

Práctica 4: Diseño de Filtros FIR

1. Funciones Ventana

En esta sección se revisan las características relevantes de las funciones ventana (tanto fijas como de Kaiser) utilizadas en la práctica.

- 1.1. Genere ventanas rectangulares de longitud $L = 2M + 1$ muestras para $M = 12$, $M = 24$ y $M = 48$. Represéntelas en el dominio temporal para $n = -50, \dots, 50$. Calcule su transformada de Fourier (mediante el comando `fft`) usando $N = 1024$ puntos y represente su magnitud en decibelios. Fíjese en la anchura del lóbulo principal de la ventana y en la caída entre el valor máximo del lóbulo principal y del primer lóbulo secundario. ¿Coincide con lo esperado? ¿Qué conclusiones obtiene respecto al aumento de L para una ventana fija?

Nota: Recuerde definir correctamente el eje frecuencial, tal y como se vio en la Práctica 1. Además, para apreciar mejor los espectros se recomienda realizar la representación entre 0 y π , seleccionando la zona que se desea visualizar con el comando `axis`.

Nota: Recuerde que $|X(e^{j\Omega})|(\text{dB}) = 20 \log_{10} |X(e^{j\Omega})|$ y que en Matlab el logaritmo en base 10 se calcula mediante el comando `log10`.

```

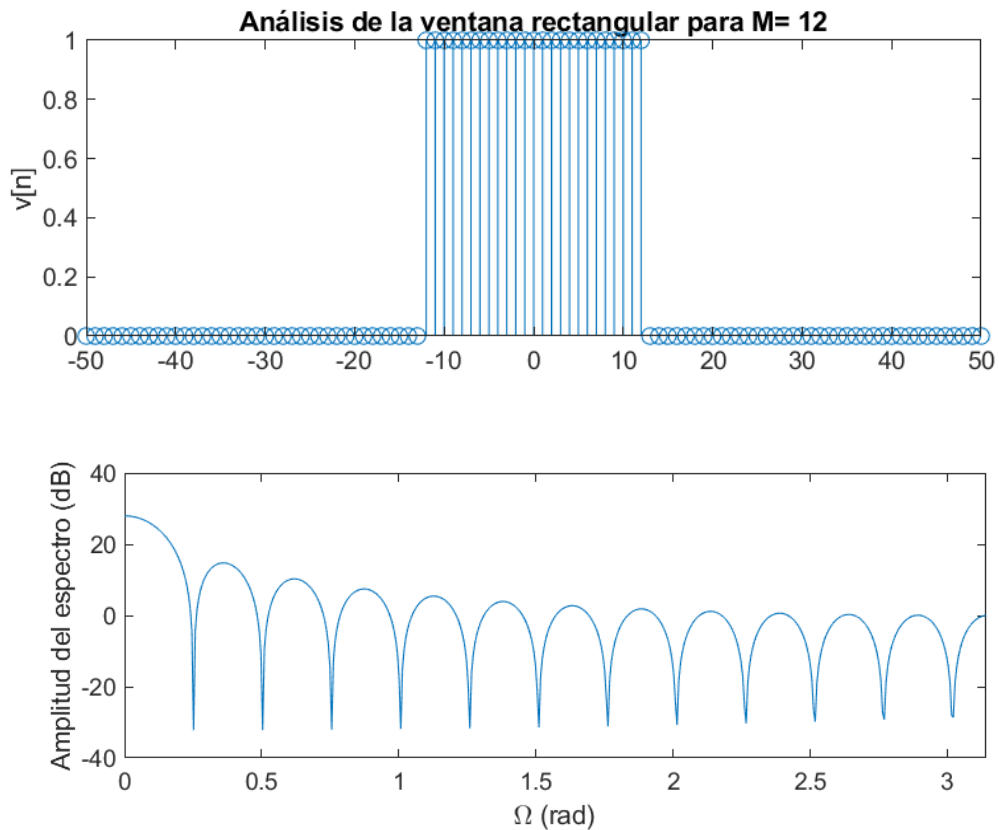
n=-50:50;
N=1024;

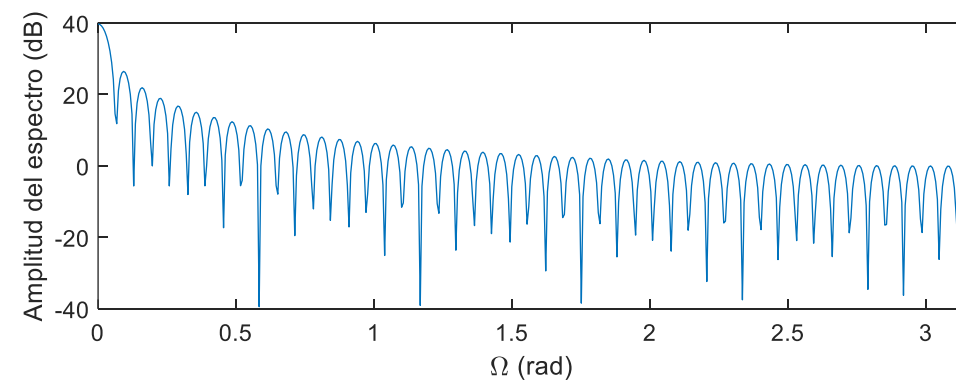
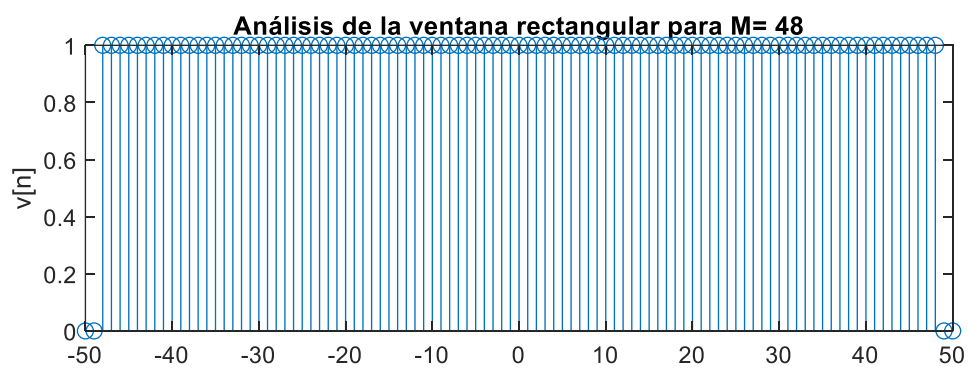
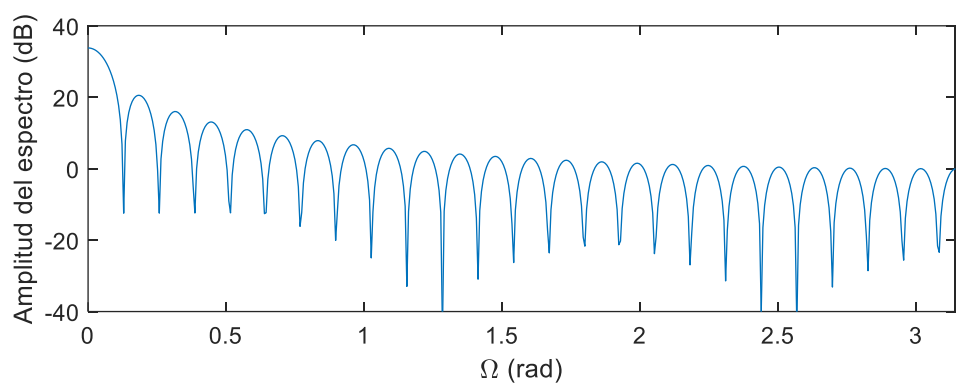
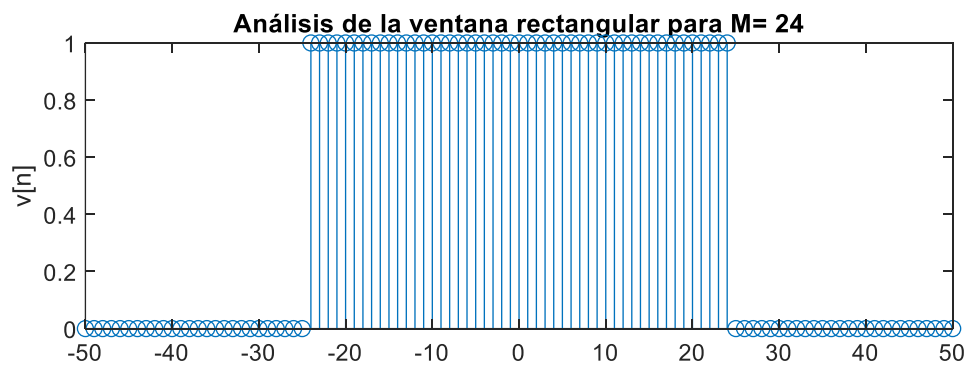
for M = [12 24 48]
    L=2*M+1
    ceroswin= zeros(1, ((length(n)-1)/2)-M);
    ventana= [ceroswin rectwin(L)' ceroswin];
    Vtrans= fft(ventana, N);
    Om= linspace(0,2*pi, N);

    figure;
    subplot(211);
    stem(n, ventana);
    ylabel('v[n]');
    title(['Análisis de la ventana rectangular para M= ', num2str(M)]);

    subplot(212);
    plot(Om, 20*log10(abs(Vtrans)));
    xlabel('\Omega (rad)');
    ylabel('Amplitud del espectro (dB)');
    axis([0 pi -40 40]);
end

```





- 1.2. Repita el ejercicio anterior para las ventanas de Hamming y de Blackman. Para cada valor de L , represente el módulo del espectro de las dos nuevas ventanas junto con el de la ventana rectangular (usando la función hold). ¿Qué conclusiones obtiene respecto al cambio de ventana para una longitud L fija? ¿Coincide con lo esperado en teoría?

```

n=-50:50;
N=1024;

for M = [12 24 48]
    L=2*M+1;
    figure;
    for i=1:3
        ceroswin= zeros(1, ((length(n)-1)/2)-M);

        subplot(211);
        hold on;
        ylabel('v[n]');
        xlabel('n');
        title(['Comparación de ventanas de longitud fija M= ',num2str(M)]);

        if(i==1)
            ventanarect=[ceroswin rectwin(L) ' ceroswin'];
            stem(n, ventanarect, 'b');
        end

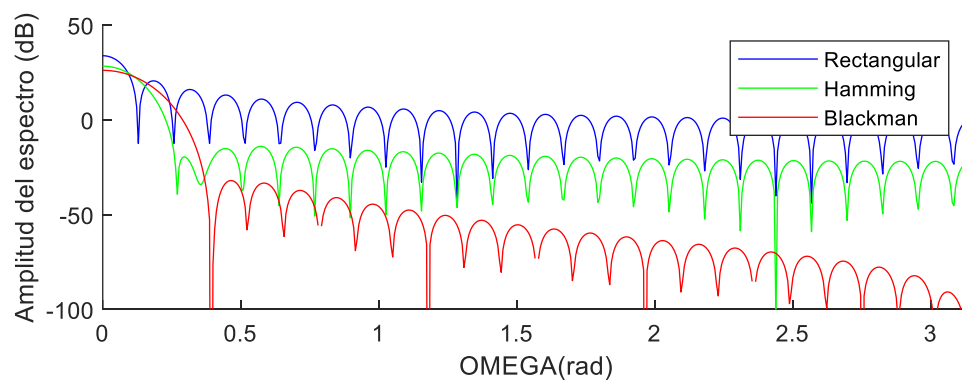
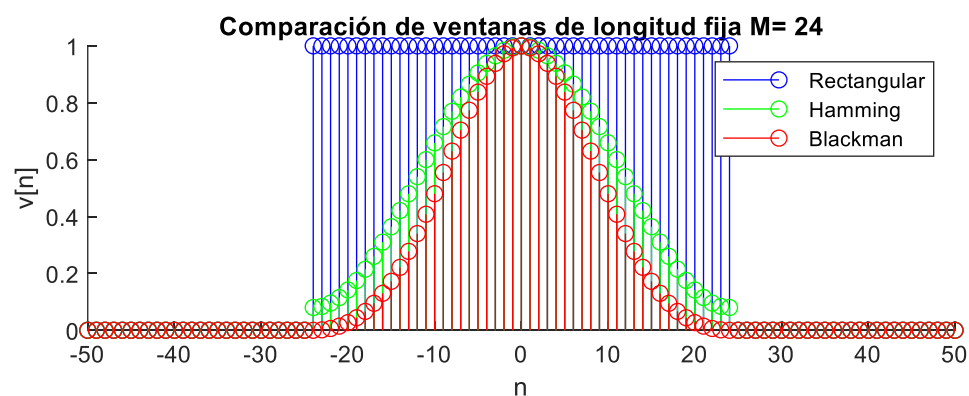
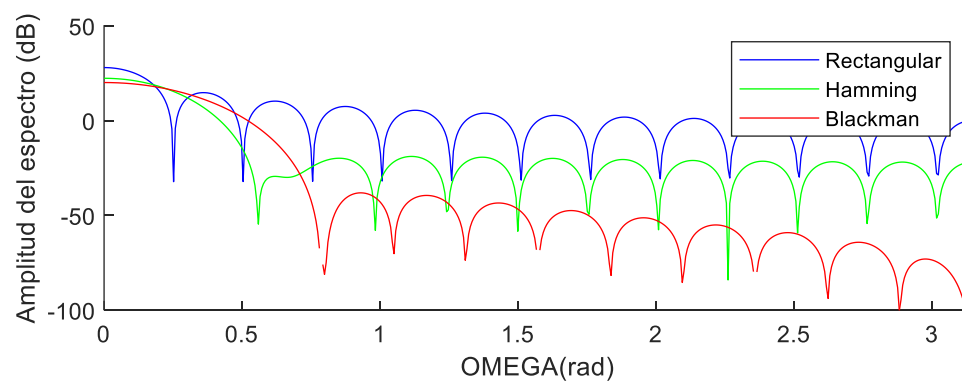
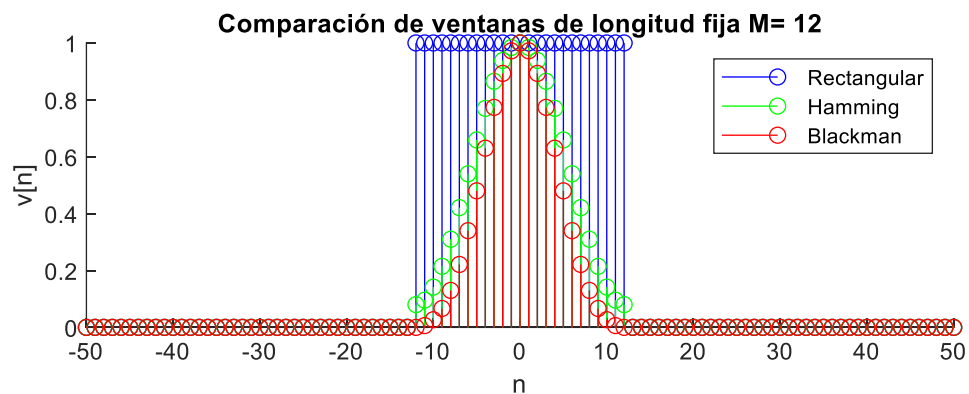
        if(i==2)
            ventanahamm=[ceroswin hamming(L) ' ceroswin'];
            stem(n, ventanahamm, 'g');
        end

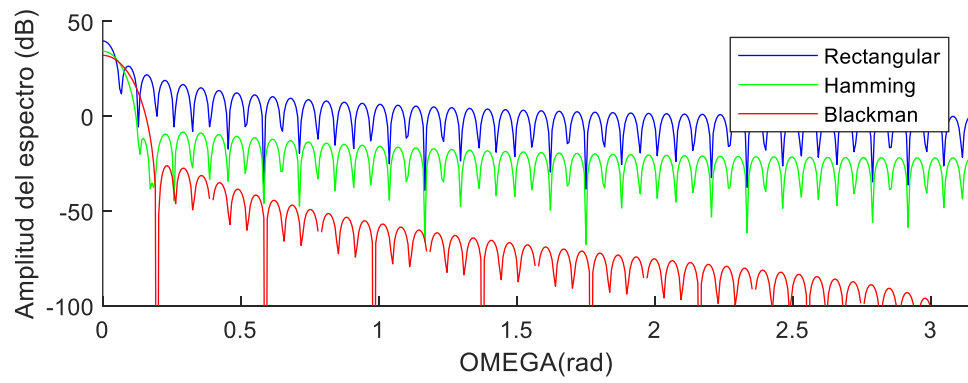
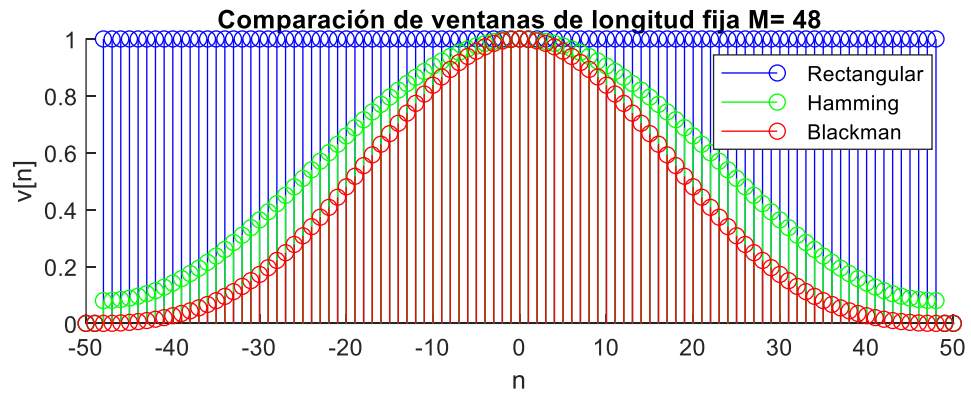
        if(i==3)
            ventanablack=[ceroswin blackman(L) ' ceroswin'];
            stem(n, ventanablack, 'r');
            legend('Rectangular', 'Hamming', 'Blackman');
        end

        Om=linspace(0,2*pi, N);

        subplot(212);
        ylabel('Amplitud del espectro (dB)');
        xlabel('OMEGA(rad)');
        hold on;
        if(i==1)
            Ventanarect=fft(ventanarect,N);
            plot(Om, 20*log10(abs(Ventanarect)), 'b');
        end
        if(i==2)
            Ventanahamm=fft(ventanahamm,N);
            plot(Om, 20*log10(abs(Ventanahamm)), 'g');
        end
        if(i==3)
            Ventanablack=fft(ventanablack,N);
            plot(Om, 20*log10(abs(Ventanablack)), 'r');
            legend('Rectangular', 'Hamming', 'Blackman');
        end
        axis([0 pi -100 50]);
    end
end

```





8

- 1.3. Genere ventanas de Kaiser con longitud $L = 2M + 1$ muestras (para $M = 12$ y $M = 48$) y factores de forma $\alpha = 0$, $\alpha = 4/3$ y $\alpha = 4.86$. Representelas en el dominio temporal para $n = -50, \dots, 50$. Calcule su transformada de Fourier (mediante el comando `fft`) usando $N = 1024$ puntos y represente su magnitud en decibelios. Fíjese en la anchura del lóbulo principal de la ventana y en la caída entre el valor máximo del lóbulo principal y del primer lóbulo secundario. ¿Qué conclusiones obtiene respecto a la variación de L y α para la ventana de Kaiser?

```

n=-50:50;
N=1024;

for M = [12 48]
    figure;
    L=2*M+1;

    for alfa=[0 4/3 4.86]
        ceroswin= zeros(1, ((length(n)-1)/2)-M);
        ventana= [ceroswin (kaiser(L,alfa))' ceroswin];
        Ventanatrans=fft(ventana, N);
        Om=linspace(0,2*pi, N);

        subplot(211);
        hold on;
        if(alfa == 0)
            stem(n, ventana, 'b');
        end

        if(alfa == 4/3)
            stem(n, ventana, 'g');
        end

        if(alfa == 4.86)
            stem(n, ventana, 'r');
            title(['Ventana Kaiser. M= ', num2str(M)]);
            xlabel('n');
            ylabel('v[n]');
            legend(' alfa=0', ' alfa=4/3', ' alfa=4.86');
            hold off;
        end

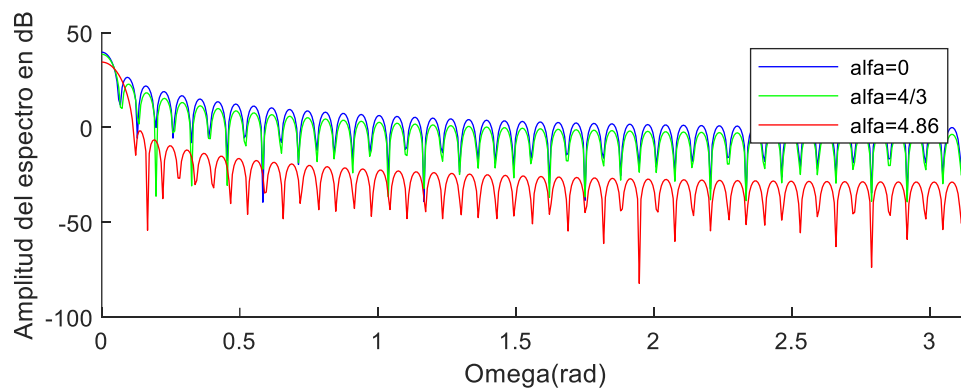
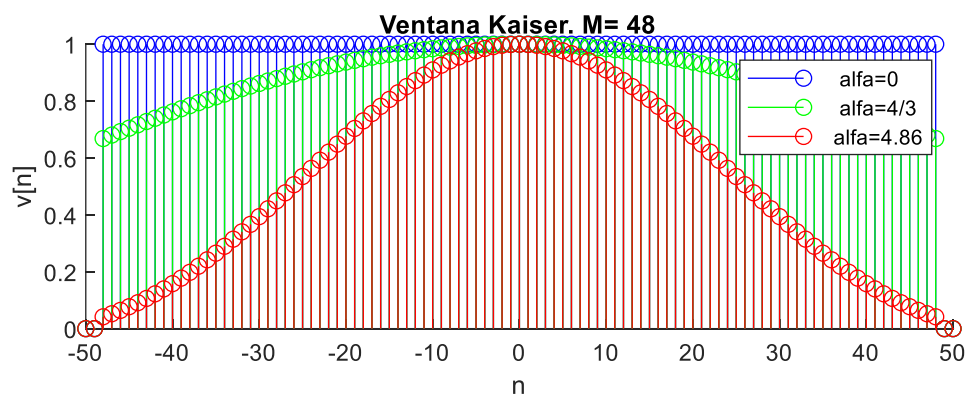
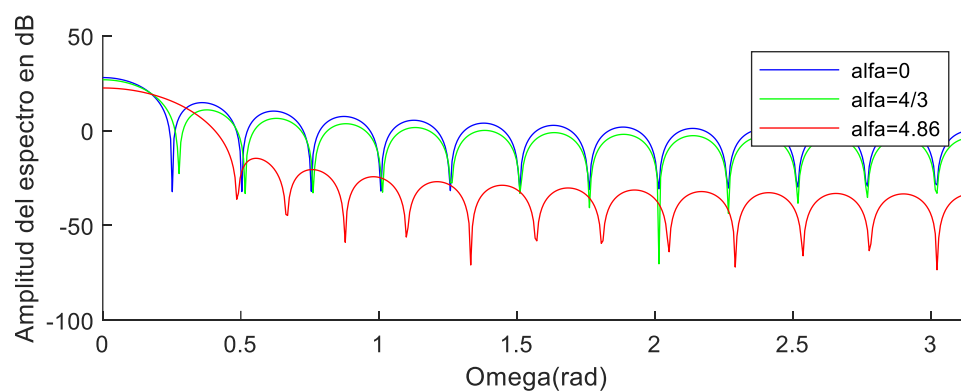
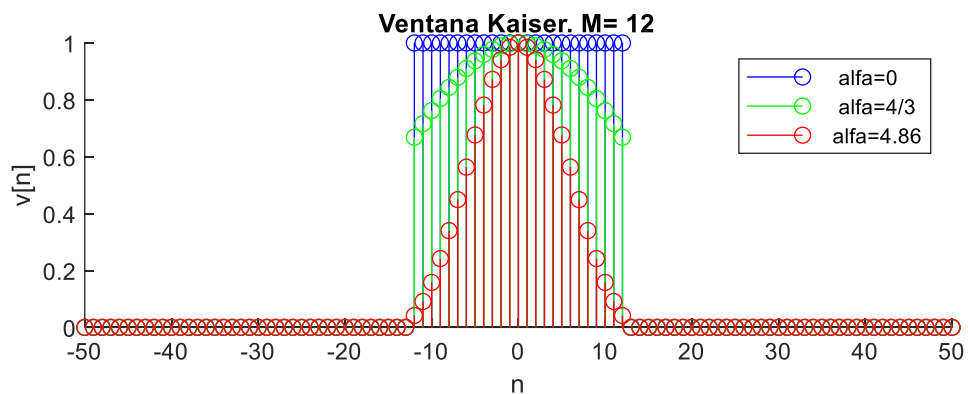
        subplot(212); hold on;
        axis([0 pi -100 50]);

        if(alfa == 0)
            plot(Om, 20*log10(abs(Ventanatrans)), 'b');
        end

        if(alfa == 4/3)
            plot(Om, 20*log10(abs(Ventanatrans)), 'g');
        end

        if(alfa == 4.86)
            plot(Om, 20*log10(abs(Ventanatrans)), 'r');
            xlabel('Omega(rad)');
            ylabel('Amplitud del espectro en dB');
            legend(' alfa=0', ' alfa=4/3', ' alfa=4.86');
            hold off;
        end
    end
end
end

```



2. Diseño de Filtros FIR

En esta sección se pretende revisar el diseño de filtros FIR mediante el método de la ventana o de la transformada de Fourier. Para ello se va a abordar el diseño de un filtro paso bajo y de un filtro paso alto.

2.1. Se desea diseñar un **filtro paso bajo** que deje pasar todas aquellas señales cuya frecuencia sea inferior a $\Omega_p = \pi/4$ rad y que atenue las señales con frecuencias superiores a $\Omega_a = \pi/2$ rad. Dentro de la banda de paso la señal debe tomar un valor entre el 90 % y el 110 % del valor original, mientras que la amplitud de las señales en la banda de atenuación debe ser como mucho el 2 % de su valor original. Dibuje la plantilla de especificaciones en escala logarítmica.

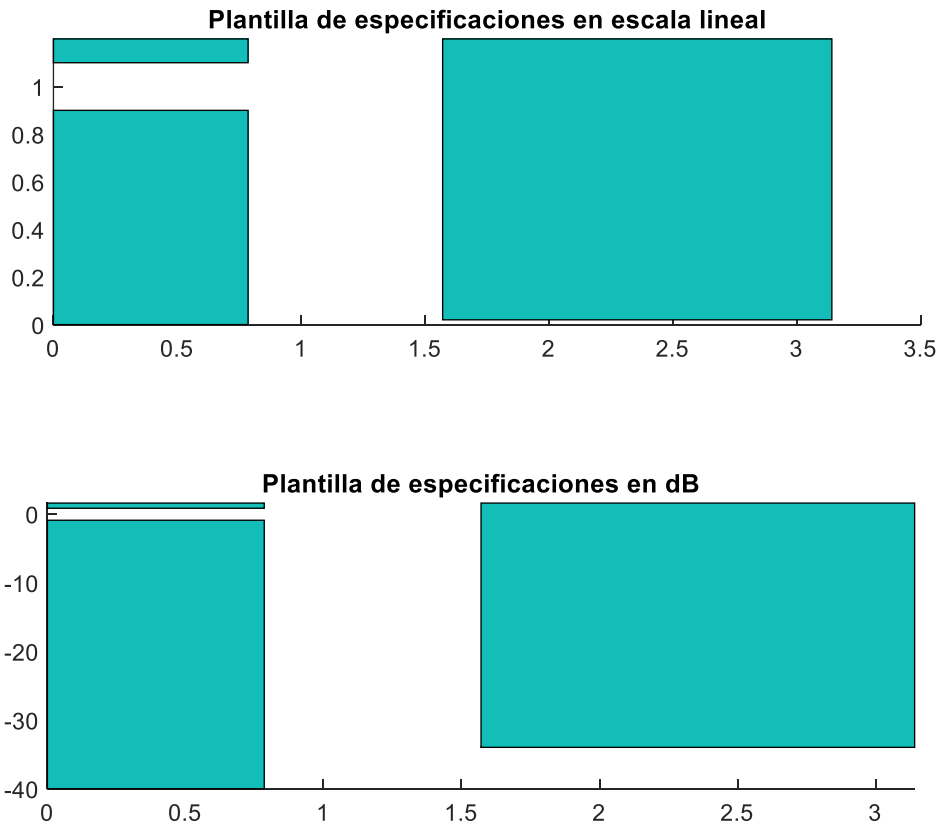
Nota: Para dibujar la plantilla, defina primero un eje apropiado con el comando axis y utilice luego la función patch para dibujar las distintas zonas de exclusión.

```
max=1.2;
vertbanat=0.02;
vertbanpas=0.1;
minimobanpaso=1-vertbanpas;
maximobanpaso=1+vertbanpas;
frecpaso=pi/4;
frecat=pi/2;
maxbanat=0.02;

%escala logaritimica
maxlog=20*log10(max);
minimobanpasolog=20*log10(minimobanpaso);
maximobanpasolog=20*log10(maximobanpaso);
maxbanatlog=20*log10(maxbanat);
minimolog=-40;

figure(1);
subplot(211); title('Plantilla de especificaciones en escala lineal');
patch([0 0 frecpaso frecpaso], [0 minimobanpaso minimobanpaso 0], [0 0 0 0]);
patch([frecat frecat pi pi], [maxbanat max max maxbanat], [0 0 0 0]);
patch([0 0 frecpaso frecpaso], [maximobanpaso max max maximobanpaso], [0 0 0 0]);

subplot(212); title('Plantilla de especificaciones en dB');
patch([0 0 frecpaso frecpaso], [minimolog minimobanpasolog minimobanpasolog minimolog], [0 0 0 0]);
patch([frecat frecat pi pi], [maxbanatlog maxlog maxlog maxbanatlog], [0 0 0 0]);
patch([0 0 frecpaso frecpaso], [maximobanpasolog maxlog maxlog maximobanpasolog], [0 0 0 0]);
axis([0 pi minimolog maxlog]);
```



2.2. Diseñe un filtro FIR paso bajo que cumpla la plantilla de especificaciones obtenida en el ejercicio anterior utilizando una ventana fija:

- Encuentre las ventanas que permiten cumplir las especificaciones de entre todas las mostradas en la Tabla 1 (última página).
- Calcule el orden del filtro para cada una de las ventanas válidas.
- Obtenga la frecuencia de corte Ω_c y la respuesta al impulso del filtro prototipo ideal, y represéntela.

Halle la respuesta al impulso de cada uno de los filtros que permiten cumplir las especificaciones y represéntelas.

- Represente el módulo de la respuesta en frecuencia de cada uno de los filtros (en escala logarítmica) y compruebe que cumplen la plantilla de especificaciones. Compárelos con la respuesta en frecuencia del filtro obtenido con la ventana rectangular para confirmar que ésta última no cumple la plantilla.
- Compruebe las prestaciones del filtro utilizando una señal de entrada formada por dos cosenos con frecuencias iguales a los límites de las bandas de paso y atenuación.

Nota: Para calcular la salida del filtro puede utilizar los comandos **filter** o **conv**. Si desea utilizar la función **filter**, tenga en cuenta cual es la ecuación en diferencias correspondiente a un filtro FIR para encontrar los vectores **a** y **b** necesarios.

12

```

N=1024;
frecuencia_paso=pi/4;
frecat=pi/2;

desfase=frecat-frecuencia_paso;
%HANNING
Hanning=(4*pi)/desfase;
%HAMMING
Hamming=Hanning;
%BLACKMAN
BlackMan=(6*pi)/desfase;
%RECTANGULAR
Rectangular=(2*pi)/desfase;

difventana=[Hanning Hamming BlackMan Rectangular];
for (i=1:4)
    M=difventana(i); %la ventana depende de la i
    n=-M:1:M; %eje discreto
    ejefiltro=0:2*M;
    L=2*M+1;
    frecu=(frecat+frecuencia_paso)/2;
    hi=sin(frecu*n)/(pi*n);
    hi(M+1)=frecu/pi;

    if(i==1)
        ventana=hanning(L)';
        str= 'Hanning';
        color='b';
    end

    if(i==2)
        ventana=hamming(L)';
        str= 'Hamming';
        color= 'b';
    end
    if(i==3)
        ventana=blackman(L)';
        str= 'Blackman';
        color= 'b';
    end
    if(i==4)
        ventana=rectwin(L)';
        str= 'Rectangular';
        color= 'b';
    end
    fil_enventanado=ventana.*hi;

    figure(i);
    subplot(311);
    stem(n, hi, color); grid on;
    title('Respuesta al impulso del filtro paso bajo ideal');
    if(i<3)
        axis([-20 20 -0.5 0.5]);
    end
    if(i==3)
        axis ([-25 25 -0.5 0.5]);
    end
    if(i==4)
        axis ([-8 8 -0.5 0.5]);
    end
end

```

```

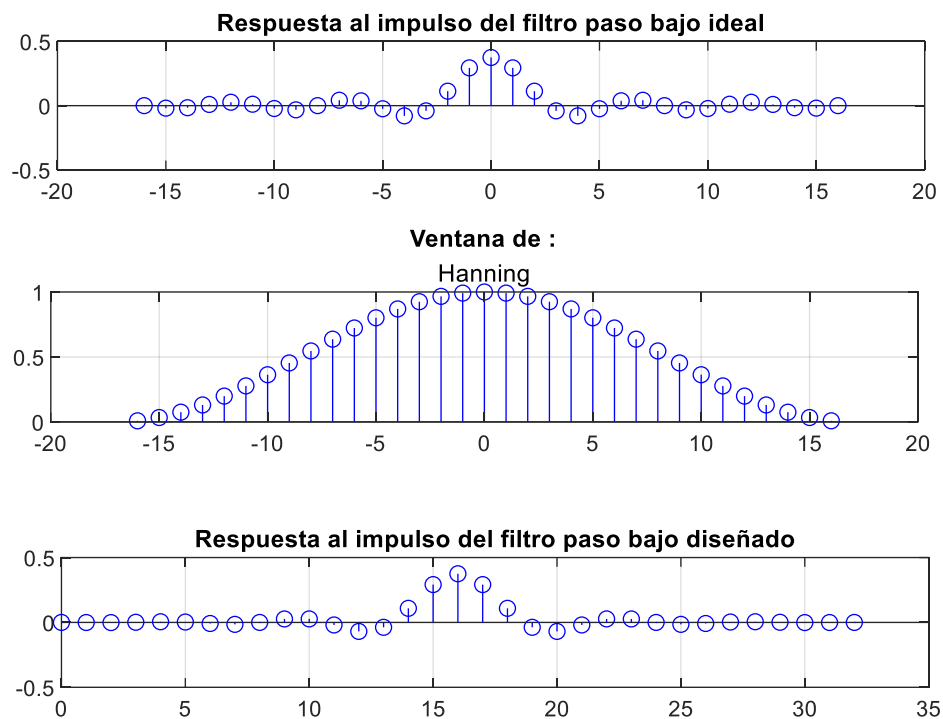
subplot(312);
stem(n, ventana, color); grid on;
title('Ventana de :',str);
if(i<3)
    axis([-20 20 0 1]);
end
if(i==3)
    axis ([-25 25 0 1]);
end
if(i==4)
    axis ([-8 8 0 1]);
end

subplot(313);
stem(ejefiltro, fil_ventanado, color); grid on;
title('Respuesta al impulso del filtro paso bajo diseñado');
if(i<3)
    axis([0 35 -0.5 0.5]);
end
if(i==3)
    axis ([0 50 -0.5 0.5]);
end
if(i==4)
    axis ([0 16 -0.5 0.5]);
end

end
end

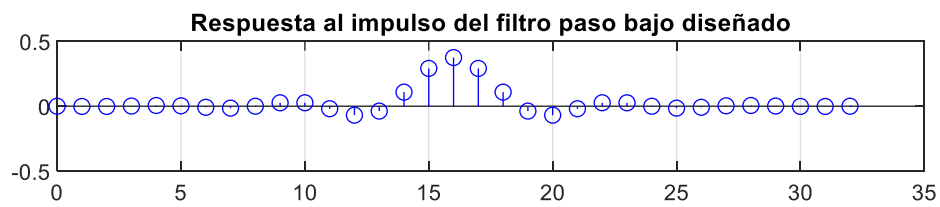
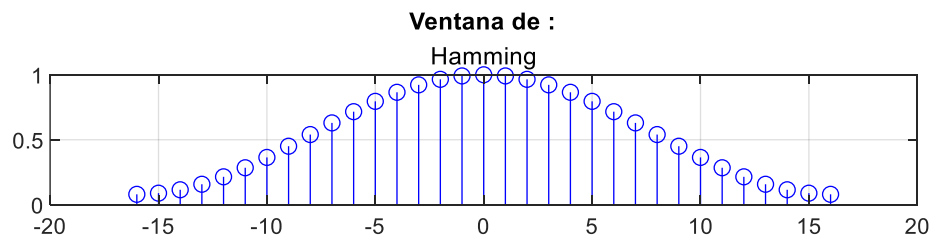
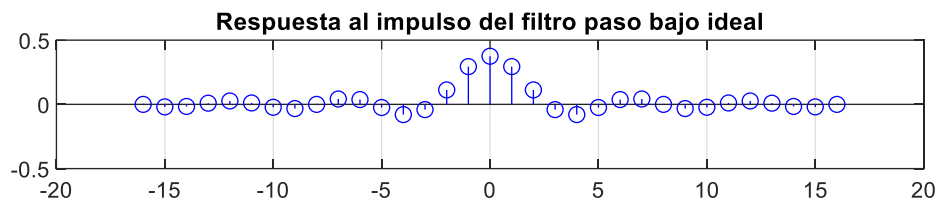
```

%HANNING

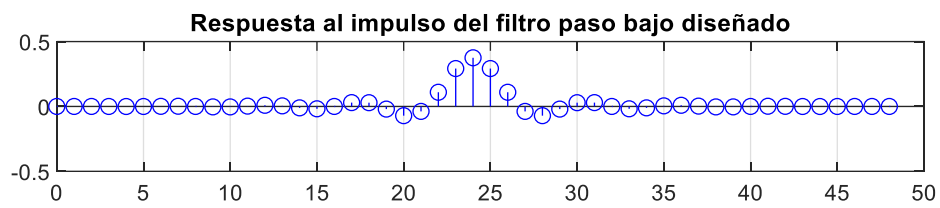
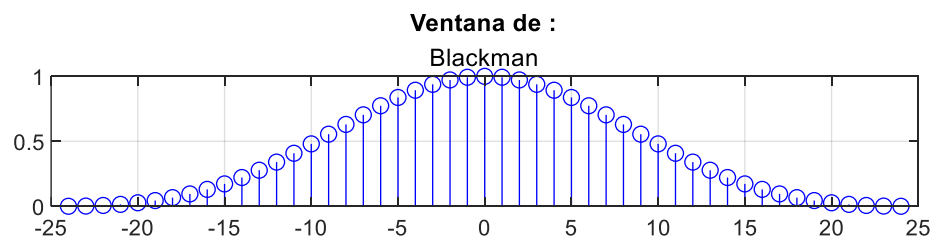
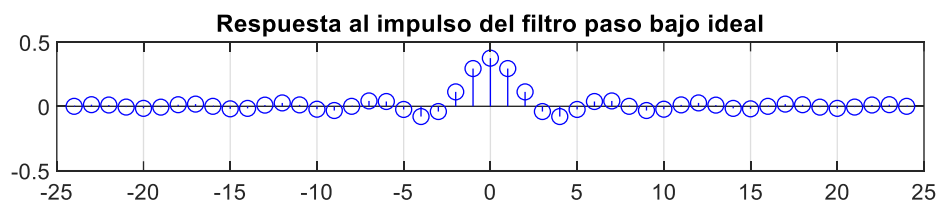


14

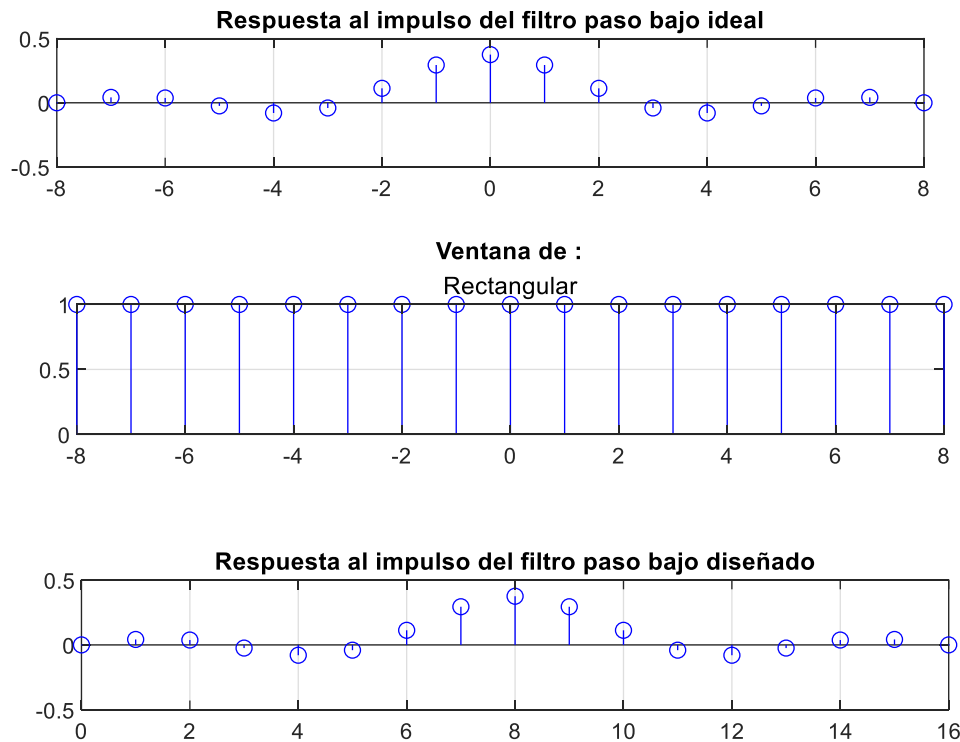
%HAMMING



%BLACKMAN



%RECTANGULAR



```
max = 1.2;
frecpaso = pi/2;
frecat = pi/4;
frec = (frecpaso + frecat) / 2;
vertbanpas = 0.1;
vertbanat = 0.02;
minimo_banpas = 1- vertbanpas;
maximo_banpas = 1 + vertbanpas;
maximo_banat = 0.02;

minimo_banpaslog = 20*log10(minimo_banpas);
maximo_banpaslog = 20*log10(maximo_banpas);
maximo_banatlog = 20*log10(maximo_banat);
minimolog = -150;
maximolog = 10;

N=1024;
frecuencia_paso=pi/4;
frecat1=pi/2;

desfase=frecat1-frecuencia_paso;
%HANNING
Hanning=(4*pi)/desfase;
%HAMMING
Hamming=Hanning;
%BLACKMAN
BlackMan=(6*pi)/desfase;
%RECTANGULAR
Rectangular=(2*pi)/desfase;
```

```

difventana=[Hanning Hamming BlackMan Rectangular];
for i=1:4

    M=difventana(i);%la ventana depende de la i
    n=-M:1:M; %eje discreto
    ejefiltro=0:2*M;
    L=2*M+1;
    frecu=(frecat1+frecuencia_paso)/2;
    hi=sin(frecu*n)./(pi*n);
    hi(M+1)=frecu/pi;

    if(i==1)
        ventana=hanning(L)';
        str= 'Hanning';
        color='b';
    end

    if(i==2)
        ventana=hamming(L)';
        str= 'Hamming';
        color= 'b';
    end
    if(i==3)
        ventana=blackman(L)';
        str= 'Blackman';
        color= 'b';
    end
    if(i==4)
        ventana=rectwin(L)';
        str= 'Rectangular';
        color= 'b';
    end

    fil_enventanado=ventana.*hi;
    FIL_ENVENT=fft(fil_enventanado,N);
    representacion=linspace(0, 2*pi, 1024);

    figure(i);
    title('Tabla de especificaciones logaritmica');
    patch([frecpaso frecpaso pi pi], [maximo_banatlog maximolog maximolog
        maximo_banatlog], [0 0 0 0]);

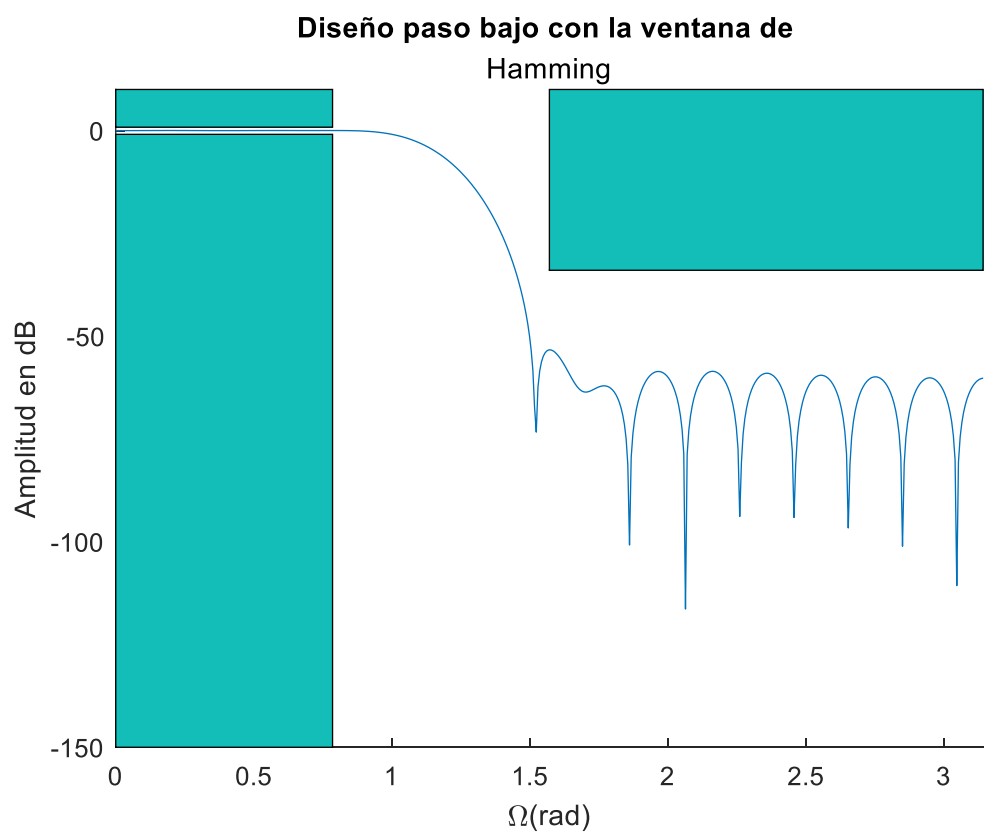
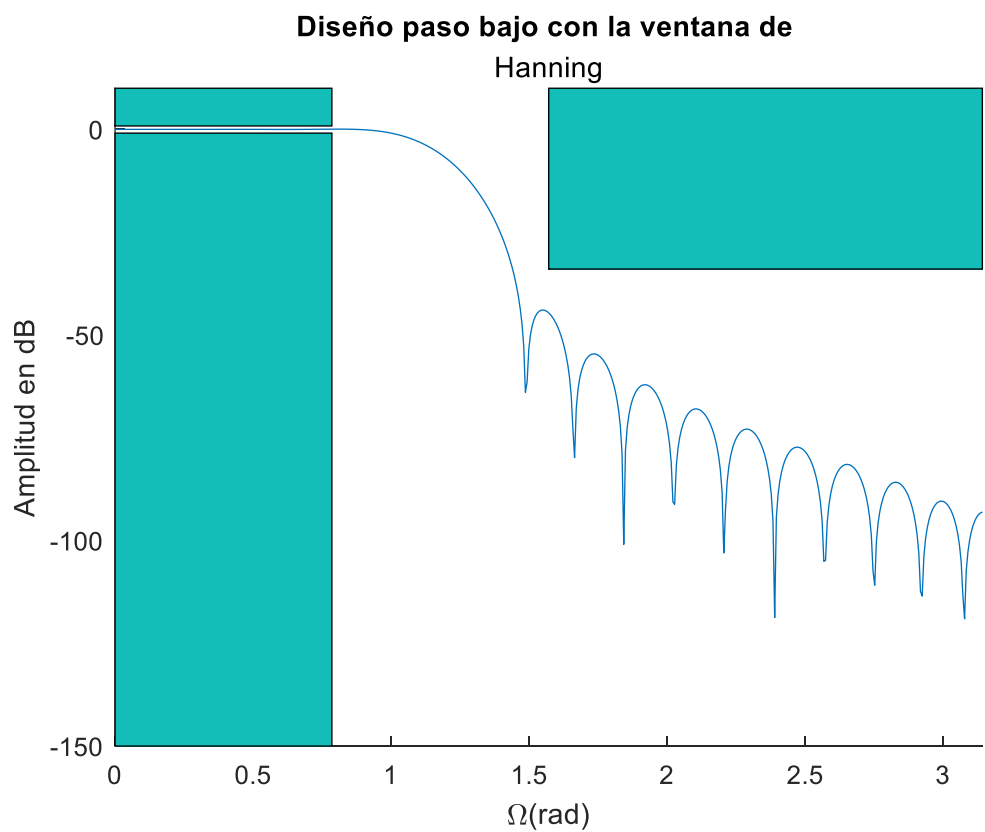
    patch([0 0 frecat frecat], [minimolog minimo_banpaslog minimo_banpaslog
        minimolog], [0 0 0 0]);

    patch([0 0 frecat frecat], [maximo_banpaslog maximolog maximolog maximo_banpaslog],
        [0 0 0 0]);

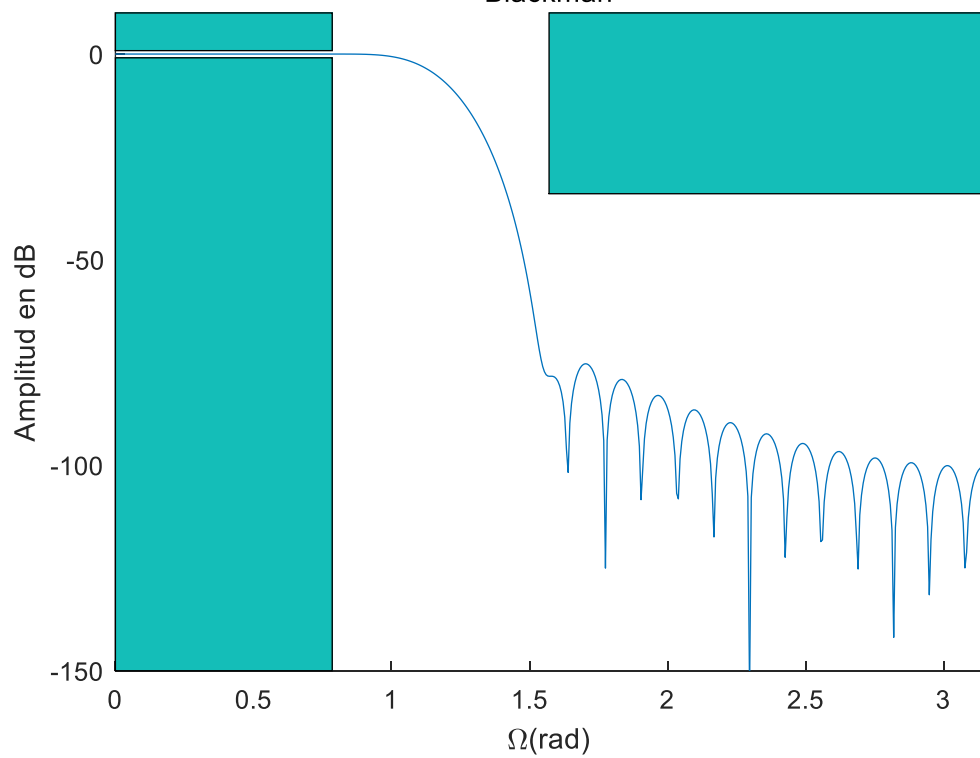
    figure(i);
    hold;
    plot(representacion, 20*log10(abs(FIL_ENVENT)));
    hold off;
    title('Diseño paso bajo con la ventana de ',str);
    xlabel('\Omega(rad)');
    ylabel('Amplitud en dB');
    axis([0 pi -150 10]);

end

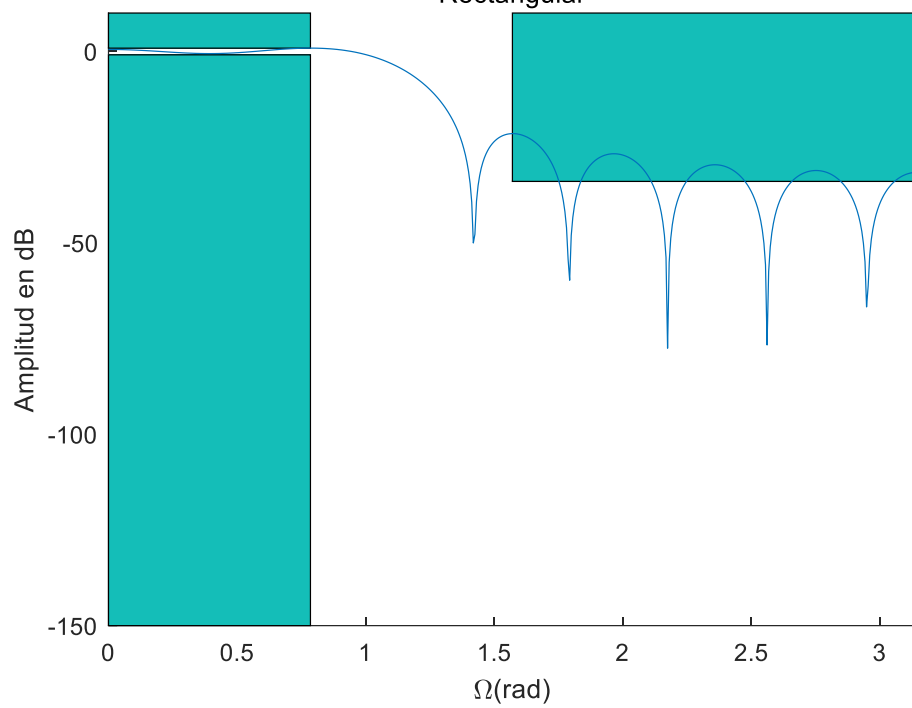
```



**Diseño paso bajo con la ventana de
Blackman**



**Diseño paso bajo con la ventana de
Rectangular**



```

N=1024;
frecuencia_paso=pi/4;
frecat=pi/2;

desfase=frecat-frecuencia_paso;
%BLACKMAN
BlackMan=(6*pi)/desfase;

    M=BlackMan;

n=-M:1:M; %eje discreto
ejefiltro=0:2*M;
L=2*M+1;
frecu=(frecat1+frecuencia_paso)/2;
hi=sin(frecu*n)/(pi*n);
hi(M+1)=frecu/pi;

ventana=blackman(L)';
color= 'b';

n_p=0:99;

fil_enventanado=ventana.*hi;
x=cos(frecuencia_paso.*n_p)+cos(frecuencia_paso.*n_p); %Señal x
y=filter(fil_enventanado, 1, x);
X=fft(x,N); %TF x
Y=fft(y,N); %TF y
representacion=linspace(0, 2*pi, 1024);

subplot(211); %x
plot(representacion, 20*log10(abs(X)));
title('Señal de entrada al filtro paso bajo');

subplot(212); %y
plot(representacion, 20*log10(abs(Y)));
title('Señal de salida al filtro paso bajo');
xlabel('\Omega(rad)');
ylabel('Amplitud en dB');
axis([-pi pi -10 30]);

```

2.3. Repita el Ejercicio 4.2 utilizando una ventana de Kaiser. Utilice la función `kaiserord` (véase `help kaiserord` o `doc kaiserord` para su uso) para calcular el orden de la ventana de Kaiser necesario.

```
bandapaso=0.1;
bandat=0.02;
frecuencia_paso=pi/4;
frecat=pi/2;
frecu=(frecat+frecuencia_paso)/2;
frecuencia=[frecuencia_paso frecat];
a=[1 0];
dev=[bandapaso bandat];
[N, Wn, beta, ftype]=kaiserord(frecuencia, a, dev, 2*pi);
N=N+1;
kaiserwin=kaiser((N+1), beta)';
ejen= -N/2:N/2;
ejenfiltro=0:N;
hi=(frecu/pi)*sinc(frecu*ejen/pi);
filt_wind=hi.*kaiserwin;

subplot(311); stem(ejen, hi);
title('Respuesta al impulso del filtro paso bajo ideal');
axis([-8 8 -0.5 0.5]);

subplot(312); stem(ejen, kaiserwin);
title('Ventana de Kaiser');
axis([-8 8 0 1]);

subplot(313); stem(ejenfiltro, filt_wind);
title('Respuesta al impulso del filtro paso bajo diseñado');
axis([0 16 -0.5 0.5]);

FIL_ENVENT=fft(filt_wind, 1024);%TF
representacion=linspace(0, 2*pi, 1024);

max = 1.2;
frecpaso = pi/2;
frecat = pi/4;
frec = (frecpaso + frecat) / 2;
vertbanpas = 0.1;
vertbanat = 0.02;
minimo_banpas = 1- vertbanpas;
maximo_banpas = 1 + vertbanpas;
maximo_banat = 0.02;

minimo_banpaslog = 20*log10(minimo_banpas);
maximo_banpaslog = 20*log10(maximo_banpas);
maximo_banatlog = 20*log10(maximo_banat);
minimolog = -150;
maximolog = 10;
```

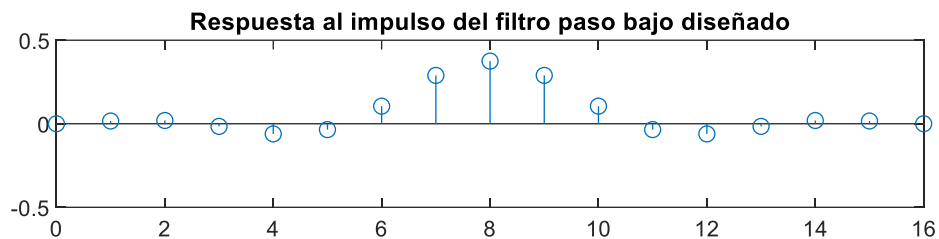
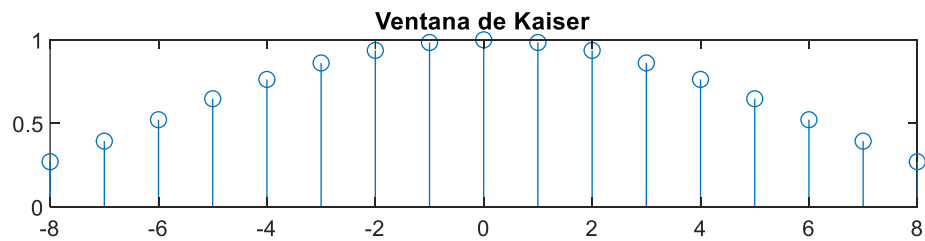
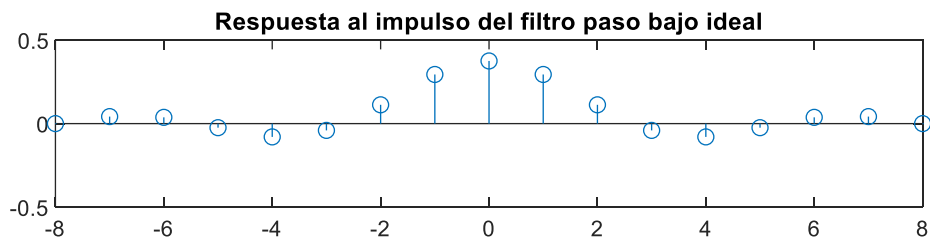
```

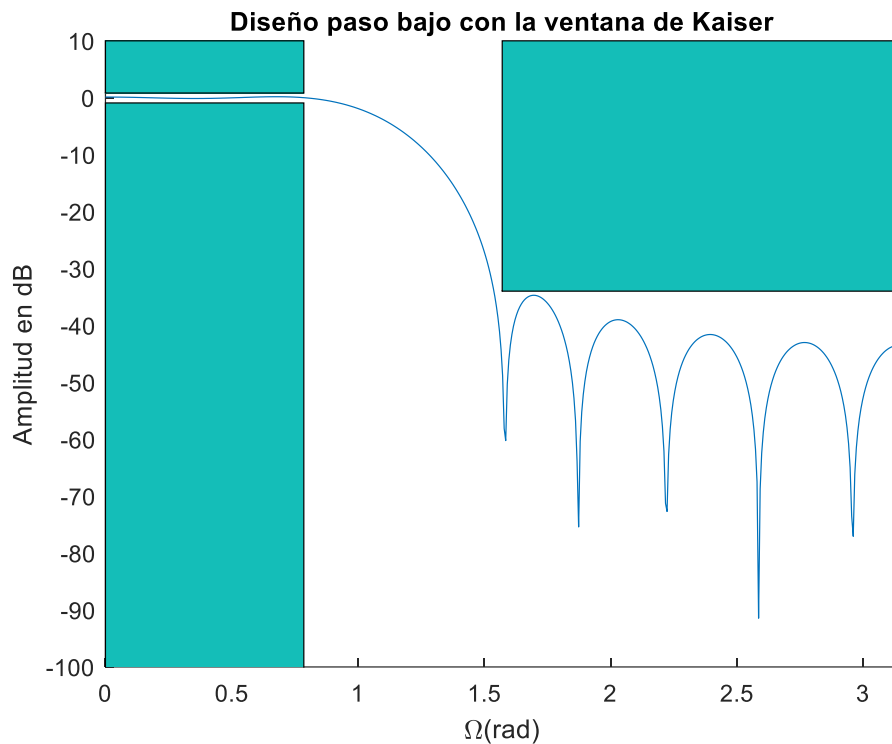
figure(4);
title('Tabla de especificaciones logaritmica');
patch([frecpaso frecpaso pi pi], [maximo_banatlog maximolog
maximolog maximo_banatlog], [0 0 0 0]);
patch([0 0 frecat frecat], [minimolog minimo_banpaslog
minimo_banpaslog minimolog ], [0 0 0 0]);
patch([0 0 frecat frecat], [maximo_banpaslog maximolog
maximolog maximo_banpaslog], [0 0 0 0]);

figure(4);
hold on;
plot(representacion, 20*log10(abs(FIL_ENVENT)));
hold off;

title('Diseño paso bajo con la ventana de Kaiser');
xlabel('\Omega(rad)');
ylabel('Amplitud en dB');
axis([0 pi -100 10]);

```





2.4. Se desea diseñar un **filtro paso alto** que deje pasar todas aquellas señales cuya frecuencia sea superior a $\Omega_p = \pi/2$ rad y que atenúe las señales con frecuencias inferiores a $\Omega_a = \pi/4$ rad. Dentro de la banda de paso la señal debe tomar un valor entre el 90 % y el 110 % del valor original, mientras que la amplitud de las señales en la banda de atenuación debe ser como mucho el 2 % de su valor original. Se pide:

- Dibuje la plantilla de especificaciones en escala logarítmica.
- Diseñe un filtro FIR que cumpla dicha plantilla usando una ventana fija, y represente el módulo de su respuesta en frecuencia (también en escala logarítmica).
- Compruebe las prestaciones del filtro utilizando una señal formada por 2 tonos.

Nota: Recuerde que para obtener un filtro FIR paso alto debe cambiar el filtro prototipo. Por un lado, la respuesta en frecuencia de un filtro prototipo paso bajo ideal con frecuencia de corte Ω_c es

$$H_{lp}(e^{j\Omega}) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |\Omega| < \Omega_c; \\ 0, & \Omega_c < |\Omega| < \pi. \end{cases}$$

Por otro lado, la respuesta en frecuencia de un filtro prototipo paso alto ideal con frecuencia de corte Ω_c viene dada por

$$H_{hp}(e^{j\Omega}) = \begin{cases} 0, & 0 \leq |\Omega| < \Omega_c; \\ 1, & \Omega_c < |\Omega| < \pi. \end{cases}$$

Comparando ambas respuestas en frecuencia, resulta evidente que

$$H_{hp}(e^{j\Omega}) = 1 - H_{lp}(e^{j\Omega}).$$

Calculando la transformada de Fourier inversa de esta ecuación se obtiene la respuesta al impulso de un filtro paso alto ideal en función de la del filtro paso bajo ideal.

```
max = 1.2;
vertbanpas = 0.1;%Valor del vértice de la banda de paso
vertbanat = 0.02;%Valor del vértice de la banda de atenuación
minimo_banpas = 1- vertbanpas; %Valor máximo de la banda de paso
maximo_banpas = 1 + vertbanpas; %Valor mínimo de la banda de paso
maximo_banat = 0.02; %Valor máximo de la banda de atenuación
frecpaso = pi/2; %Frecuencias del filtro paso alto
frecat = pi/4;
frec = (frecpaso + frecat) / 2;
%Para representar en escala logarítmica
%Estos serán los diferentes vértices
minimo_banpaslog = 20*log10(minimo_banpas);
maximo_banpaslog = 20*log10(maximo_banpas);
maximo_banatlog = 20*log10(maximo_banat);
minimolog = -100;
maximolog = 20;
%Mediante la función patch podemos dibujar un rectángulo opaco con los ejes
%que hemos definido anteriormente
figure(1);
title('Tabla de especificaciones logaritmica');
patch([0 0 frecat frecat], [maximo_banatlog maximolog maximolog
maximo_banatlog], [0 0 0 0]);
patch([frecpaso frecpaso pi pi], [ minimolog minimo_banpaslog minimo_banpaslog
minimolog ], [0 0 0 0]);
patch([frecpaso frecpaso pi pi], [maximo_banpaslog maximolog maximolog
maximo_banpaslog], [0 0 0 0]);
axis([0 pi -100 maximolog]);
banda = min([vertbanat vertbanpas]);
errormax = 20*log10(banda);
diferencia = abs(frecat - frecpaso);
%BlackMan
ordenblack = (6*pi) / diferencia;
lonblack = (2* ordenblack) + 1;
blackwin = blackman(lonblack)';
n= -ordenblack: ordenblack;
%Respuesta al impulso
```

```

hi = ([zeros(1, ((lonblack-1) /2)), 1, zeros(1, ( (lonblack-1) /2))] -
(frec/pi)*sinc(frec*n/pi));

filtwindow = hi.*blackwin;

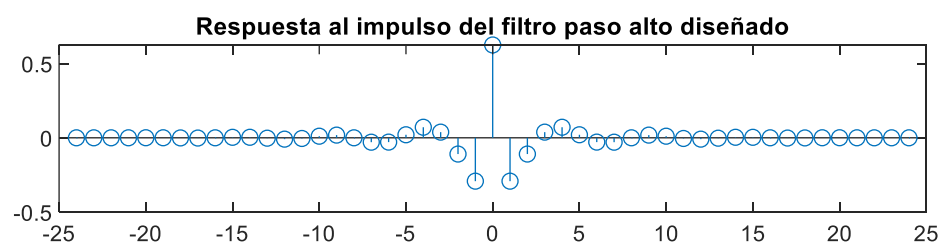
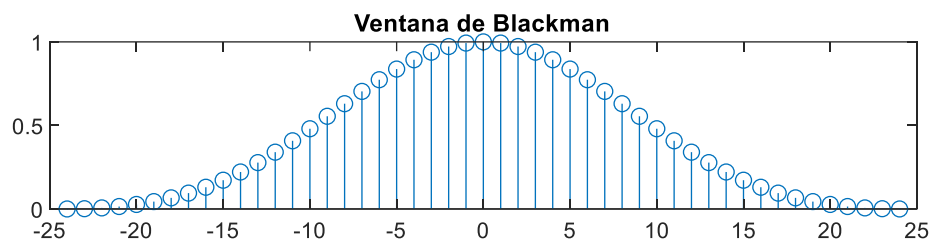
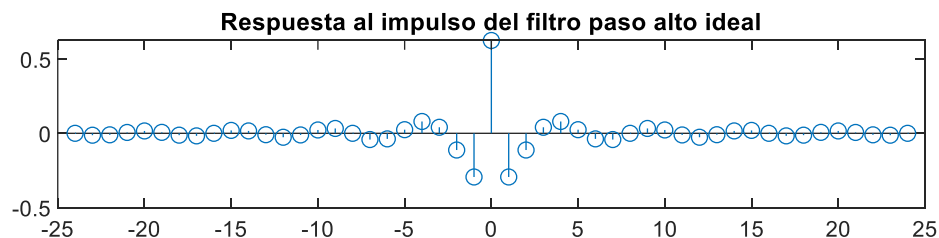
%TF para el filtro
FILTRO = fft(filtwindow, 1024);
eje = linspace(0, 2*pi, 1024);
figure(1);
hold;
plot(eje, 20*log10(abs(FILTRO))); hold off;
title('Diseño paso alto con ventana de Blackman');
xlabel('\Omega');
ylabel('Amplitud en dB');
axis([0 pi -140 20]);

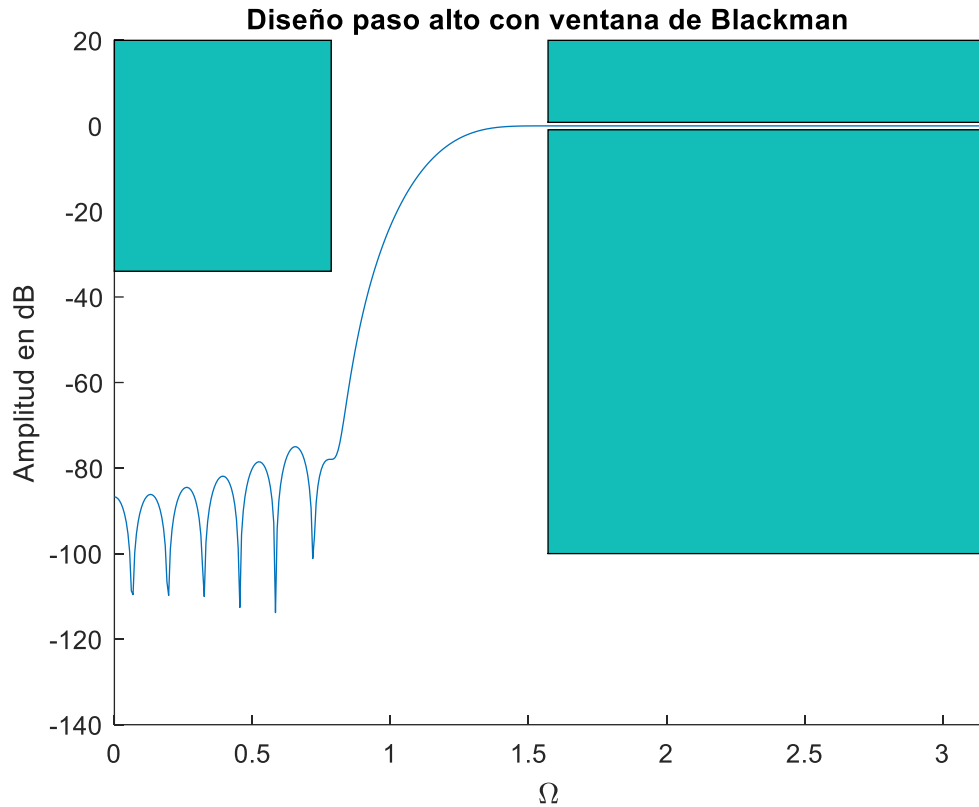
figure;
subplot(311);
stem(n, hi);
title('Respuesta al impulso del filtro paso alto ideal');

subplot(312);
stem(n, blackwin);
title('Ventana de Blackman');
subplot(313);

stem(n, filtwindow);
title('Respuesta al impulso del filtro paso alto diseñado');

```





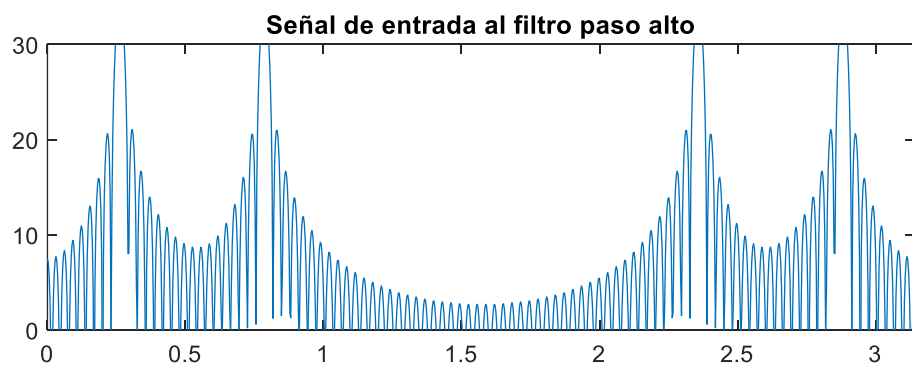
```

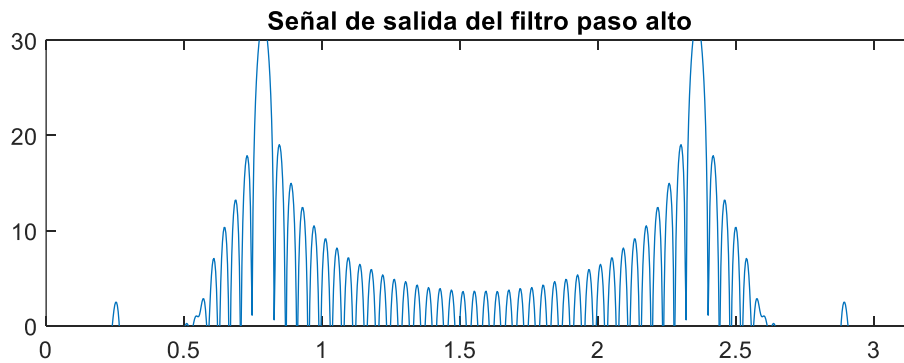
ejecomp = 0: 99;
frecbaja = pi/6;
x= cos(frecpaso*ejecomp)+ cos(frecbaja*ejecomp);
y = filter(hi, 1, x);
N = 1024;
X= fft(x, N);
Y= fft(y, N);
figure;
ejefourier = linspace(0, pi, N);

subplot(211);
plot(ejefourier, 20*log10(abs(X)));
title('Señal de entrada al filtro paso alto');
axis([0 pi 0 30]);

subplot(212);
plot(ejefourier, 20*log10(abs(Y)));
title('Señal de salida del filtro paso alto');
axis([0 pi 0 30]);
title('Señal de salida del filtro paso alto');

```



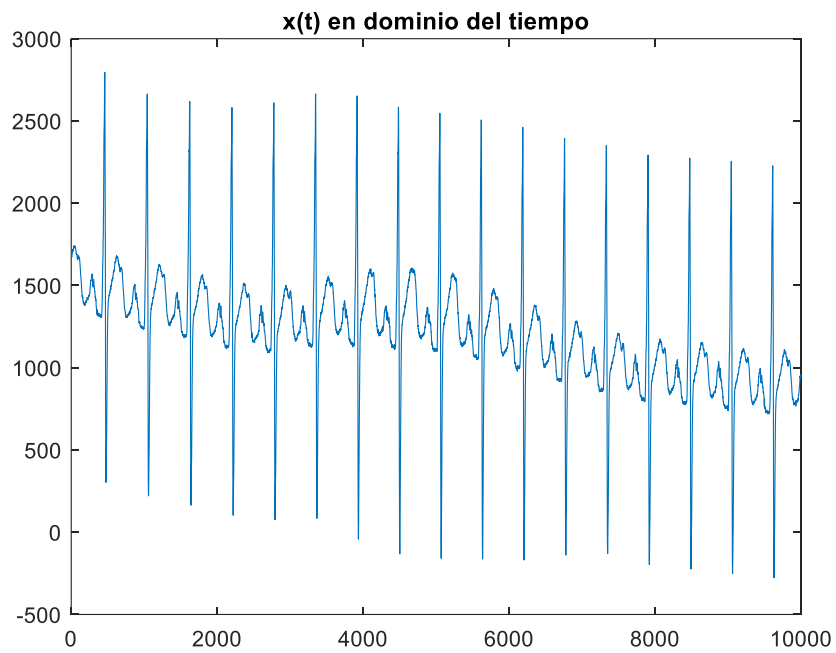


3. Diseño de un Filtro para una Aplicación Real

En la práctica, una de las principales aplicaciones de los filtros selectivos en frecuencia es la eliminación de ruido e interferencias de las señales de interés que se desean procesar. La principal causa de distorsión en el procesamiento de señales biomédicas es la interferencia de otras señales (artefactos), tanto de origen biológico como externas, distintas de la señal que se desea estudiar. En esta práctica vamos a considerar el electrocardiograma (ECG), que es la principal señal biomédica usada para el diagnóstico clínico y cuyo contenido frecuencial está concentrado por debajo de 40 Hz típicamente. Entre otras, dos interferencias relevantes que aparecen siempre en el ECG son la fluctuación de la línea de base (“baseline wander”), un ruido de muy baja frecuencia que aparece típicamente por debajo de 0,5 Hz, y la interferencia de la red eléctrica (“powerline interference”), que consiste en un tono de frecuencia 50 Hz. En lo sucesivo se le pide diseñar un filtro paso alto para eliminar la fluctuación de la línea de base.

- 3.1. Cargue la señal proporcionada (s0273lremV4T10s), que contiene 10 segundos de un solo canal de ECG (derivación pre-cordial V4) tomado con una frecuencia de muestreo $f_s = 1000$ Hz. Dibuje la señal tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia (definiendo correctamente los correspondientes vectores de tiempo y frecuencia). Observe la repetición de picos en la señal temporal (correspondientes a los distintos latidos cardiacos) y la fluctuación de la línea de base de la señal. En el dominio frecuencial, confirme que el espectro está concentrado dentro de los límites esperados (haciendo un zoom de la figura o usando el comando xlim).

```
load s0273lremV4T10s.mat x  
  
plot(x);  
title('x(t) en dominio del tiempo');
```



4. Tabla de Ventanas

Ventana	Amplitud relativa del lóbulo secundario (dB)	Ancho aproximado lóbulo principal	Error de aproximación de pico: $20 \cdot \log(\delta)$ (dB)
Rectangular	-13.5	$2\pi/M$	-21
Bartlett	-27	$4\pi/M$	-25
Hanning	-31	$4\pi/M$	-44
Hamming	-41	$4\pi/M$	-53
Blackman	-57	$6\pi/M$	-74

Tabla 1: Características de distintas funciones ventana $w[n]$. Todas las ventanas son distintas de cero para $-M \leq n \leq M$.