

**CURSO: PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES**  
**PROFESOR: M. I. JORGE ANTONIO POLANÍA P.**

## **LABORATORIO No 6: FILTROS FIR Y ESTRUCTURAS**

### **PROCEDIMIENTO**

#### **1. VENTANAS PARA FILTROS FIR**

Utilizando wvtool grafique las respuesta de las ventanas en el diseño de filtros FIR, en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia (Fourier). Compruebe con la herramienta

```
>>wvtool
```

```
N=50; %número de puntos de la ventana
```

```
%ventana rectangular
```

```
wr=rectwin(N);
```

```
wvtool(wr)
```

```
%ventana de Bartlett
```

```
wb=bartlett(N);
```

```
wvtool(wb)
```

```
%ventana de Hanning
```

```
whan=hann(N);
```

```
wvtool(whan)
```

```
%ventana de Hamming
```

```
wham=hamming(N);
```

```
wvtool(wham)
```

```
%ventana de Blackman
```

```
wbl=blackman(N);
```

```
wvtool(wbl)
```

```
%ventana de Kaiser
```

```
beta=2.5;
```

```
wk=kaiser(N,beta);
```

```
wvtool(wk)
```

#### **2. USO DEL COMANDO FIR1**

Diseñar un filtro digital fir pasabanda de 350 a 650 Hz de orden 50, frecuencia de muestreo de 2000 Hz. Use ventana de Hamming. Observe su respuesta en frecuencia y de su fase. Encuentre la atenuación en la banda stop. Compruebe con la herramienta

```
>>fdatool
```

```
b=fir1(n,wn,'ftype',ventana)
```

```
%Uso de la ventana de Hamming
```

```
n=50;
```

```
wn=[350/1000 650/1000];
```

```
b=fir1(n,wn);  
freqz(b,1,512)
```

Diseñe el filtro anterior para que haya una atenuación en la banda stop menor a 70 dB.  
Compruebe usando la herramienta  
>>fdatool

```
%uso de la ventana Blackman  
N=n+1;  
b=fir1(n,wn,blackman(N));  
freqz(b,1,512)
```

### 3. USO DEL COMANDO FILTFILT

El comando filtfilt filtra la señal con distorsión cero, modifica la amplitud elevándola al cuadrado. Analizar el siguiente programa y el filtrado de la señal:

```
fs=1000;  
t=0:1/fs:.1;  
x=2*sin(2*pi*t*30)+0.25*sin(2*pi*t*400);  
n=10; wn=50/500;  
N=n+1;  
b=fir1(n,wn,'low',hann(N));  
y=filtfilt(b,1,x);  
plot(t,x,'r',t,y,'g')
```

### 4. USO DEL COMANDO KAISERORD

Es un comando utilizado para estimar el orden de un filtro FIR.

```
[n,wn,beta,ftype]=kaiserord(fcorte,mags,devs,fs)
```

```
b=fir1(n,wn,ftype,kaiser(N,beta))
```

Diseñar un filtro pasa-bajo con frecuencias de corte en 1500 Hz (banda de paso) y en 2000 Hz (banda stop), con riple en banda de paso de 0.01, riple en banda stop de 0.1 y frecuencia de muestreo de 8000 Hz.

```
fs = 8000;  
fcorte = [1500 2000];  
mags = [1 0];  
devs = [0.01 0.1];  
[n,wn,beta,ftype] = kaiserord(fcorte,mags,devs,fs);  
N=n+1;  
b = fir1(n,wn,ftype,kaiser(N,beta));  
%b=fir1(n,wn,hamming(N))  
freqz(b)
```

Encuentre el orden del filtro, la frecuencia de corte, el valor de beta de la ventana de Kaiser y la respuesta en frecuencia. Repita para la ventana de Hamming.

## 5. USO DEL COMANDO FIR2

A diferencia del FIR1 que solamente se utiliza para diseñar filtros de configuraciones estándar (pasa-bajo, pasa-alto, pasa-banda, banda-stop) el fir2 se utiliza para diseño de filtros con banda arbitraria.

```
b=fir2(n,f,m, ventana)
```

n es el orden del filtro, f es el vector de frecuencias entre 0 y 1, m la magnitud correspondiente a cada f.

Diseñar un filtro fir de orden 30 pasa-bajo con frecuencias y magnitudes de 0, 400, 500, 1000 Hz y m=[1 1 0 0] con frecuencia de muestreo de 2000 Hz. Use ventana de Hanning

```
f=[0 0.4 0.5 1];  
m=[1 1 0 0];  
b=fir2(30,f,m,hann(31));  
[h,w]=freqz(b,1,128);  
plot(f,m,'r',w/pi,abs(h),'g')
```

## FILTROS FIR MULTIBANDA

## 6. ALGORITMO LEAST-SQUARES, PARKS McCLELLAN

Diseñe un filtro simétrico pasa-bajo de orden 20 (Tipo I) utilizando el algoritmo de mínimos cuadrados, con amplitud aproximada de 1 entre 0 a 0.4 Hz y amplitud aproximada de 0 entre 0.5 a 1.0 Hz. Grafique la respuesta en frecuencia. Encuentre la función de transferencia.

```
n=20;  
f=[0 0.4 0.5 1];  
m=[1 1 0 0];  
b=firls(n,f,m);  
freqz(b,1)
```

Repita el diseño anterior con el algoritmo de Parks-McClellan.

```
bb=firpm(n,f,m);
```

Use la herramienta fvtool (filter visualization tool) para comparar los diseños.

```
fvtool(b,1,bb,1)  
legend('ls','pm')
```

Cuál de los dos algoritmos da mejor respuesta en la banda de transición y cuál tiene mejor respuesta en la banda-paso y banda-stop.

## 7. PONDERACIÓN EN LAS BANDAS

Para el filtro anterior, diseñe un filtro equiriple con con 10 veces más ripple en la banda-stop que en la banda de paso.

```
n=20;
f=[0 0.4 0.5 1];
m=[1 1 0 0];
W=[1 10];
b=firpm(n,f,m,W);
fvtool(b,1)
```

## 8. FILTROS ANTISIMÉTRICOS

Son los correspondientes a los Tipo III (n es par) y Tipo IV (n impar). Usa los algoritmos de diferenciación o la Transformada de Hilbert. Válido para firls o firpm.

Diseñe los filtros siguientes pasa-alto y pasa-banda usando el algoritmo de la “Transformada Hilbert”

```
% Pasa alto
b=firpm(21,[0.05 1],[1 1],'h');
%Pasa banda
bb=firpm(20,[0.05 0.95],[1 1],'h');
%compara las respuestas en frecuencia
fvtool(b,1,bb,1)
legend('PasaAlto','PasaBanda')
```

Compruebe la antisimetría observando los coeficientes del filtro obtenidos.

Pruebe con este programa que la Transformada de Hilbert produce un corrimiento de fase de 90° a la señal original.

```
t=0:0.001:1;
x=sin(2*pi*60*t);
y=hilbert(x);
plot(t(1:50),real(y(1:50)),'r');
hold on
plot(t(1:50),imag(y(1:50)),'g');
hold off
grid
legend('Real','Imag')
```

Compruebe los siguientes filtros antisimétrico con el algoritmo de “Diferenciación”

```
%Tipo III
b=firpm(20,[0 0.9],[0 0.9*pi],'d')
%Tipo IV
bb=firpm(21,[0 1],[0 pi],'d')
```

```
fvtool(b,1,bb,1)
legend('Tipo III','Tipo IV')
```

Experimente estos filtros con la herramienta *fvtool* (filter design analysis tool) con las opciones brindadas.

Diseñe un filtro pasa bajo de orden 3 con frecuencia de corte en banda de paso de 500 Hz y frecuencia de corte de 600 Hz en la banda stop. La frecuencia de muestreo es de 2000 Hz, con atenuación de 40 dB en la banda stop y al menos 3 dB de ripple en la banda de paso.

Sintaxis: `[n,fo,mo,w] = firpmord(f,m,dev,fs)`

```
Rp = 3;           % Ripple pasa banda
Rs = 40;         % Ripple banda stop
fs = 2000;       % Frecuencia de muestreo
f = [500 600];  % Frecuencias de corte
m = [1 0];      % Magnitud deseada
```

```
% Cálculo de las desviaciones
dp=(10^(Rp/20)-1)/(10^(Rp/20)+1);
ds=10^(-Rs/20);
dev = [dp ds];
[n,fo,mo,w] = firpmord(f,m,dev,fs);
b = firpm(n,fo,ao,w);
freqz(b,1,1024,fs);
```

## 9. ALGORITMO MÍNIMO CUADRADO RESTRINGIDO CLS (Constrained Least squares)

Diseñe un filtro de orden 61 y frecuencia de corte de 0.3 normalizado, con máxima desviación en la banda de paso de 0.02 y máxima desviación en la banda stop de 0.008

Sintaxis: `b=fircls1(n,wo,dp,ds,'high')`

Filtro pasa bajo:

```
n=61;
wo=0.3;
dp=0.02;
ds=0.008;
b=fircls1(n,wo,dp,ds);
fvtool(b,1)
```

Filtro multibanda:

```

n=129;
f=[0 0.3 0.5 0.7 0.9 1];
m=[0 0.5 0 1 0];
dp=[ 0.005 0.51 0.03 1.02 0.05];
ds=[-0.005 0.49 -0.03 0.98 -0.05];
b=fircls(n,f,m,up,lo);
fvtool(b,1)

```

## 10. RESPUESTA ARBITRARIA DE UN FILTRO

Para diseñar filtros FIR con respuestas arbitrarias complejas se usa la función `cfirpm`. El algoritmo utiliza el error de Chebyshev usando el algoritmo extendido de Remez.

Sintaxis: `b=cfirpm(n,f,m,W)`

Simule el filtro:

```

b=cfirpm(38,[-1 -0.5 -0.4 0.3 0.4 0.8],[5 1 2 2 2 1],[1 10 5]);
fvtool(b,1)

```

Observe la respuesta en la fase.

## ESTRUCTURA DE FILTROS

### 11. FORMA DIRECTA I

Diseñe un filtro digital IIR pasa bajo de orden 5, con frecuencia de corte de 200 Hz y frecuencia de muestreo de 1000 Hz, use el algoritmo de Butterworth y estructura Forma Directa I. La estructura del filtro es la de Forma Directa I. Observe el comportamiento del filtro simulándolo con la herramienta `fdatool`, utilizando del menú el comando `Edit` → `Convert Structure`. Encuentre el diagrama Simulink, la función de transferencia y la correspondiente ecuación en diferencias. Los coeficientes del filtro se pueden observar en el ícono  de `fdatool`.

Utilizando el comando `y=filter(Hd,x)` de Matlab, encuentre la salida del filtro para una entrada igual a:

```

f1=30; f2=400; x=2*sin(2*pi*f1*t)+0.25*sin(2*pi*f2*t);

```

## 12. FORMA DIRECTA TRANSPUESTA Y SOS (Bicuadrática)

Repita el punto anterior para el mismo filtro pero con estructura Forma Directa I SOS (Second Order Sections). Use de fdatool el menú *Edit* → *Convert Order Sections*. Encuentre los coeficientes de cada una de las secciones, su ganancia, su función de transferencia, su ecuación en diferencias y la ecuación en diferencias general del filtro.

Repita y compare para las estructuras IIR:

- Forma Directa I Transpuesta
- Forma Directa I Transpuesta SOS
- Forma Directa II
- Forma Directa II SOS
- Forma Directa II Transpuesta
- Forma Directa II Transpuesta SOS

## 13. ESTRUCTURA DE FILTROS FIR

Diseñar un filtro FIR equiriple de orden 5 multibanda con las siguientes especificaciones: frecuencias de corte = [0.0 0.2 0.4 1.0], magnitudes = [1 1 0 0], pesos en las bandas  $W = [1 \ 1]$ , con las siguientes estructuras:

- Forma Directa FIR
- Forma Directa FIR transpuesta
- Forma Directa simétrica FIR
- Forma Directa antisimétrica FIR

Observar y encontrar:

- Respuesta en frecuencia y fase
- Diagrama simulink
- Coeficientes, representarlos
- Función de transferencia
- Ecuación en diferencias

## 14. ESTRUCTURA LATTICE – LADDER - ARMA (Autoregressive Moving average)

Son estructuras que se utilizan en el diseño de filtros FIR o IIR. Diseñe un filtro IIR Butterworth pasa bajo de orden 5 y  $W_c$  normalizada de 0.4.

A partir de los coeficientes *lattice* ( $k$ ) y de los coeficientes *ladder* ( $v$ ), obtenga el diagrama Simulink y la ecuación en diferencias del filtro.