UNLaM

TP-004

Trabajo Practico N°4

Autor:

Diaz, Matias Nahuel **mail: matiasnadiaz@alumno.unlam.edu.ar**

Revisión:

Ing. Zaradnik, Ignacio **mail: izaradnik@unlam.edu.ar**

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Universidad Nacional de La Matanza

1.

Una señal analógica contiene frecuencias hasta $20kHz$. Se pide:

a) ¿Qué frecuencias de muestreo se puede emplear para que sea posible una reconstrucción de la señal a partir de sus muestras?

b) Si se considera que la frecuencia de muestreo es de $16kHz$, ¿qué ocurriría con una señal de $10kHz$ presente en la señal?

c) ¿Qué ocurriría con una señal de $18kHz$?

a) Para que la señal se pueda reconstruir correctamente se debe cumplir el Teorema del Muestreo, es decir, $F_m > 2F_{max}$. Por lo tanto, para reconstruir una señal de 20kHz se debe emplear una frecuencia de muestreo de al menos 40 kHz

b) Si $F_m = 16kHz$ quiere decir que se cumplirá el teorema de muestreo para señales de hasta $F_m/2 = 8khZ$. Por lo tanto, si se inyecta una señal de 10kHz la misma será representada como un alias.

$$f_k = f_0 + k\, f_m \;\; con\ k = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$$

$$\Rightarrow f_0 = f_k - k\, f_m = 10kHz - 1\ 16kHz = -6kHz$$

Esto quiere decir que la señal de 10kHz será representada como una señal de 6kHz

c) Si la señal es de 18kHz

$$f_0 = f_k - k\, f_m = 18kHz - 1\ 16kHz = 2kHz$$

La misma será representada como una señal de 2kHz

2.

La señal analógica $x(t) = sen(450\pi t) + 3sen(1450\pi t)$ (t en s.) se muestrea con una frecuencia de $500Hz$. Se pide:

a) Determinar cuál es la tasa (o frecuencia) de Nyquist para esta señal.

b) Calcule a qué frecuencias aparecen los 'alias' debido al muestreo inapropiado.

c) ¿Cuáles son las frecuencias digitales de la señal resultante del muestreo?

d) Si las muestras se pasan a través de un conversor D/A ideal, ¿qué frecuencias tendría la señal analógica reconstruida?

a) La máxima frecuencia presente en esta señal es $\omega_{max} = 1450\pi$, es decir

$$F_{max} = \omega_{max}/2\pi = 725\ Hz$$

Para cumplir con la frecuencia de Nyquist

$$F_m > 2\ F_{max} = 1450\ Hz$$

b) La frecuencia de muestreo es inferior a la necesaria para que no existan alias, estos comienzan a aparecer a partir de $F_m/2 \ = 250Hz$

c) La frecuencia $725Hz$ no cumple con el teorema de muestreo, por lo tanto, será representada como un alias de

$$f_0 = f_k - k\, f_m = 725\ Hz - 250Hz = 225\ Hz$$

La señal muestreada será

$$\begin{aligned} x(n) = \sin\left(\frac{450\ \pi}{500} n\right) + 3\sin\left(\frac{(1000+450)\ \pi}{500} n\right) = \\ = \sin\left(\frac{450\ \pi}{500} n\right) + 3\sin\left(2\pi\ n + \frac{450\pi}{500} n\right) = \\ = \sin\left(\frac{450\ \pi}{500} n\right) + 3\sin\left(\frac{450\pi}{500} n\right) = \\ = 4\sin\left(\frac{450\ \pi}{500} n\right) \end{aligned}$$

d) Al reconstruir $f = \frac{f_a}{f_m}$, por lo tanto,

$$y(t) = 4\sin\left(\frac{450\ \pi}{500} 500\ t\right) = 4\sin(450\pi\ t)$$

3.

Diseñar un filtro FIR pasa alto con frecuencia de corte fc de 1000 Hz, para una frecuencia de muestreo fm de 5000 Hz, utilizando una ventana de Hamming, con longitud del filtro M igual a 31.

a) Graficar la respuesta en frecuencia del filtro desarrollado.

b) Filtrar la siguiente secuencia, y determinar la/s frecuencia/s presentes luego del proceso de filtrado:

sec(n)=[0 1.0734 1.8750 2.2247 2.0916 1.5984 0.9696 0.4457 0.1956 0.2588 0.5410 0.8610 1.0305
0.9360 0.5878 0.1191 -0.2661 -0.3765 -0.1146 0.4760 1.2157 1.8479 2.1286 1.9154 1.2209 0.2114
-0.8495 -1.6910 -2.1266 -2.1134 -1.7568 -1.2616 -0.8491 -0.6708 -0.7545 -1.0000 -1.2274 -1.2571 -0.9900
-0.4553 0.1931 0.7313 0.9511 0.7432 0.1468 -0.6564 -1.4002 -1.8257 -1.7715 -1.2298 -0.3479 0.6258
1.4304 1.8827 1.9353 1.6828 1.3143 1.0319 0.9675 1.1310 1.4088 1.6137 1.5656 1.1723 0.4760
-0.3514 -1.0658 -1.4386 -1.3430 -0.8049 -0.0000 0.8049 1.3430 1.4386 1.0658 0.3514 -0.4760 -1.1723
-1.5656 -1.6137 -1.4088 -1.1310 -0.9675 -1.0319 -1.3143 -1.6828 -1.9353 -1.8827 -1.4304 -0.6258 0.3479
1.2298 1.7715 1.8257 1.4002 0.6564 -0.1468 -0.7432 -0.9511 -0.7313 -0.1931]

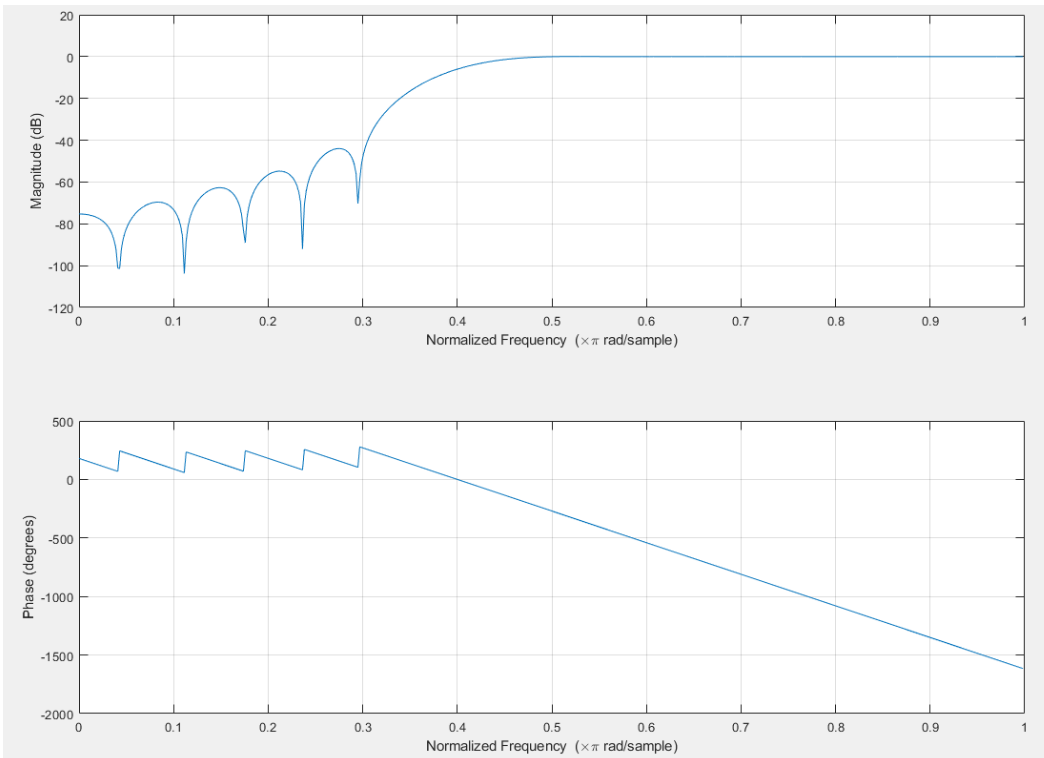
a) Codigo:

```
clear;clc;close all

%Filtro pasa todo (Pasa bajo con fc=fm/2=2.5khz)
M=31;
W=hanning(31);
fm=5000;

fc1=fm/2;
wc1=2*pi*fc1/fm;
wm1=wc1/pi;

hd1=wm1*sinc(wm1*( (-(M-1)/2):(M-1)/2) );
h1=hd1.*W';

freqz(h1,1);
pause

%Filtro pasa bajo con fc=1khz
fc2=1000;
wc2=2*pi*fc2/fm;
wm2=wc2/pi;

hd2=wm2*sinc(wm2*( (-(M-1)/2):(M-1)/2)  );
W=hanning(31);
h2=hd2.*W';

freqz(h2,1);
pause

%Resta de ambos filtros
h=h1-h2;
freqz(h,1);

t=[0:1/fm:63/fm];
s1=sin(2*pi*250*t);
s2=sin(2*pi*750*t);
s3=sin(2*pi*1250*t);
s=s1+s2+s3;

figure
subplot(2,1,1)
plot(s)

espectro=fftshift(abs(fft(s)));
frec=linspace(-fm/2,fm/2,length(s));
subplot(2,1,2)
stem(frec,espectro)

s2=conv(s,h);
pause
figure
```

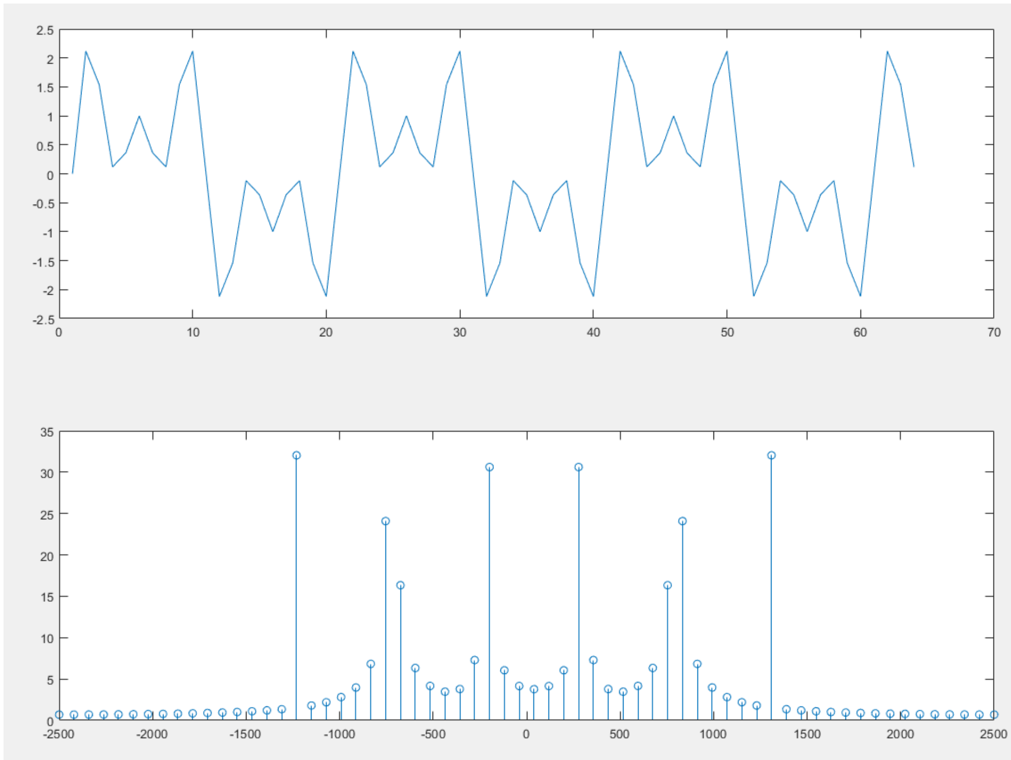
```
subplot(2,1,1)
plot(s2)
espectro=fftshift(abs(fft(s2)));
frec=linspace(-fm/2,fm/2,length(s2));
subplot(2,1,2)
stem(frec,espectro)
```

<u>Gráficos</u>

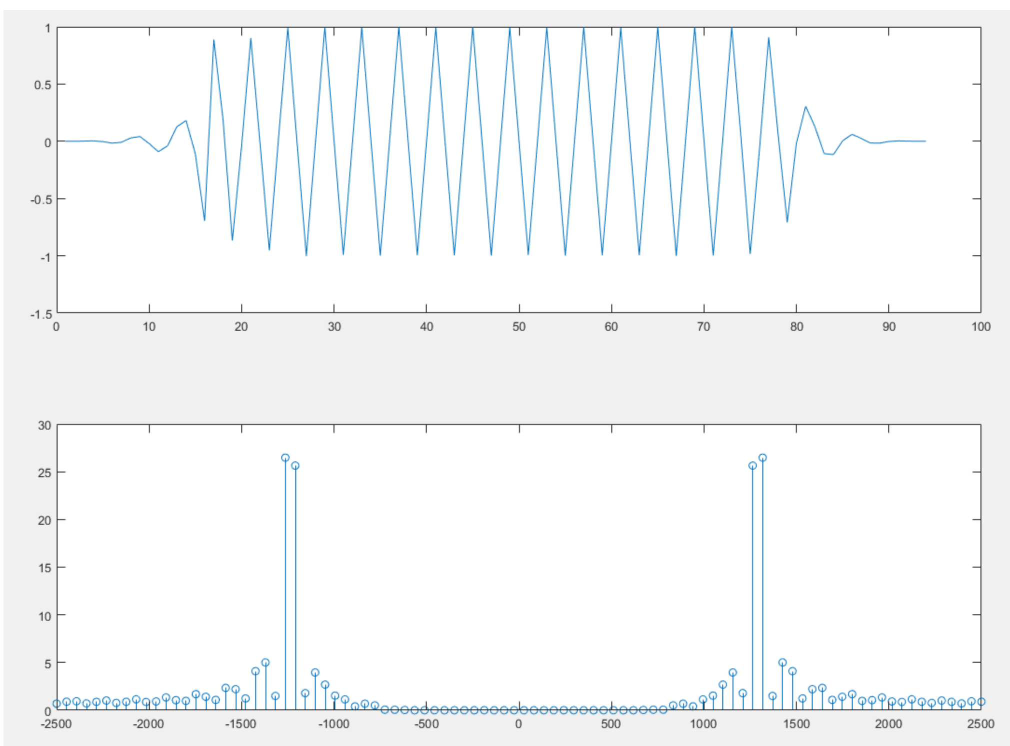
Respuesta en frecuencia



b) <u>Señal original:</u>

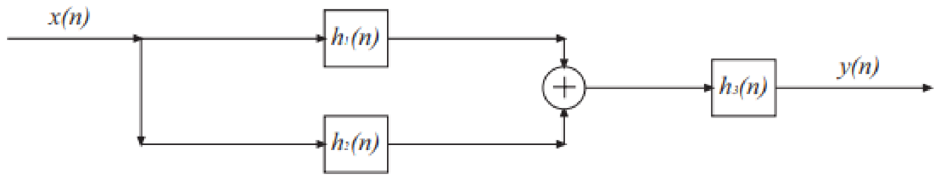


<u>Señal filtrada:</u>

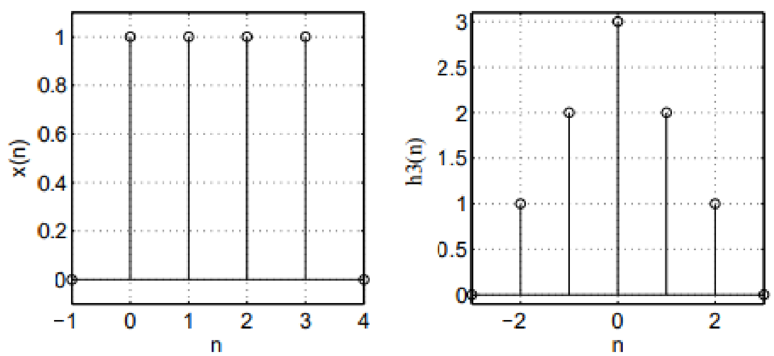


4.

Un sistema digital posee la siguiente estructura:

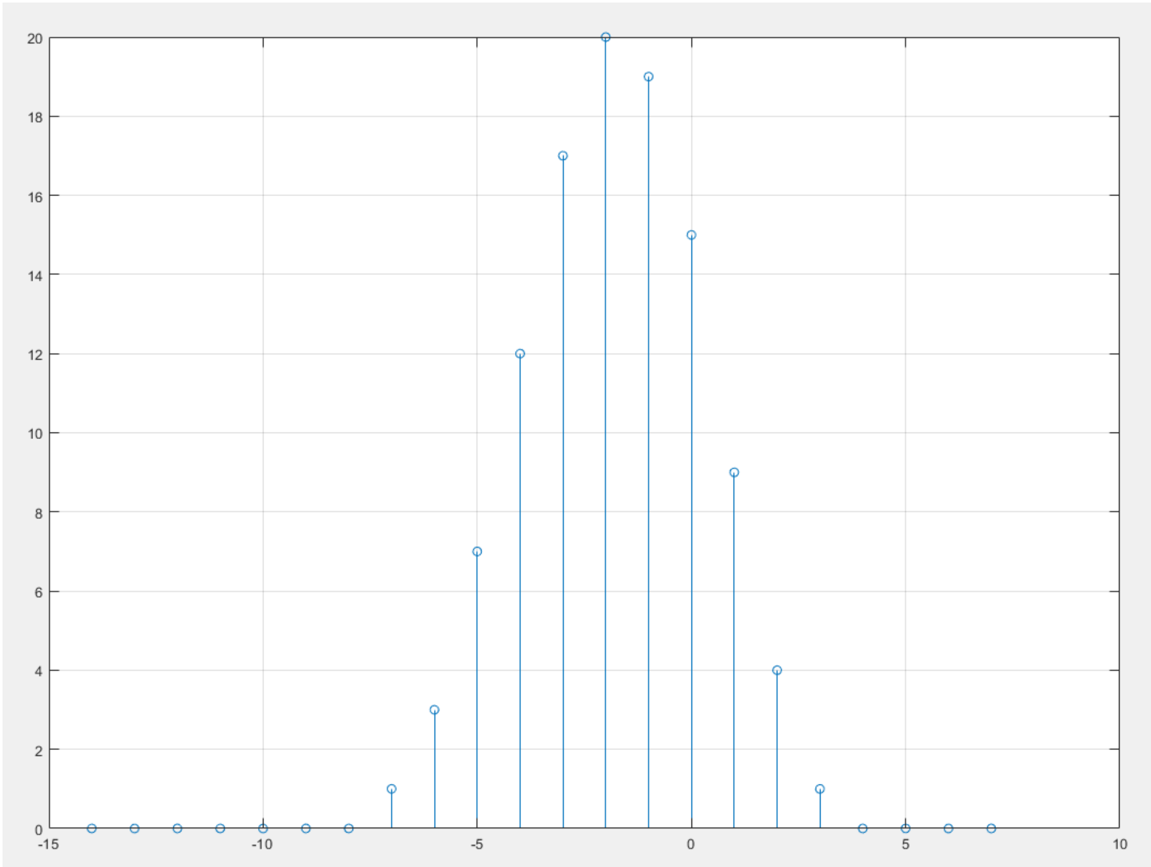


Sabiendo que $x(n)$ y $h_3(n)$ están definidas por las representaciones de la próxima figura, $h_1(n) = \{\underset{\uparrow}{1}, 1, 1, 1\}$ y $h_2(n) = \{\underset{\uparrow}{0}, -1\}$, calcular la salida del sistema.



<u>Código:</u>

```
clc;clear;close all;

xn = [0 0 0 1 1 1 1 0];
h1 = [0 0 0 1 1 1 1 0];
h2 = [0 0 0 0 -1 0 0 0];
h3 = [0 1 2 3 2 1 0 0];
t = [-3:1:4];

ha = h1+h2;
hb = h3;

conv1 = conv(xn,ha);
conv2 = conv(conv1,hb);

figure
len = length(conv2)/2;
t = [-len-3:1:len-4];
stem(t,conv2);
grid
```



5.

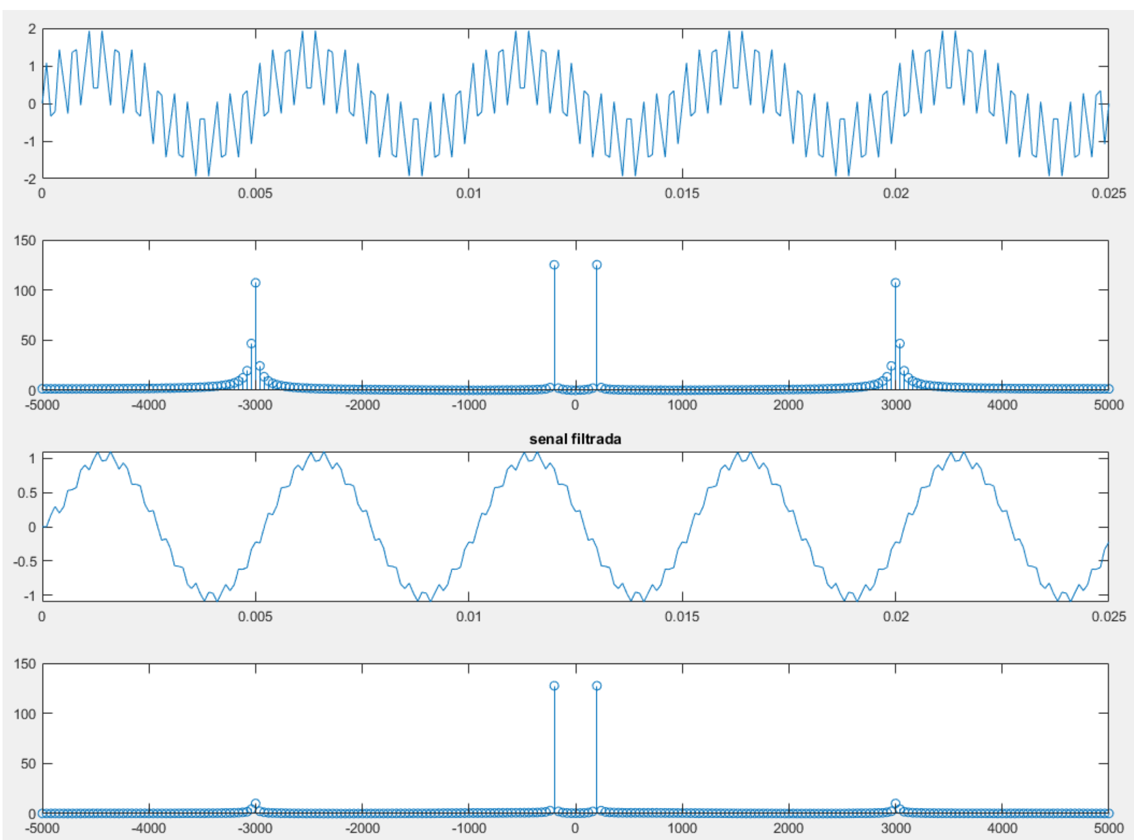
Determinar la formula a aplicar dentro de un microcontrolador, para implementar el siguiente filtro pasa bajos de 1000Hz de frecuencia de corte.

$$H(s)=\frac{6283^2}{S^2+6283S+6283^2} \qquad f_m = 10\,kHz$$

Script

```
clear;clc;close all;


frecM = 10000;

HS = tf([6283^2],[1 6283 6283^2]);
[numZ,denZ] = tfdata(c2d(HS,1/frecM),'v');

t = [0:1/frecM:0.025];
```

```
sMuestreada = sin(2*pi*200*t)+sin(2*pi*3000*t);
subplot(4,1,1);
plot(t,sMuestreada);

f=linspace(-frecM/2,frecM/2,length(sMuestreada));
espectro_sMuestreada = fftshift(abs(fft(sMuestreada)));
subplot(4,1,2);
stem(f,espectro_sMuestreada);

sFiltrada(1)=0;
sFiltrada(2)=0;

for n=3:1:length(sMuestreada)
    sFiltrada(n) = sMuestreada(n)*numZ(1)+sMuestreada(n-
1)*numZ(2)+sMuestreada(n-2)*numZ(3)-sFiltrada(n-1)*denZ(2)-sFiltrada(n-
2)*denZ(3)

    2743.18*sMuestreada(n-1)+sFiltrada(n-1)*1.25-sFiltrada(n-2)*0.533;
end
subplot(4,1,3);
plot(t,sFiltrada);
title('senal filtrada')

espectro_filtrada = fftshift(abs(fft(sFiltrada)));
subplot(4,1,4);
stem(f,espectro_filtrada);
```



6.

Determinar la formula a aplicar dentro de un microcontrolador, para implementar el siguiente filtro elimina banda de 50Hz (filtro notch).

$$H(s)= \frac{S^2 + w^2}{S^2 + 2wS + w^2}$$

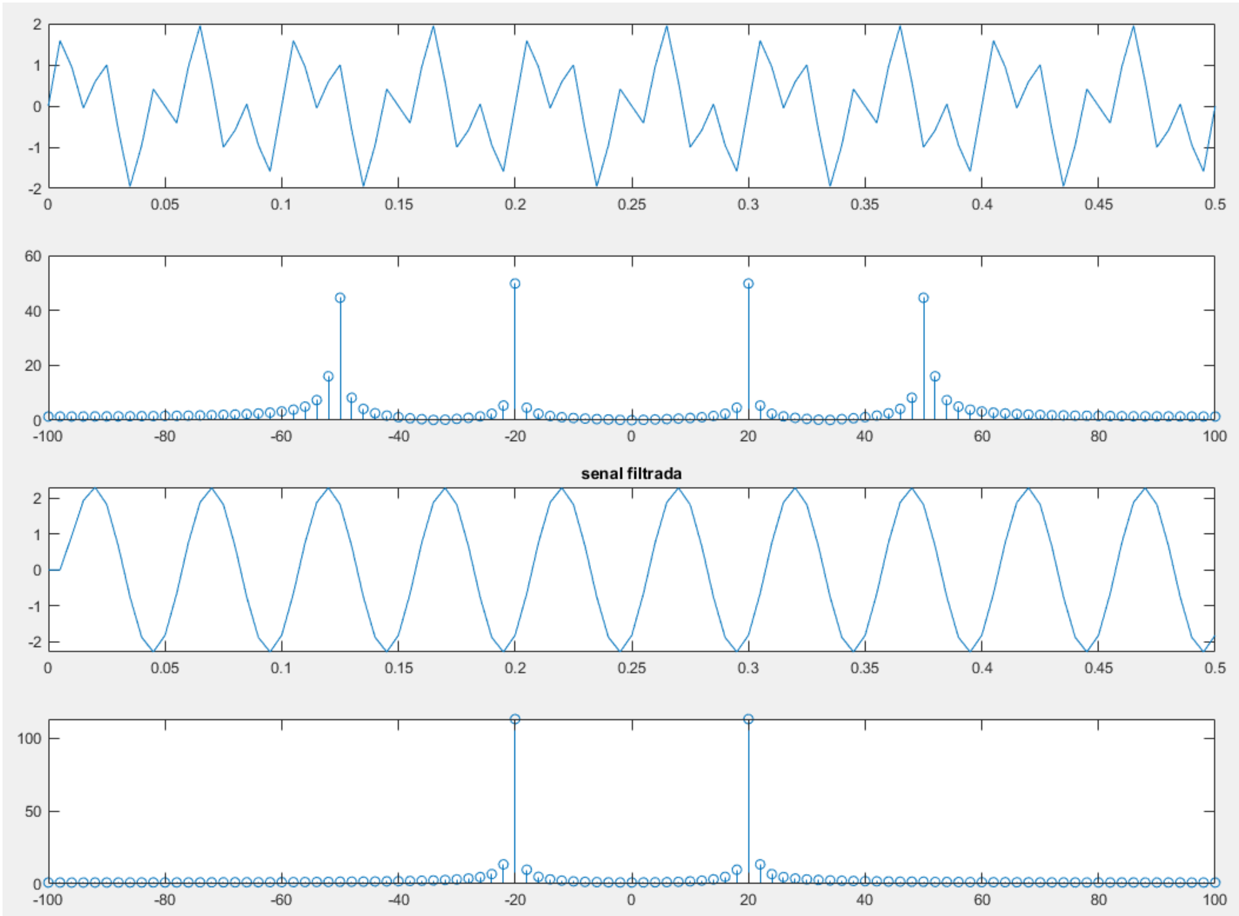
$$H(s)= \frac{S^2 + 98596}{S^2 + 628S + 98596}$$

$w = 2\pi f = 2\pi.50\ Hz = 314\ rad/s$

$f_m = 200\ Hz$

Script

```
clear;clc;clear all;

frecM = 200;

HS=tf([1 0 9858698596],[1 628 98596]);
[numZ,denZ] = tfdata(c2d(HS,1/frecM),'v');
numZ = [1 -0.0016 1];

t = [0:1/frecM:.5];
sMuestreada = sin(2*pi*50*t)+sin(2*pi*20*t);
subplot(4,1,1);
plot(t,sMuestreada);

f=linspace(-frecM/2,frecM/2,length(sMuestreada));
espectro_sMuestreada = fftshift(abs(fft(sMuestreada)));
subplot(4,1,2);
stem(f,espectro_sMuestreada);

sFiltrada(1)=0;
sFiltrada(2)=0;

for n=3:1:length(sMuestreada)
    sFiltrada(n) = sMuestreada(n)*numZ(1)+sMuestreada(n-
1)*numZ(2)+sMuestreada(n-2)*numZ(3)-sFiltrada(n-1)*denZ(2)-sFiltrada(n-
2)*denZ(3);
end
subplot(4,1,3);
plot(t,sFiltrada);
title('senal filtrada')

espectro_filtrada = fftshift(abs(fft(sFiltrada)));
subplot(4,1,4);
stem(f,espectro_filtrada);
```



7.

La señal analógica x(t)= 3cos(31000t) + 0,5sen(15500t) se muestrea a 10 kHz.

a) Determinar cuál es la tasa (o frecuencia) de Nyquist para esta señal e indique si la frecuencia de muestreo seleccionada es adecuada.

b) Calcule a que frecuencias aparecen los 'alias', en caso de aparecer.

c) Determine que sucede con una frecuencia de muestreo de 9 kHz.

7) $X_{(t)} = 3\cos(31000\,t) + 0{,}5\ \text{sen}(15500\,t)$

$f_m = 10\,\text{Khz}$

$\omega_1 = 31000 \Rightarrow f_1 = \omega_1/2\pi = 15500/\pi \cong 5\,\text{Khz}$

$\omega_2 = 15500 \Rightarrow f_2 = \omega_2/2\pi = 7750/\pi \cong 2{,}5\,\text{Khz}$

a) $f_{Nyq} = 2 f_{max} = 2f_1 \simeq 10\,\text{Khz}$

la frecuencia de muestreo seleccionada es correcta

b) las frecuencias alias comienzan a partir de $\frac{f_m}{2}$, es decir, $5\,\text{Khz}$

c) $f_k = f_0 + k\,f_m$

$f_0 = f_k - k\,f_m = 9\,\text{Khz} - k\ 5\,\text{Khz}\Big|_{k=1} = 4\,\text{Khz}$

8.

La señal analógica x(t)= 0,8sen(145000t) se muestrea a 44.1 kHz.

a) Determinar cuál es la tasa (o frecuencia) de Nyquist para esta señal e indique si la frecuencia de muestreo seleccionada es adecuada.
b) Calcule a que frecuencias aparecen los 'alias', en caso de aparecer.
c) Determine que sucede con la siguiente señal: x(t)= 0,8sen(135000t)

8) $X(t) = 0{,}8 \operatorname{sen}(145000\, t)$

$f_m = 44{,}1 \text{ Khz}$

$\omega_1 = 145000 \Rightarrow f_1 = \omega_1 / 2\pi = 72500 / \pi \cong 46{,}15 \text{ Khz}$

a) $f_{nyq} = 2 f_{max} = 2 f_1 \simeq 93 \text{ Khz}$

La frecuencia de muestreo seleccionada es incorrecta

b) Las frecuencias alias comienzan a partir de $\frac{f_m}{2}$, es decir, $22{,}05 \text{ Khz}$

c) $f_k = f_0 + k f_m$

$$f_0 = f_k - k f_m = \frac{145000}{2\pi} - k \; 22{,}05 \text{ Khz} \Big|_{k=1} = 1027 \text{ hz}$$

9.

La señal analógica $x(t) = 0'5e^{j(2000\pi t)} + 3e^{j(10000\pi t + \pi/2)}$ (t en s.) se muestrea con una frecuencia $F_m = 8kHz$ y la señal resultante es reconstruida con un conversor D/A ideal utilizando la misma F_m. Determine la señal $x_r(t)$ obtenida tras este proceso.

9) $X(t) = 0{,}5\, e^{j(2000\pi t)} + 3\, e^{J(1000\pi t + \pi/2)}$

$\omega_1 = 2000\,\pi \qquad f_1 = \omega_1/2\pi = 1kHz$

$\omega_2 = 10000\,\pi \qquad f_2 = \omega_2/2\pi = 5kHz$

$f_m = 8kHz \Rightarrow$ seran alias las frecuencias mayores a $\frac{f_m}{2} = 4kHz$

Por lo tanto, $f_2 = 5kHz$ sera reconocida como un alias de

$$f_o = f_k - k f_m = 5kHz - k\, 8kHz \Big|_{k=1} = -3kHz$$

Entonces,

$$X_r(t) = 0{,}5\, e^{J(2000\pi t)} + 3\, e^{J(6000\pi t + \pi/2)}$$

10.

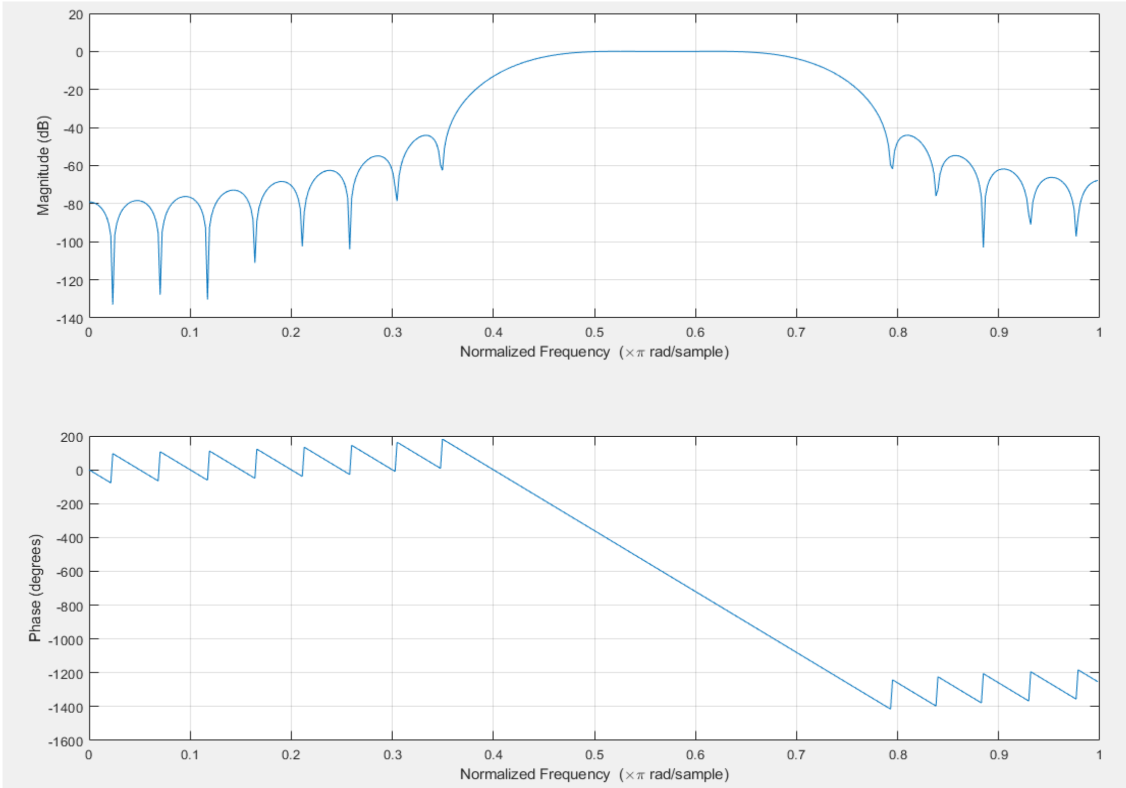
a) Diseñar un filtro FIR pasa banda, con frecuencias de corte fc1=1500 Hz y fc2=2500 Hz para una frecuencia de muestreo fm de 7000 Hz, utilizando una ventana de Hanning, con longitud del filtro M igual a 41.
b) Graficar la respuesta en frecuencia del filtro desarrollado.
c) Filtrar la siguiente secuencia, y determinar la/s frecuencia/s presentes luego del proceso de filtrado.

```
clear;clc;close all;

Sec = [0 2.19064313376741 -0.240787309403764 0.626980168831352 -
0.626980168831352 0.240787309403765 -2.19064313376741 -
1.46957615897682e-15 2.19064313376741 -0.240787309403762
0.626980168831351 -0.626980168831352 0.240787309403764 -
2.19064313376741 -2.93915231795365e-15 2.19064313376741 -
0.240787309403764 0.626980168831351 -0.626980168831353
0.240787309403769 -2.19064313376742 -4.40872847693047e-15
2.19064313376741 -0.240787309403764 0.626980168831352 -
0.626980168831353 0.240787309403764 -2.19064313376742 -
5.87830463590730e-15 2.19064313376741 -0.240787309403764
0.626980168831352 -0.626980168831352 0.240787309403767 -
2.19064313376742 -2.42453437283118e-16 2.19064313376740 -
0.240787309403760 0.626980168831349 -0.626980168831353
0.240787309403773 -2.19064313376741 -8.81745695386094e-15
2.19064313376741 -0.240787309403764 0.626980168831351 -
0.626980168831351 0.240787309403778 -2.19064313376741 -
3.18160575523676e-15 2.19064313376740 -0.240787309403765
0.626980168831353 -0.626980168831353 0.240787309403773 -
2.19064313376743 -1.17566092718146e-14 2.19064313376741 -
0.240787309403770 0.626980168831348 -0.626980168831351
0.240787309403772 -2.19064313376742 8.09009664201159e-15
2.19064313376742 -0.240787309403760 0.626980168831353 -
0.626980168831353 0.240787309403782 -2.19064313376741
4.92530846286408e-14 2.19064313376740 -0.240787309403746
0.626980168831354 -0.626980168831354 0.240787309403775 -
2.19064313376743 1.22563716816589e-14 2.19064313376741 -
0.240787309403747 0.626980168831346 -0.626980168831356
0.240787309403774 -2.19064313376743 -1.76349139077219e-14
2.19064313376739 -0.240787309403755 0.626980168831351 -
0.626980168831351 0.240787309403772 -2.19064313376742
2.35280740789073e-14 2.19064313376742 -0.240787309403745
0.626980168831343 -0.626980168831353 0.240787309403765 -
2.19064313376741 3.62693526351325e-14 2.19064313376740 -
0.240787309403746];

fm = 7000;
M=41;
W=hanning(M);


%filtro pasa altos con fc=2500hz
fc1=fm/2;
wc1=2*pi*fc1/fm;
wm1=wc1/pi;

hd1=wm1*sinc(wm1*( (-(M-1)/2):(M-1)/2) );
h1=hd1.*W';

fc2=2500;
wc2=2*pi*fc2/fm;
wm2=wc2/pi;

hd2=wm2*sinc(wm2*( (-(M-1)/2):(M-1)/2)  );
W=hanning(M);
```

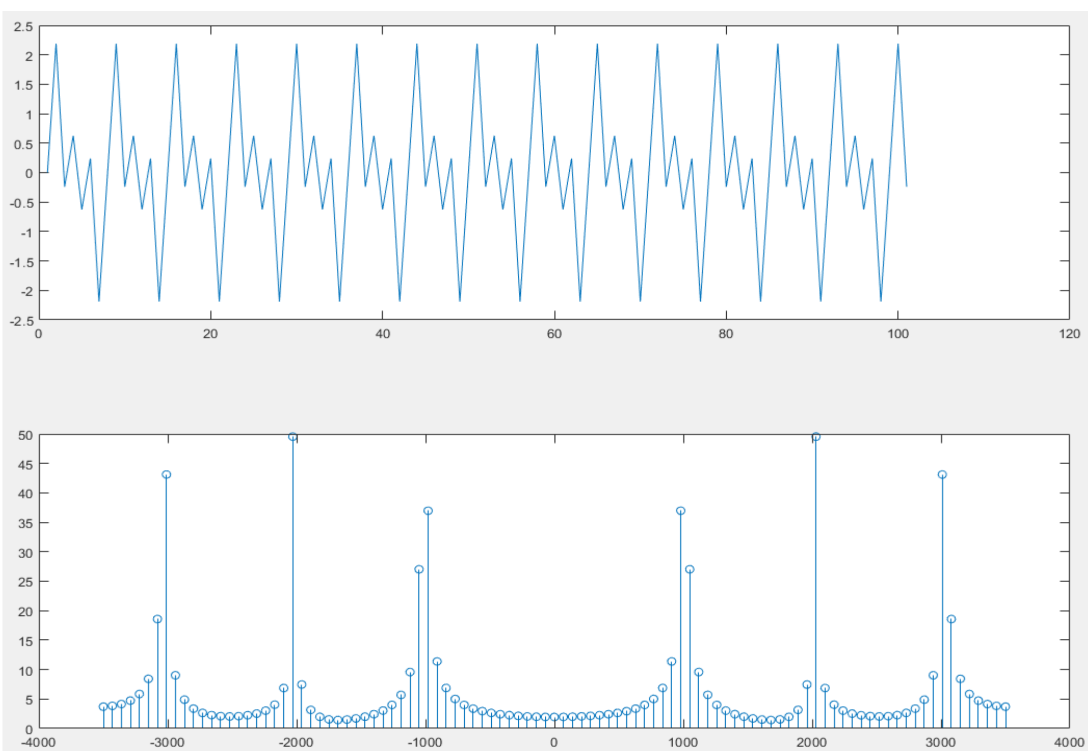
```
h2=hd2.*W';

h3=h1-h2;

%Filtro pasa bajo con fc=1khzfc2=2500;
fc4=1500;
wc4=2*pi*fc4/fm;
wm4=wc4/pi;

hd4=wm4*sinc(wm4*( (-(M-1)/2):(M-1)/2)  );
W=hanning(M);
h4=hd4.*W';

h5=h1-h3-h4
%b)
freqz(h5,1);

%c)
figure
subplot(2,1,1)
plot(Sec)
espectro=fftshift(abs(fft(Sec)));
frec=linspace(-fm/2,fm/2,length(Sec));
subplot(2,1,2)
stem(frec,espectro)
s2=conv(Sec,h5);
pause
figure
subplot(2,1,1)
plot(s2)
espectro=fftshift(abs(fft(s2)));
frec=linspace(-fm/2,fm/2,length(s2));
subplot(2,1,2)
stem(frec,espectro)
```

Gráficos:

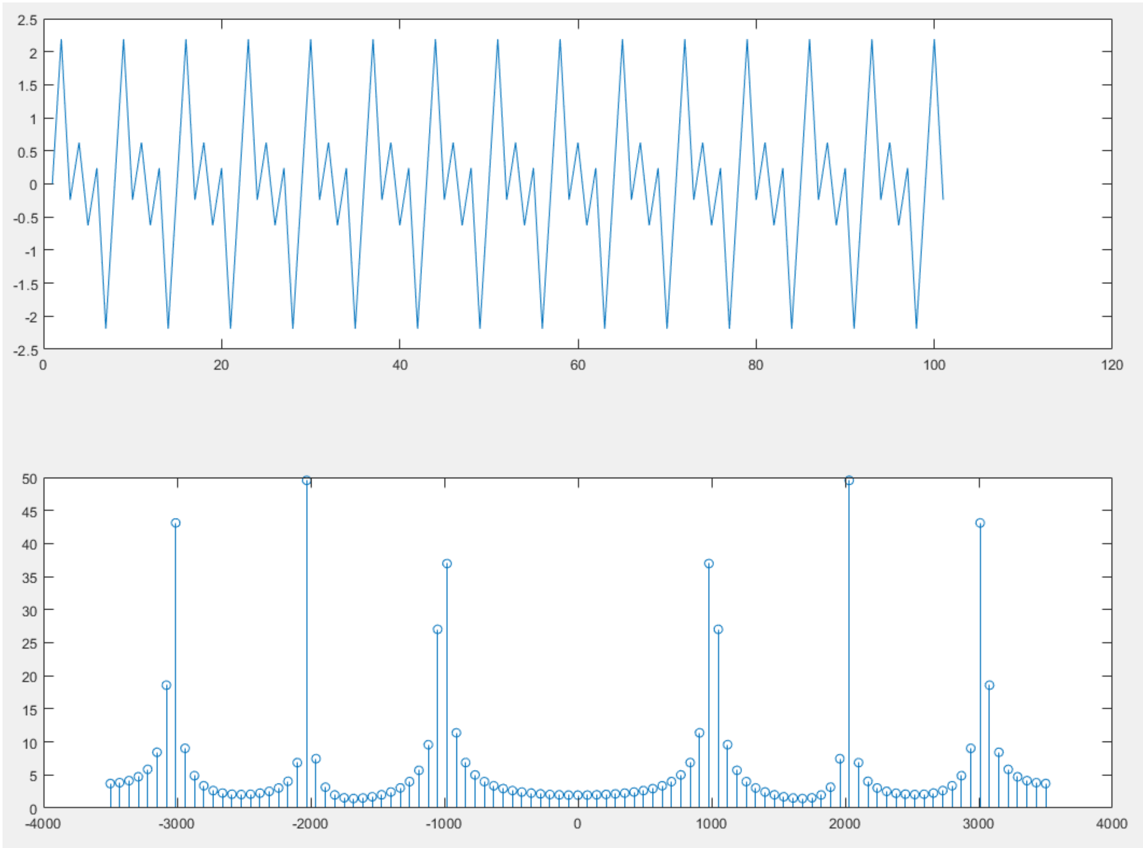
Respuesta en frecuencia del filtro



Respuesta temporal y en frecuencia de la señal sin filtrar



Respuesta temporal y en frecuencia de la señal filtrada



11.

Determinar la formula a aplicar dentro de un microcontrolador, para implementar el siguiente filtro pasa banda de 880 Hz.

$$H(s)=\frac{200S}{S^2 + 200S + 5500^2} \qquad f_m = 10\ \text{kHz}$$

Utilizarla en un Script de Matlab, filtrando a medida que se toman muestras, simulando su uso en un DSP.

$$H_{(s)} = \frac{200\,s}{s^2 + 200\,s + 5500^2} = \frac{A}{(s + 100 + j\,5500)} + \frac{B}{(s + 100 - j\,5500)}$$

Con $s = -100 + j\,5500$

$$B = \frac{200\,(-100 - j5500)}{j\,11000} = 100 + j\,1{,}82 \qquad A = B^* = 100 - j\,1{,}82$$

$$H_{(s)} = \frac{100 + j\,1{,}82}{s + 100 - j5500} + \frac{100 - j\,1{,}82}{s + 100 + j5500}$$

$$H_{(z)} = \frac{100 + j\,1{,}82}{1 - e^{-100T}\,e^{j5500T}\,z^{-1}} + \frac{100 - j\,1{,}82}{1 - e^{-100T}\,e^{-j5500T}\,z^{-1}}\Bigg|_{T = 1/10^4} =$$

$$= \frac{100 + j\,1{,}82}{1 - (0{,}84 + j\,0{,}52)\,z^{-1}} + \frac{100 - j\,1{,}82}{1 - (0{,}84 - j\,0{,}52)\,z^{-1}} = \frac{200 - 170\,z^{-1}}{1 - 1{,}68\,z^{-1} + 0{,}97\,z^{-2}} = \frac{Y_{(z)}}{X_{(z)}}$$

$$200\,X_{(z)} - 170\,X_{(z)}\,z^{-1} = Y_{(z)} - 1{,}68\,Y_{(z)}\,z^{-1} + 0{,}97\,Y_{(z)}\,z^{-2}$$

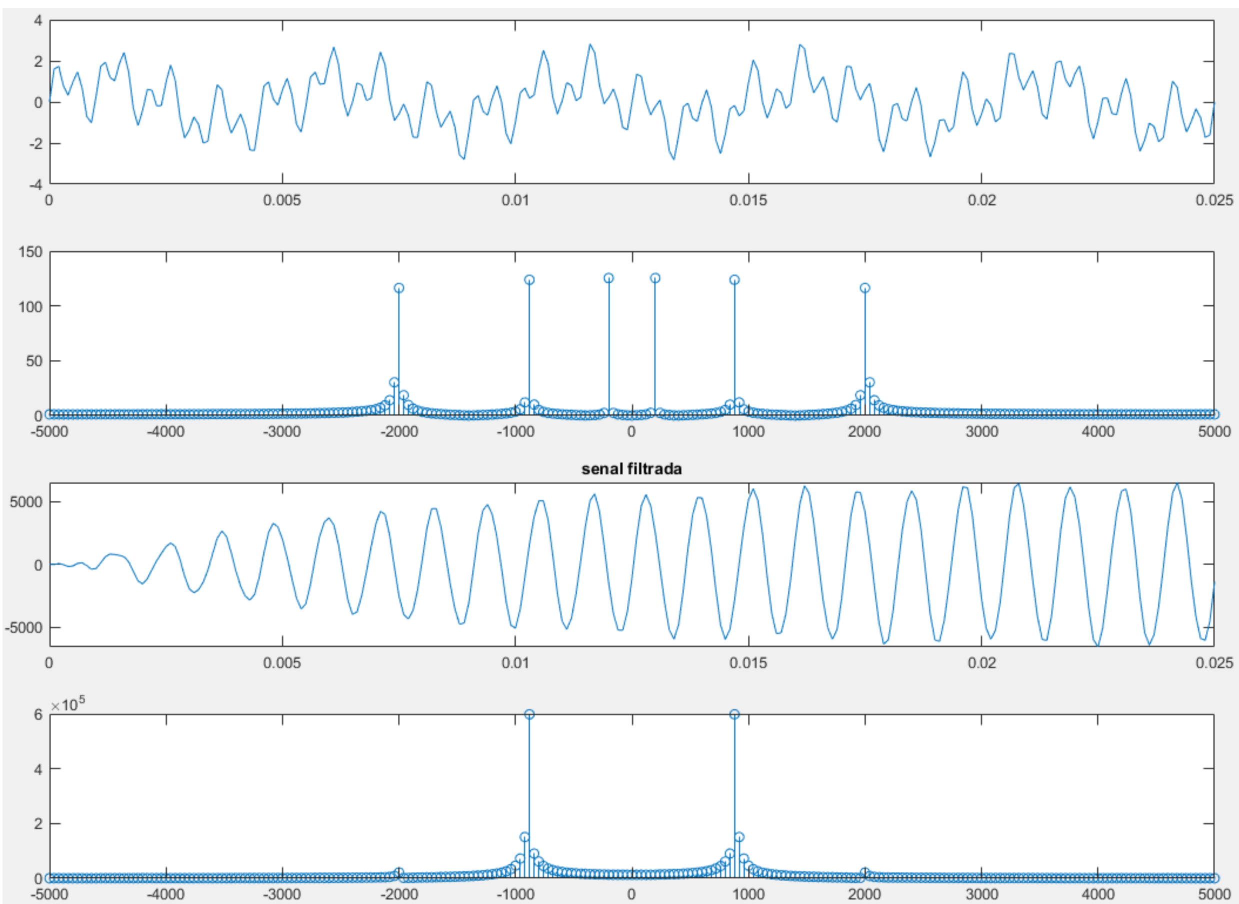
$$Y_{(z)} = 200\,X_{(n)} - 170\,X_{(n-1)} + 1{,}68\,Y_{(n-1)} + 0{,}97\,Y_{(n-2)}$$

Script

```
clear;clc;close all;

frecM = 10000;

HS = tf([200],[1 200 5500^2]);
[numZ,denZ] = tfdata(c2d(HS,1/frecM),'v');
numZ = [200 -170 0];
denZ = [1 -1.68 0.97];

t = [0:1/frecM:0.025];
sMuestreada = sin(2*pi*200*t)+sin(2*pi*880*t)+sin(2*pi*2000*t);
subplot(4,1,1);
plot(t,sMuestreada);

f=linspace(-frecM/2,frecM/2,length(sMuestreada));
espectro_sMuestreada = fftshift(abs(fft(sMuestreada)));
subplot(4,1,2);
stem(f,espectro_sMuestreada);
```

```
sFiltrada(1)=0;
sFiltrada(2)=0;

for n=3:1:length(sMuestreada)
    sFiltrada(n) = sMuestreada(n)*numZ(1)+sMuestreada(n-
1)*numZ(2)+sMuestreada(n-2)*numZ(3)-sFiltrada(n-1)*denZ(2)-sFiltrada(n-
2)*denZ(3)

    2743.18*sMuestreada(n-1)+sFiltrada(n-1)*1.25-sFiltrada(n-2)*0.533;
end
subplot(4,1,3);
plot(t,sFiltrada);
title('senal filtrada')

espectro_filtrada = fftshift(abs(fft(sFiltrada)));
subplot(4,1,4);
stem(f,espectro_filtrada);
```

Gráficos



12.

Determinar la formula a aplicar dentro de un microcontrolador, para implementar el siguiente filtro pasa altos de 6 kHz.

$$H(s) = \frac{S^2}{S^2 + 37699S + 37699^2} \qquad f_m = 44{,}1 \text{ kHz}$$

Utilizarla en un Script de Matlab, filtrando a medida que se toman muestras, simulando su uso en un DSP.

$$H_{(s)} = \frac{s^2}{s^2 + 37699\,s + 37699^2} = \frac{s\ s}{(s + \underbrace{18849}_{a} - j\,\underbrace{32648}_{b})(s + \underbrace{18849}_{a} + j\,\underbrace{32648}_{b})}$$

$$\Rightarrow H_{(z)} = \frac{(1 - z^{-1})^2}{(1 - e^{(a+jb)T} z^{-1})(1 - e^{(a-jb)T} z^{-1})} \qquad \frac{1 - 2z^{-1} + z^{-2}}{(1 - (0{,}48 + j\,0{,}44) z^{-1})(1 - (0{,}48 - j\,0{,}44) z^{-1})}$$

$$\frac{1 - 2z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0{,}96\, z^{-1} + 0{,}424\, z^{-2}} = \frac{Y_{(z)}}{X_{(z)}}$$

$$Y_{(z)} \left(1 - 0{,}96\, z^{-1} + 0{,}424\, z^{-2}\right) = X_{(z)} \left(1 - 2z^{-1} + z^{-2}\right)$$

$$Y_{(z)} = X_{(z)} - 2 X_{(z)} z^{-1} + X_{(z)} z^{-2} + 0{,}96\, z^{-1} Y_{(z)} - 0{,}424\, z^{-2} Y_{(z)}$$

$$\Big\downarrow \text{TZI}$$

$$\boxed{y_{(n)} = x_{(n)} - 2\, x_{(n-1)} + x_{(n-2)} + 0{,}96\, y_{(n-1)} - 0{,}424\, y_{(n-2)}}$$

Script

```
clear;clc;clear all;

frecM = 44100;

HS=tf([1 0 9858698596],[1 628 98596]);
[numZ,denZ] = tfdata(c2d(HS,1/frecM),'v');
numZ = [1 -2 1];
denZ = [1 -.96 +.424];

t = [0:1/frecM:100*1/(frecM/2)];
sMuestreada = sin(2*pi*800*t)+sin(2*pi*8000*t);
subplot(4,1,1);
plot(t,sMuestreada);

f=linspace(-frecM/2,frecM/2,length(sMuestreada));
```

```
espectro_sMuestreada = fftshift(abs(fft(sMuestreada)));
subplot(4,1,2);
stem(f,espectro_sMuestreada);

sFiltrada(1)=0;
sFiltrada(2)=0;

for n=3:1:length(sMuestreada)
    sFiltrada(n) = sMuestreada(n)*numZ(1)+sMuestreada(n-
1)*numZ(2)+sMuestreada(n-2)*numZ(3)-sFiltrada(n-1)*denZ(2)-sFiltrada(n-
2)*denZ(3);
end
subplot(4,1,3);
plot(t,sFiltrada);
title('senal filtrada')

espectro_filtrada = fftshift(abs(fft(sFiltrada)));
subplot(4,1,4);
stem(f,espectro_filtrada);
```

<u>Gráficos</u>