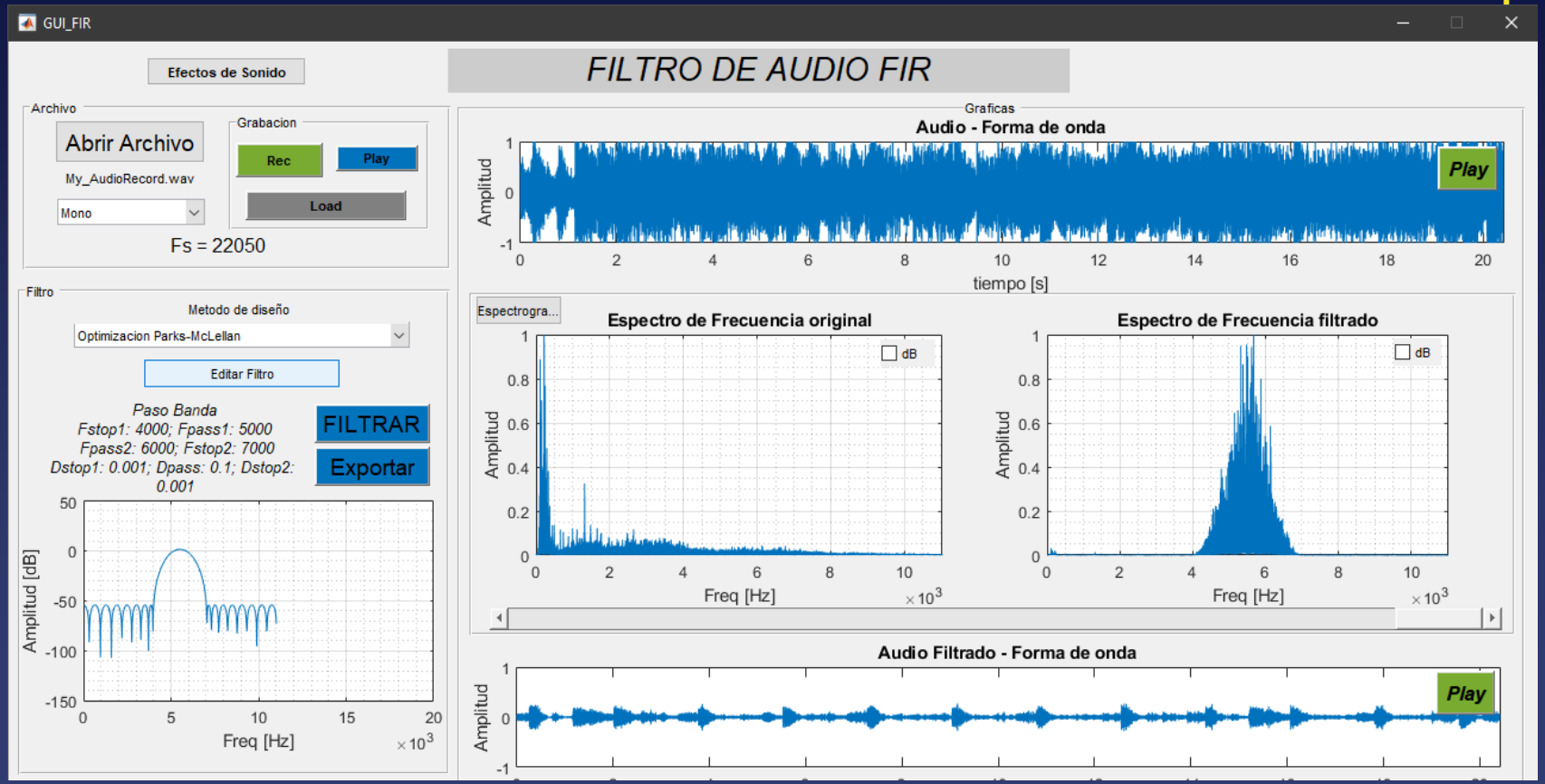

Ventana: Barlett
Pasa Altas
Orden = 16
Fc = 6000
Amplitud
Frecuencia (Hz)


Amplitud
Frecuencia (Hz)

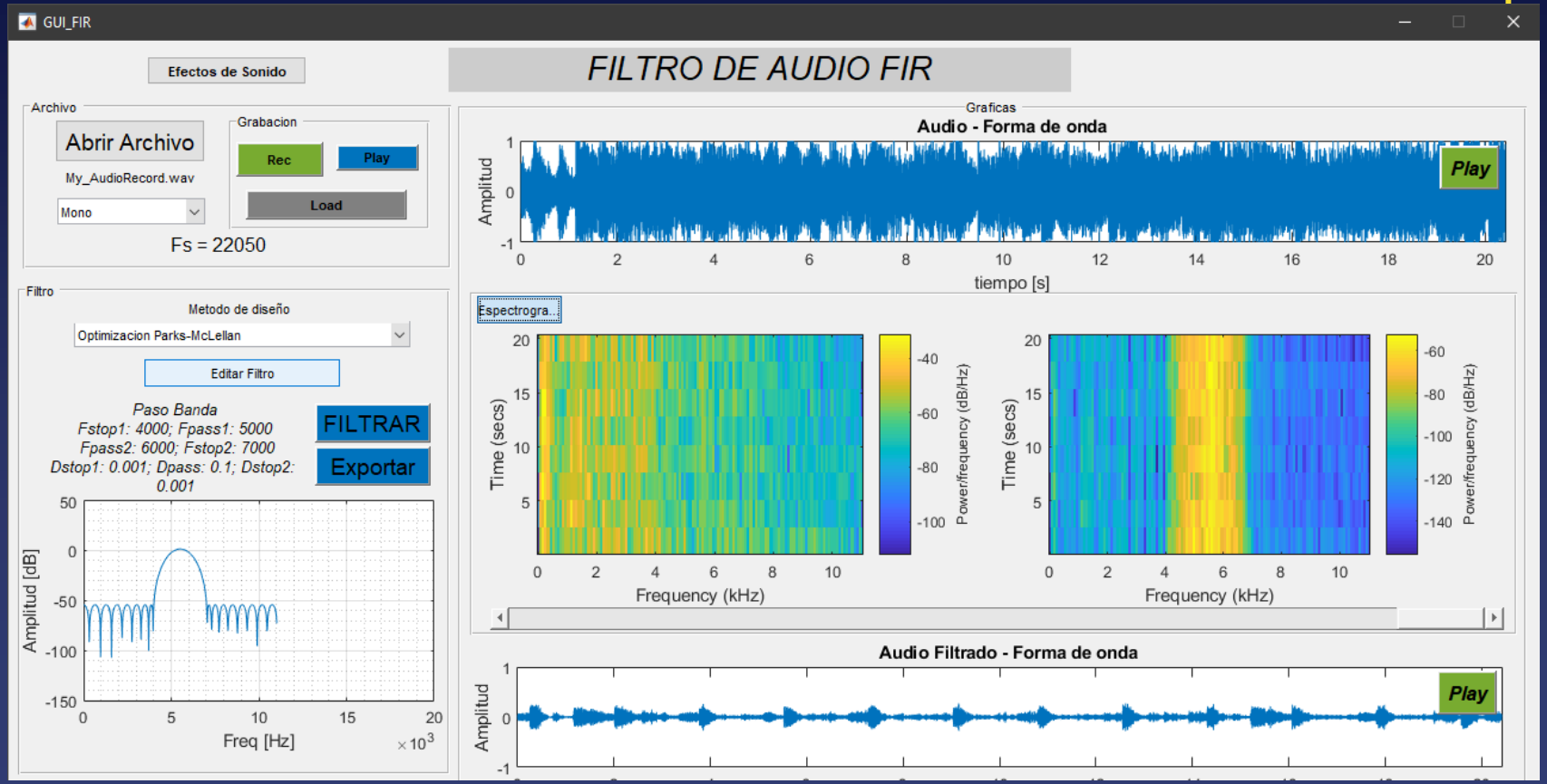

Amplitud
Frecuencia (Hz)

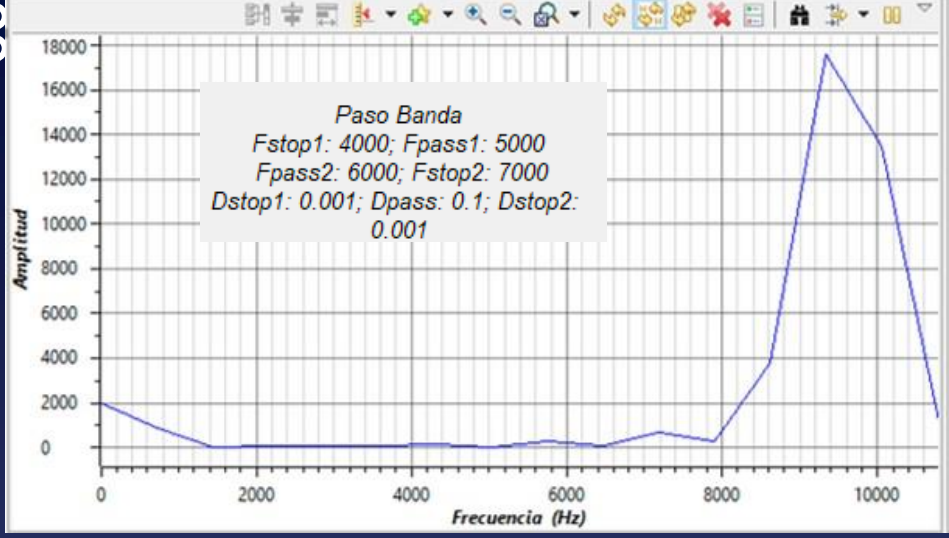

Amplitud
Frecuencia (Hz)

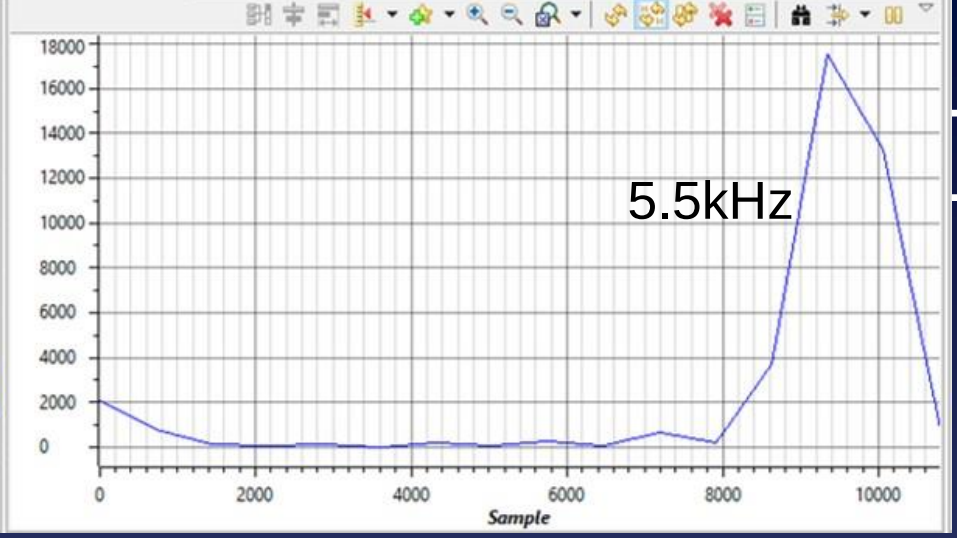
Pasa Banda

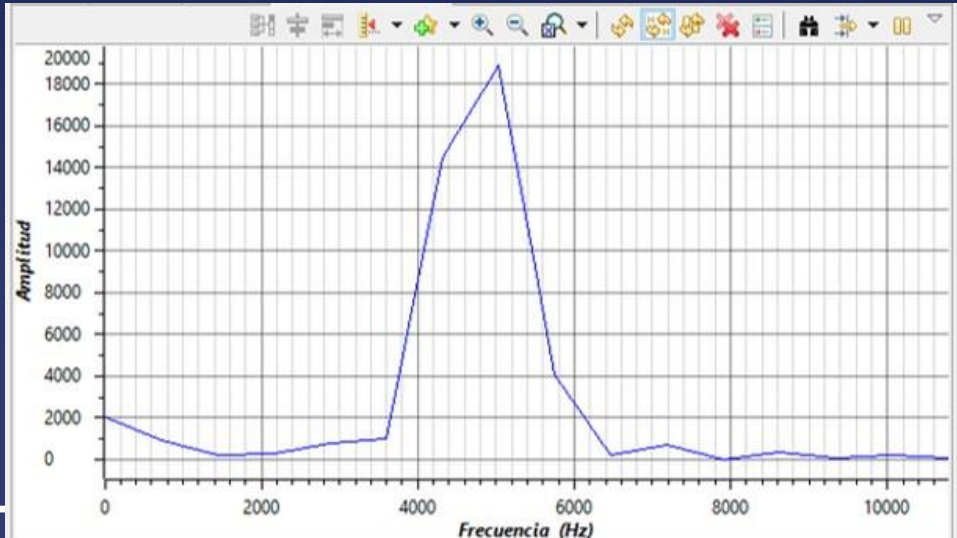

GUI_FIR
Efectos de Sonido
FILTRO DE AUDIO FIR
Archivo
Abrir Archivo
My_AudioRecord.wav
Mono
Grabacion
Rec
Play
Load
Fs = 22050
Graficas
Audio - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play
Filtro
Metodo de diseño
Optimizacion Parks-McLellan
Editar Filtro
Paso Banda
Fstop1: 4000; Fpass1: 5000
Fpass2: 6000; Fstop2: 7000
Dstop1: 0.001; Dpass: 0.1; Dstop2: 0.001
FILTRAR
Exportar
Amplitud [dB]
Freq [Hz]
Espectrogra...
Espectro de Frecuencia original
Espectro de Frecuencia filtrado
dB
Amplitud
Freq [Hz]
Audio Filtrado - Forma de onda
Play

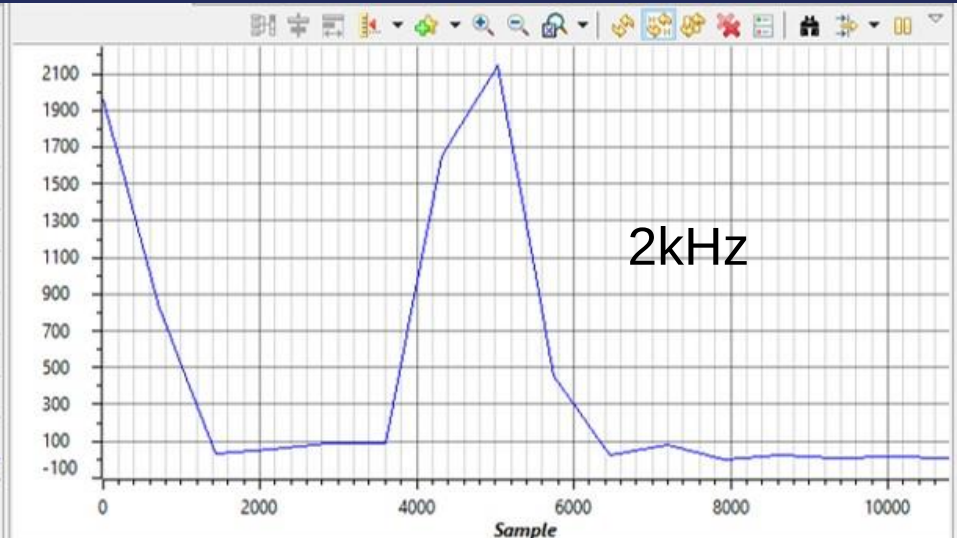
Pasa Banda

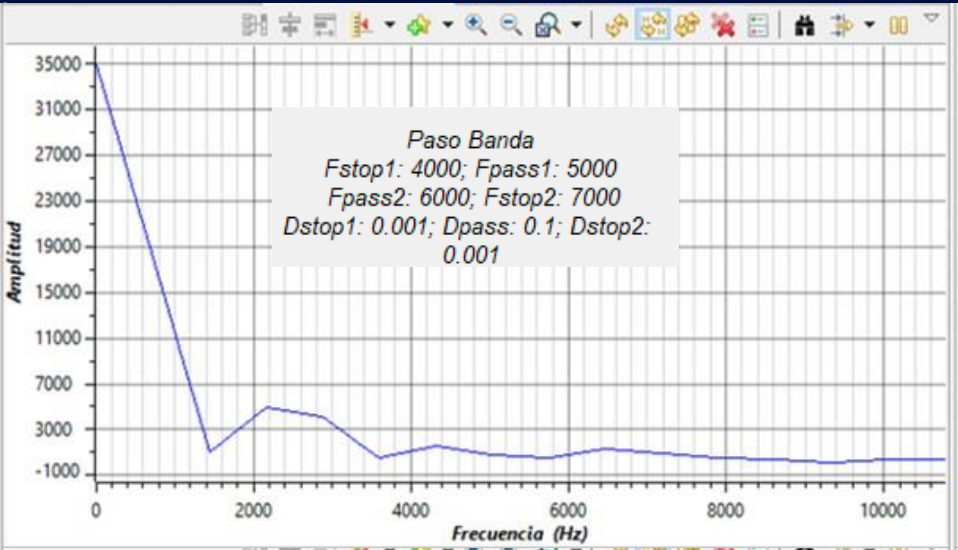

GUI_FIR
Efectos de Sonido
FILTRO DE AUDIO FIR
Archivo
Abrir Archivo
My_AudioRecord.wav
Mono
Fs = 22050
Grabacion
Rec
Play
Load
Filtro
Metodo de diseño
Optimizacion Parks-McLellan
Editar Filtro
Paso Banda
Fstop1: 4000; Fpass1: 5000
Fpass2: 6000; Fstop2: 7000
Dstop1: 0.001; Dpass: 0.1; Dstop2: 0.001
FILTRAR
Exportar
Amplitud [dB]
Freq [Hz]
Graficas
Audio - Forma de onda
Amplitud
tiempo [s]
Play
Espectrogra
Time (secs)
Frequency (kHz)
Power/frequency (dB/Hz)
Audio Filtrado - Forma de onda
Play

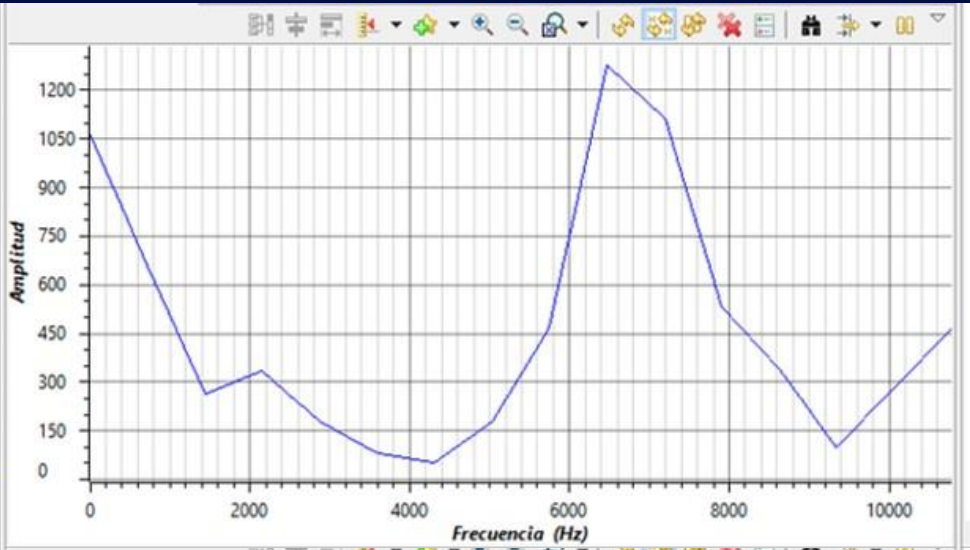

Paso Banda
Fstop1: 4000; Fpass1: 5000
Fpass2: 6000; Fstop2: 7000
Dstop1: 0.001; Dpass: 0.1; Dstop2: 0.001
Amplitud
Frecuencia (Hz)

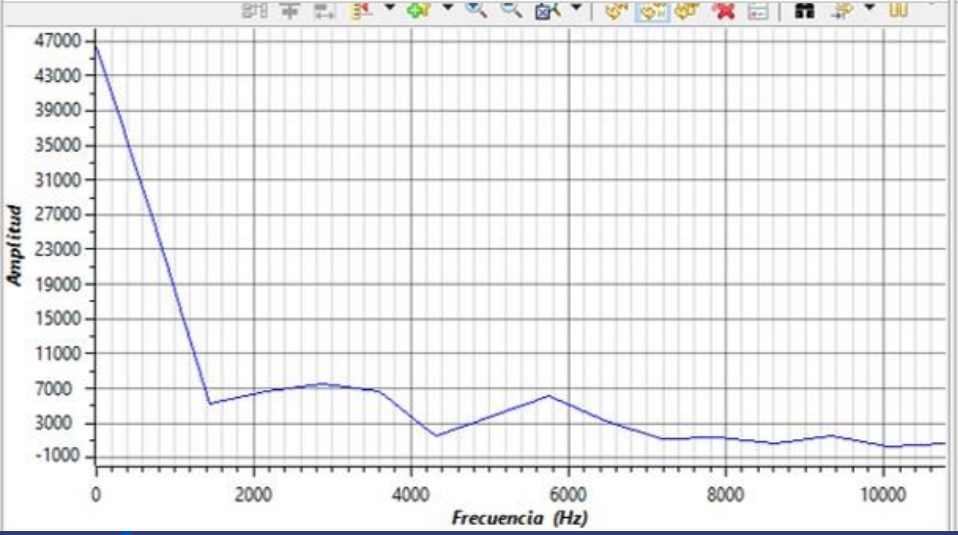

5.5kHz
Sample

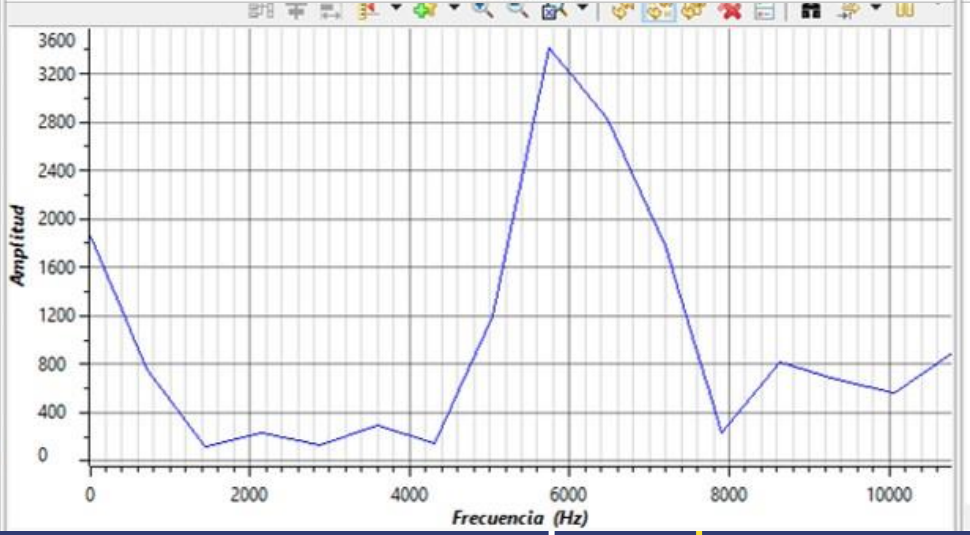

Amplitud
Frecuencia (Hz)


2kHz
Sample

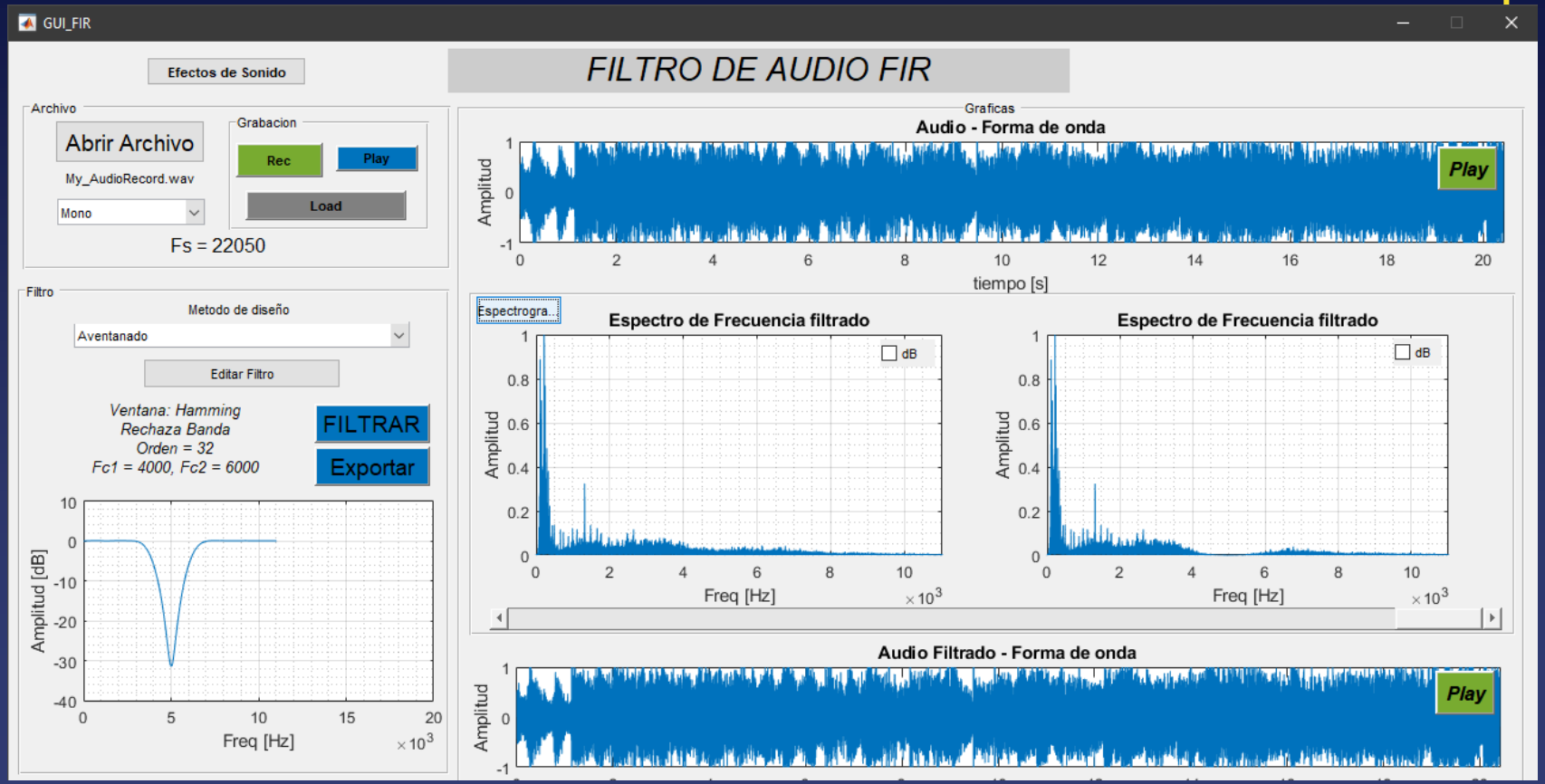

Paso Banda
Fstop1: 4000; Fpass1: 5000
Fpass2: 6000; Fstop2: 7000
Dstop1: 0.001; Dpass: 0.1; Dstop2: 0.001
Amplitud
Frecuencia (Hz)


Amplitud
Frecuencia (Hz)

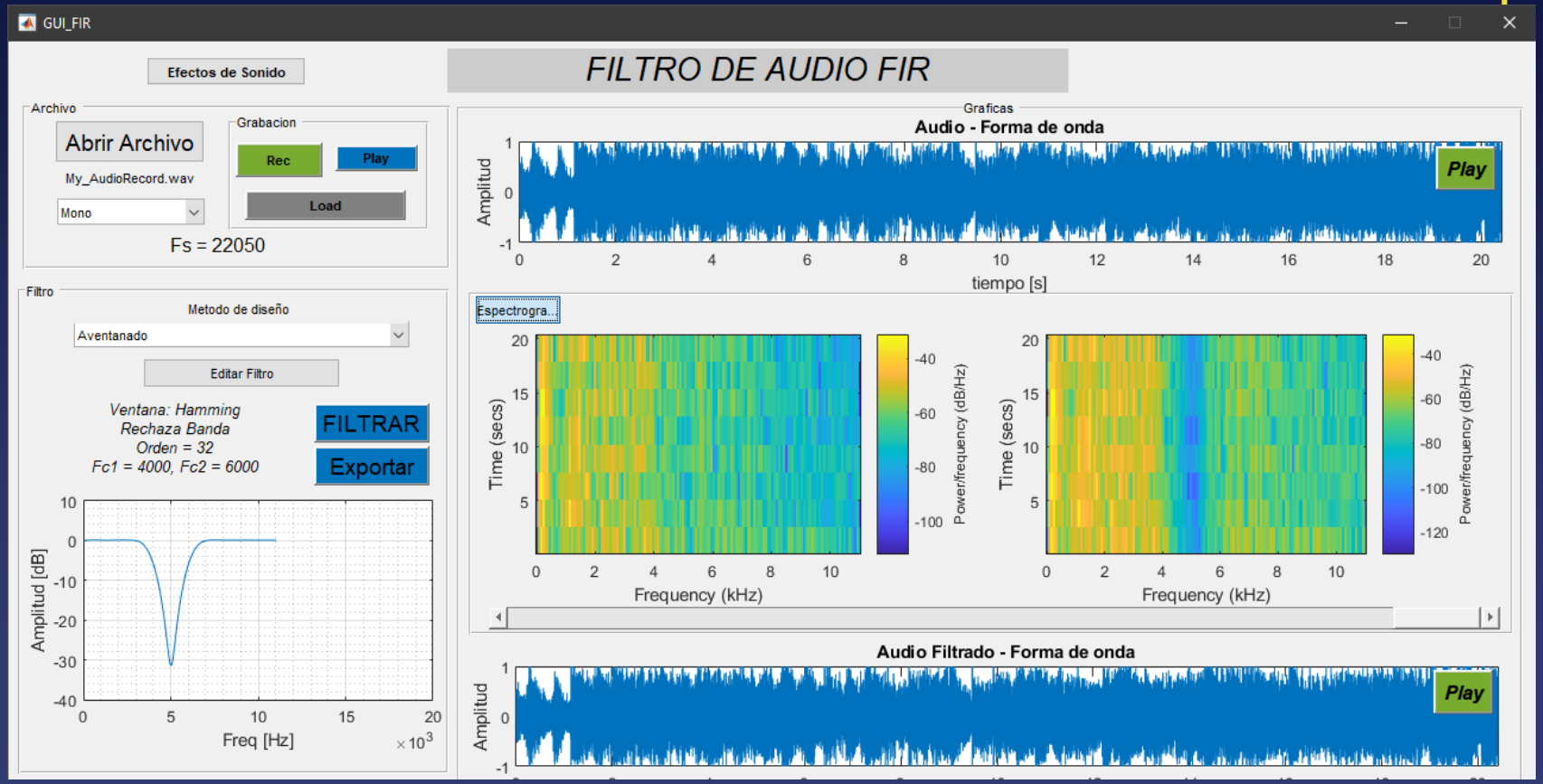

Amplitud
Frecuencia (Hz)

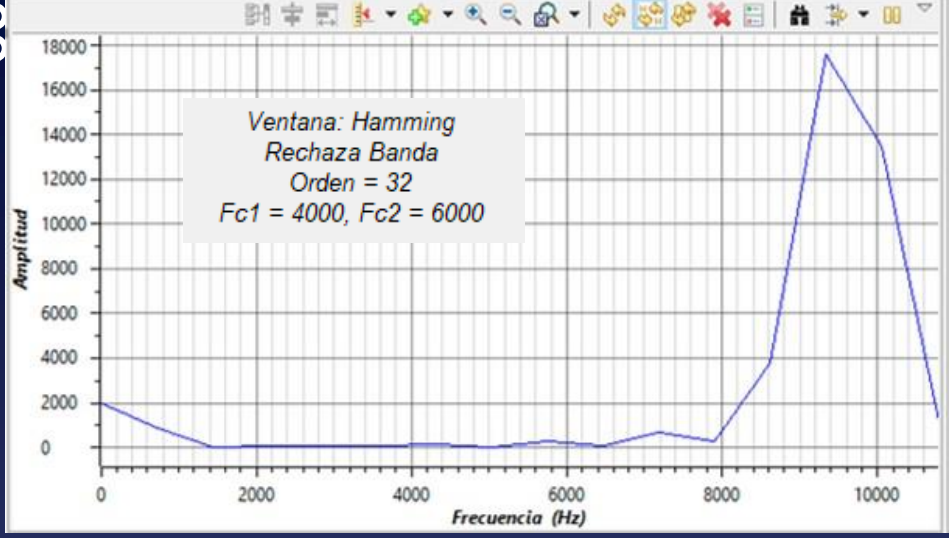

Amplitud
Frecuencia (Hz)

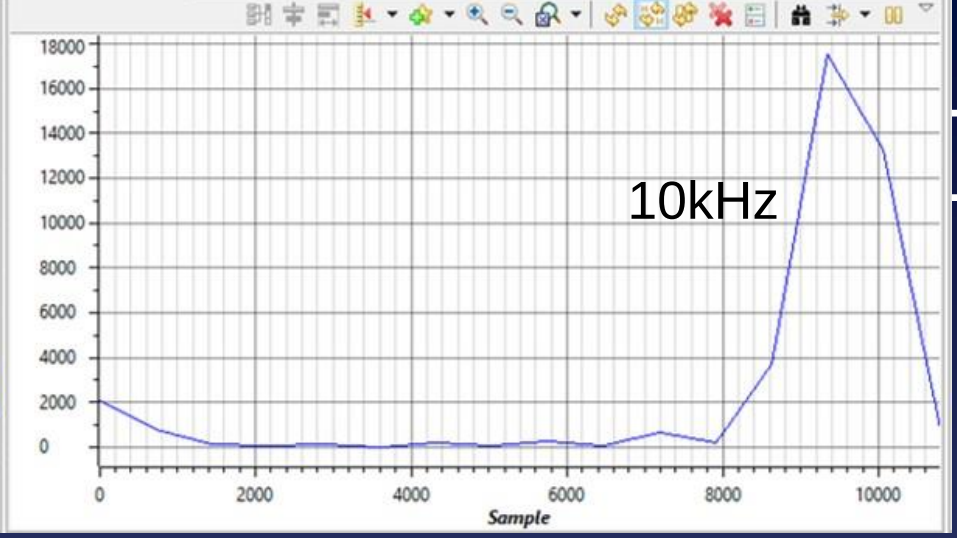
Rechazo Banda

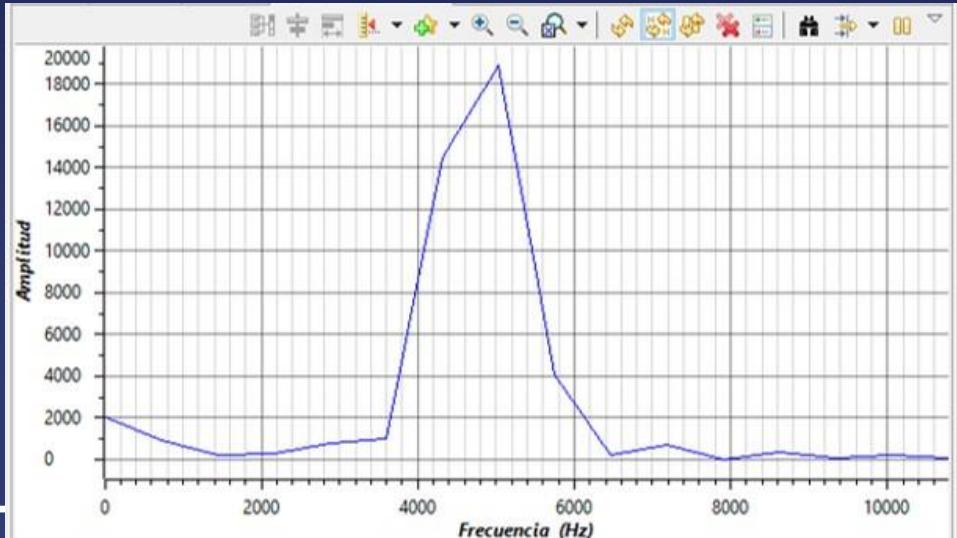


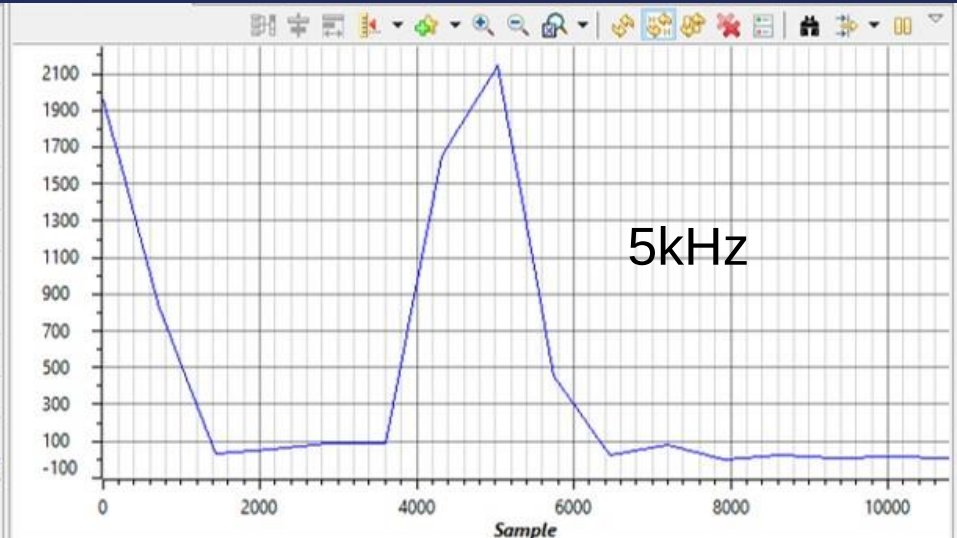
Rechazo Banda

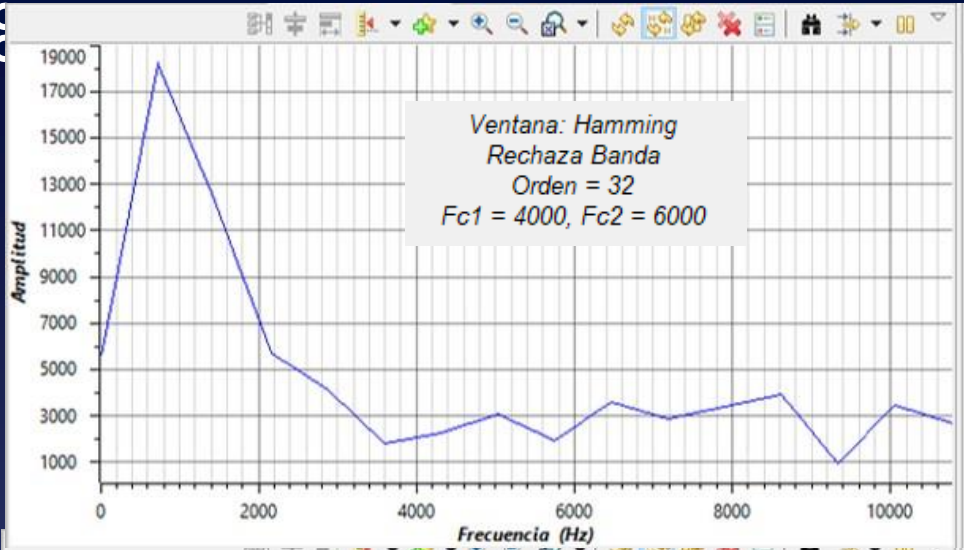


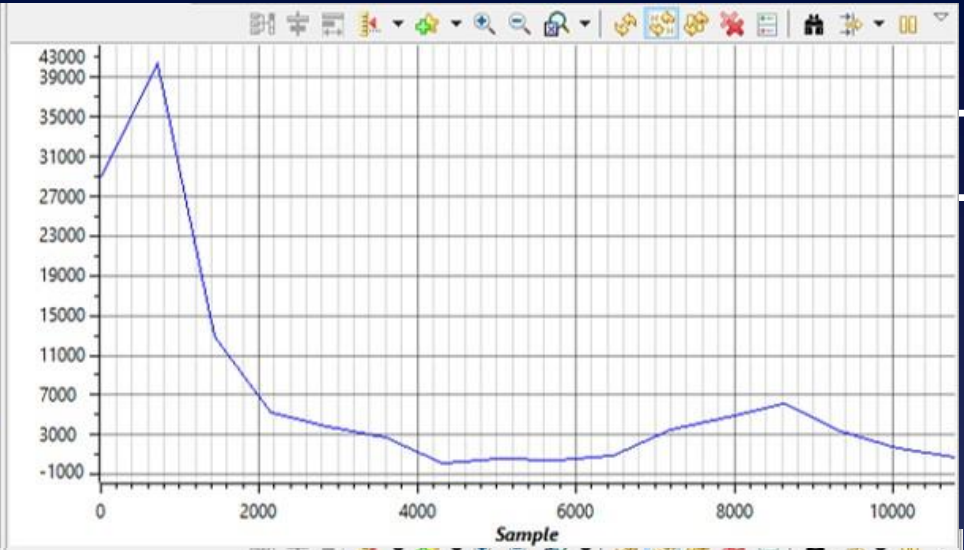

Ventana: Hamming
Rechaza Banda
Orden = 32
Fc1 = 4000, Fc2 = 6000
Amplitud
Frecuencia (Hz)

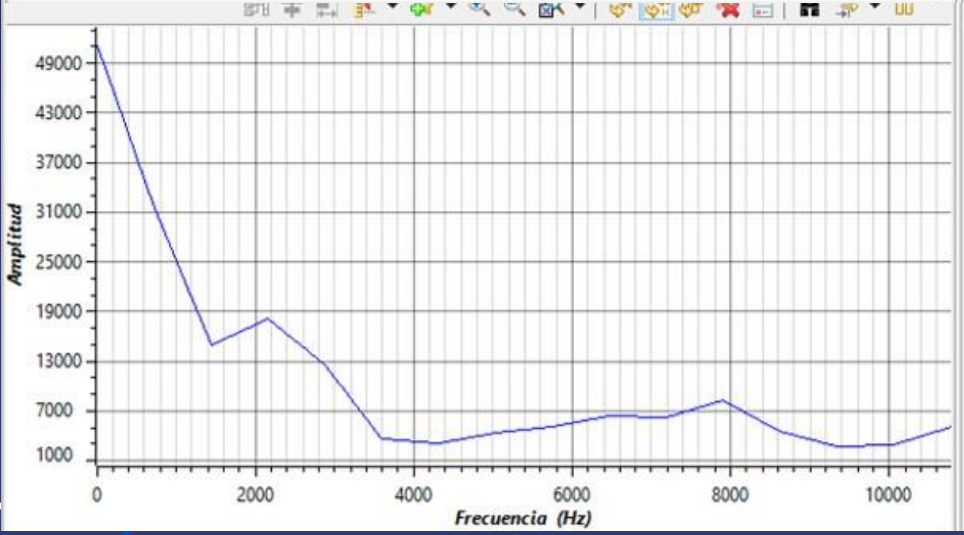

10kHz
Sample

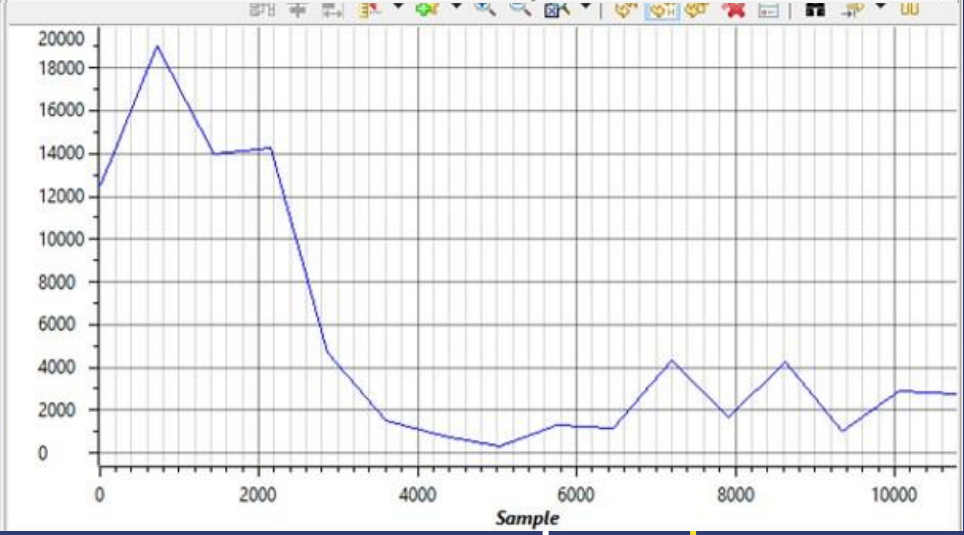

Amplitud
Frecuencia (Hz)


5kHz
Sample


Ventana: Hamming
Rechaza Banda
Orden = 32
Fc1 = 4000, Fc2 = 6000
Amplitud
Frecuencia (Hz)


Sample


Amplitud
Frecuencia (Hz)


Sample

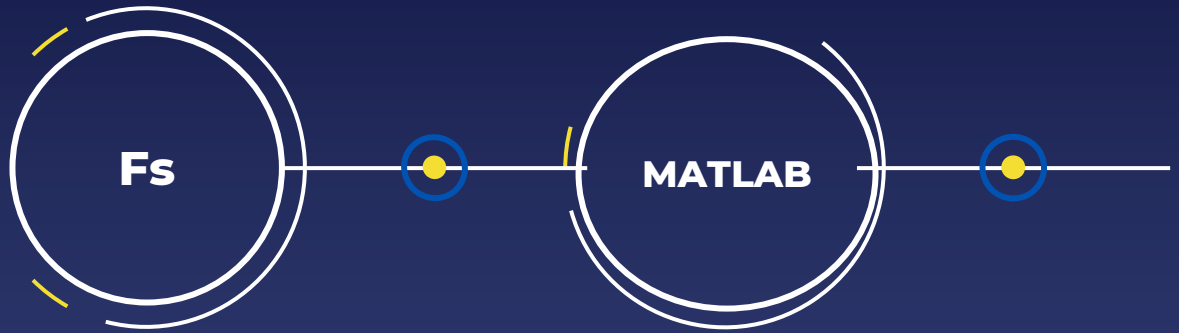
Conclusiones

Tiempo invertido para el desarrollo de la GUI vs Filter Desingner

Lectura de Archivos en GUI

Muy útil cuando se logra comunicar

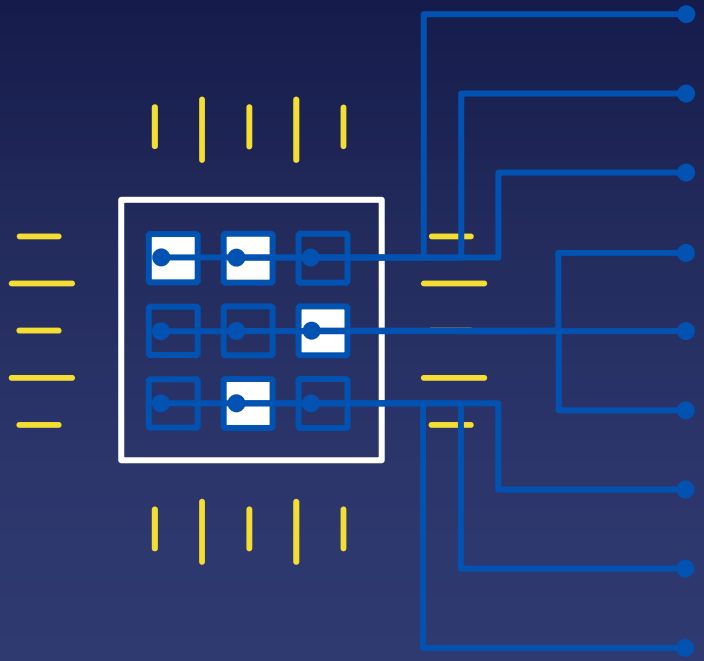
Conclusiones



La frecuencia de muestreo vs La resolución

Excelente documentación

Trabajo a Futuro



Opción para elegir la Frecuencia de muestreo en la GUI.

Frecuencia de muestro para grabación de voz en la GUI.

Más métodos de diseño.

Mejorar las gráficas en CCS.

Incluir más periféricos de la tarjeta.

GRACIAS

CONTACTO

LinkedIn	www.linkedin.com/in/francisco-nav-pad
Teléfono	+52 461 253 6667
EMAIL	16030577@itcelaya.edu.mx