

**PREINFORME: PRÁCTICA FILTROS FIR – IIR. PARTE 2**

**AUTORES:**

**Daniel Andrés Pineda  
Juan Camilo Riveros  
Darwin Felipe Castro**

**PRESENTADO A:**

**Pablo Andrés Rodríguez Ferro**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ D.C. 2021**

## INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente preinforme, responde a entender las técnicas necesarias para la implementación de filtros digitales de tipo FIR (respuesta finita al impulso) y de tipo IIR (respuesta infinita al impulso), evaluando diferentes alternativas al momento de llevarlos a la práctica, reconociendo sus alcances y limitaciones. La implementación de dichos filtros, será realizada en un microcontrolador de la familia Microchip (PIC18F).

La hipótesis que se plantea inicialmente corresponde al filtrado de una señal proveniente de un generador de funciones. Esta señal, debe ser digitalizada por medio del ADC del microcontrolador. Esto tiene una incidencia directa en el tamaño de entrada a los filtros, y será una palabra de 12 bits. Posterior a la fase de filtrado digital, la señal debe ser transmitida por medio de SPI.

### I. Filtros FIR.

1. Usando Matlab®, diseñe los siguientes filtros FIR para una frecuencia de muestreo de 100 Hz + 20\* número de grupo:
  - **Paso-bajo a 0.1 Fs de orden 7:** Para este filtro se estableció la frecuencia de corte a 0.1Fs es decir  $F_c = 0.1 * 140\text{Hz} = 14\text{Hz}$ . El filtro de tipo FIR fue diseñado por el método de ventana, haciendo uso de una ventana tipo Chebyshev. Ello, debido a que el uso de una ventana de este tipo, condiciona una mayor caída en magnitud para un orden pequeño, y la frecuencia de corte hallada anteriormente

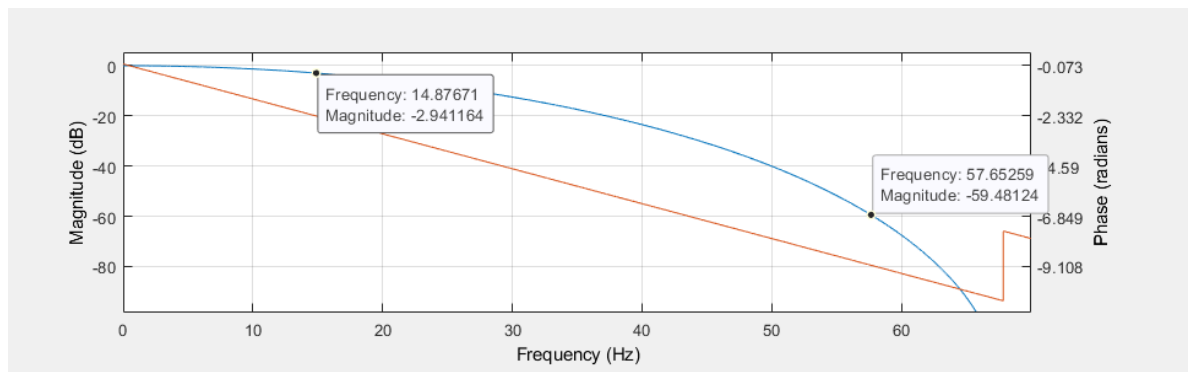


Ilustración 1. Bode en magnitud y fase, filtro FIR, orden 7.

En la ilustración 1 es visible que, de forma cercana a la frecuencia de corte, el filtro ya comienza a atenuar alrededor de 3dB y en 57Hz atenúa alrededor de 60dB. Para el caso de la fase, como es esperado en un filtro FIR, se comporta linealmente y la pendiente es igual al índice de la muestra de simetría. Por lo tanto, se cumple que  $h(n)=\pm h(M-1-n)$ ,  $n=0,1, \dots, M-1$  esto quiere decir que la suma de los coeficientes es real.

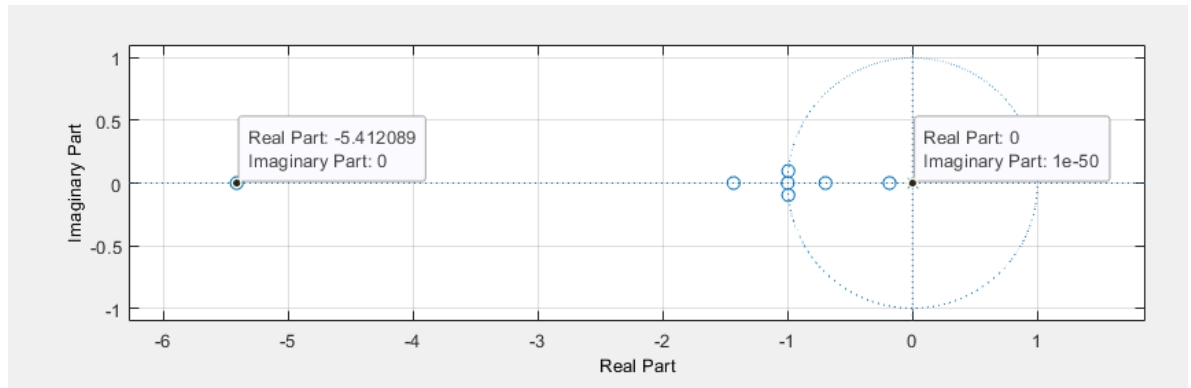


Ilustración 2. Diagrama de polos y ceros filtro FIR, orden 7

En la ilustración anterior se puede observar por la ubicación de los polos y ceros, que es un filtro estable puesto que la mayoría se encuentran dentro del círculo unitario. Adicionalmente, es observable que los ceros están ubicados sobre las frecuencias que se desean eliminar.

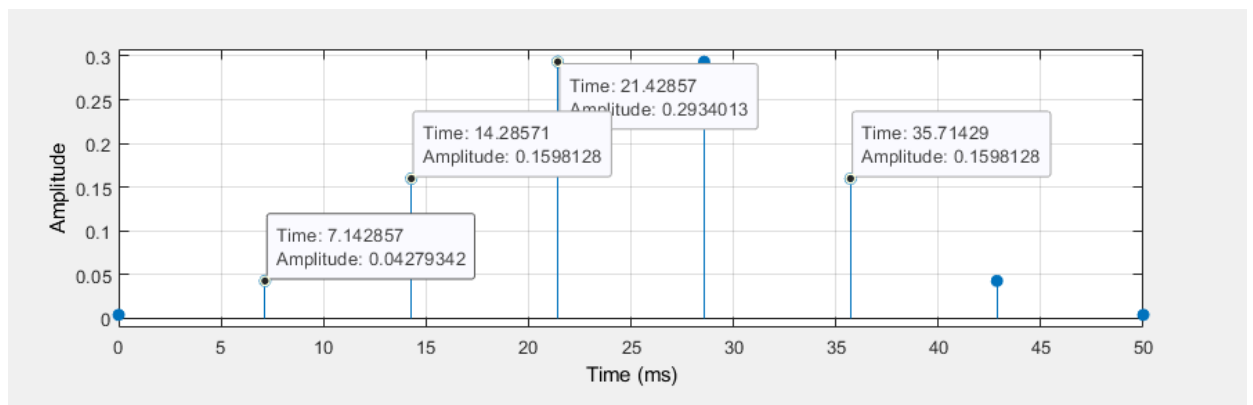


Ilustración 3. Respuesta impulso filtro FIR, orden 7

La respuesta impulso para un FIR es equivalente a ver los coeficientes del filtro, por lo tanto, en la ilustración anterior podemos observar los coeficientes del filtro realizado más uno extra que es el reflejo del primero.

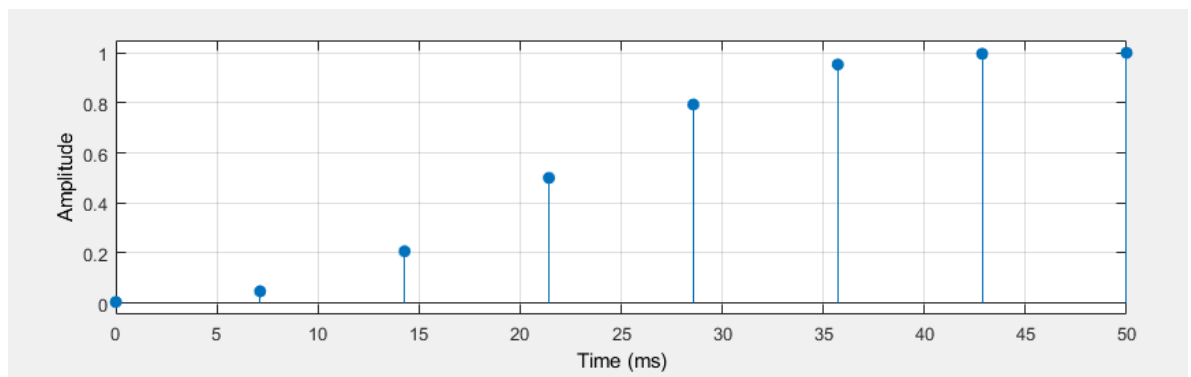


Ilustración 4. Respuesta paso filtro FIR, orden 7

En la ilustración anterior se puede observar la respuesta paso para el filtro FIR diseñado de orden 7, y se observa que el filtro se estabiliza a la referencia que es 1 entre 45-50 ms.

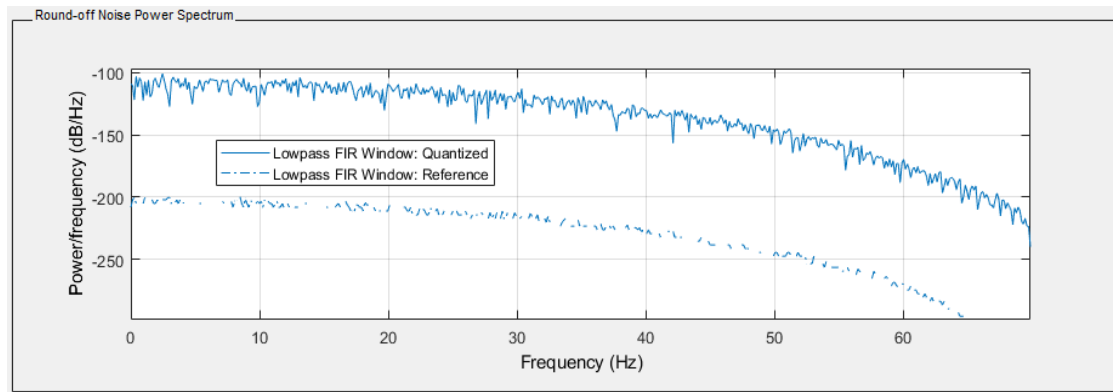


Ilustración 5. Respuesta a ruido filtro FIR, orden 7.

Al observar la referencia de respuesta al ruido se determina que hay un buen comportamiento por parte del filtro, puesto que lo atenúa todas las componentes de señales no deseadas, por debajo de -200 dB/Hz. Al observar la cuantización, este valor disminuye, e igualmente se encuentra por debajo de los -60dB/Hz.

Finalmente, a continuación, se pueden observar los coeficientes cuantizados a un tamaño 12 bits, para su correspondencia con el ancho de palabra del ADC del microcontrolador a emplear.

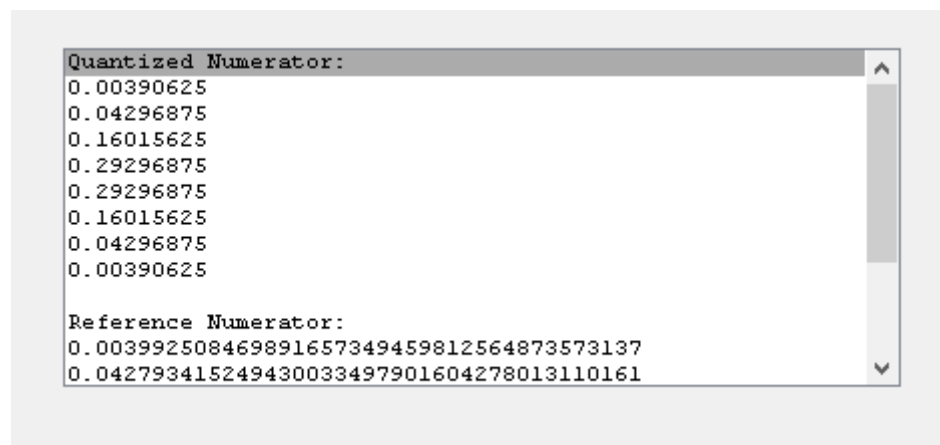


Ilustración 6. Coeficientes cuantizados del filtro FIR, orden 7.

- **Paso-bajo a 0.1Fs de orden 11:** Para este filtro se estableció la frecuencia de corte a 0.1Fs es decir  $F_c = 0.1 * 140Hz = 14Hz$  y un orden 11. Este se diseñó por el método “window”, con una ventana tipo Chebyshev, debido a que fuerza una mayor caída en magnitud para un orden pequeño. Así también, para la frecuencia de corte anterior empieza la atenuación.

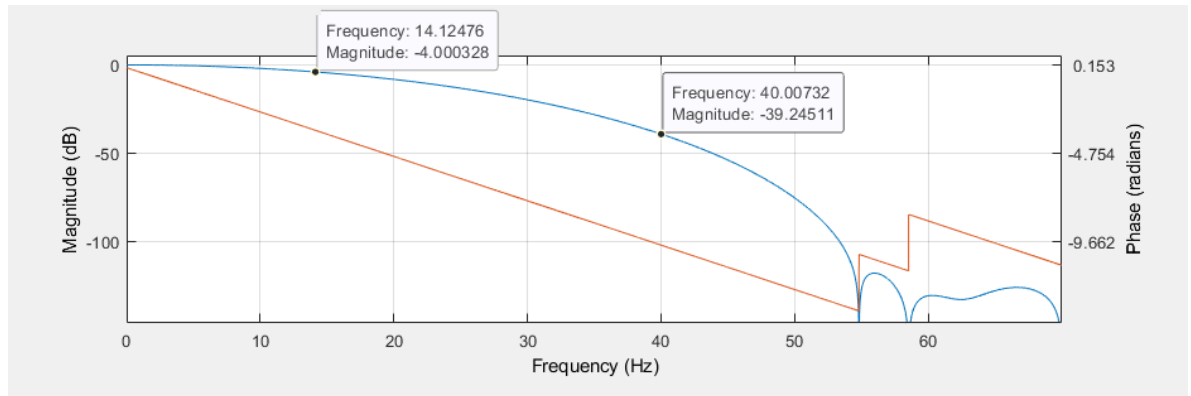


Ilustración 7. Bode en magnitud y fase, orden 11.

En la ilustración 7, se contempla el diagrama de bode en magnitud y en fase para el filtro realizado anteriormente. De acuerdo a esta simulación, la frecuencia de corte se atenúa alrededor de 4dB y en 40Hz atenúa en 40dB. Al igual que en el caso del filtro anterior, se espera una fase de estilo lineal, y una pendiente igual al índice de la muestra de simetría (Par, simétrico).

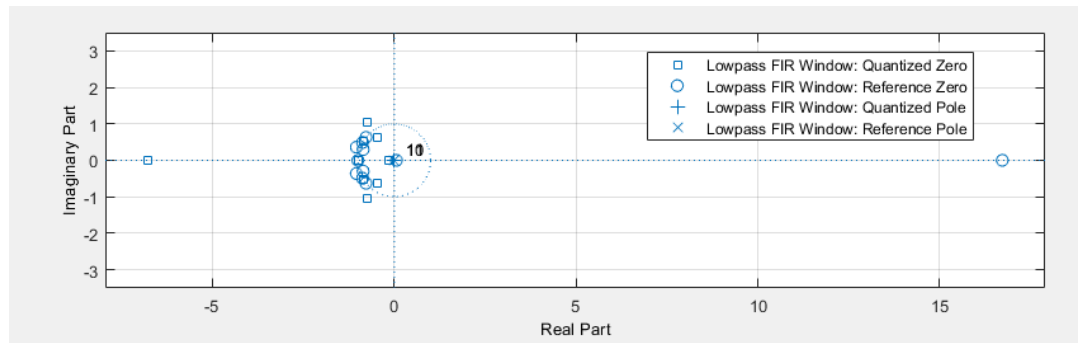


Ilustración 8. Diagrama de polos y ceros filtro FIR, orden 11.

Para el diagrama de polos y ceros se puede observar que la mayoría se encuentran dentro del círculo unitario, y que el filtro tiende a ser estable.

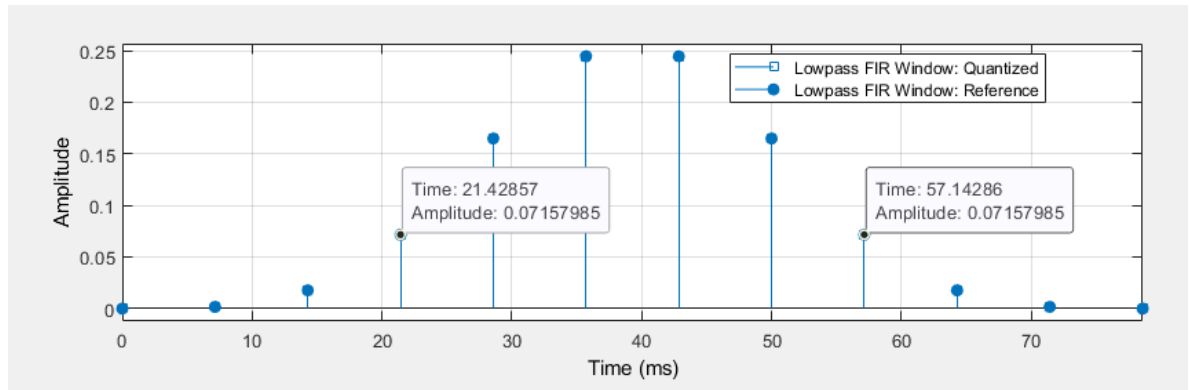


Ilustración 9. Respuesta impulso filtro FIR, orden 11.

En la ilustración 9 se observa la respuesta impulso del filtro. El filtro no tiene polos, por lo tanto, en la respuesta impulso se pueden observar los coeficientes correspondientes al orden más uno, que es el reflejo del primer coeficiente.

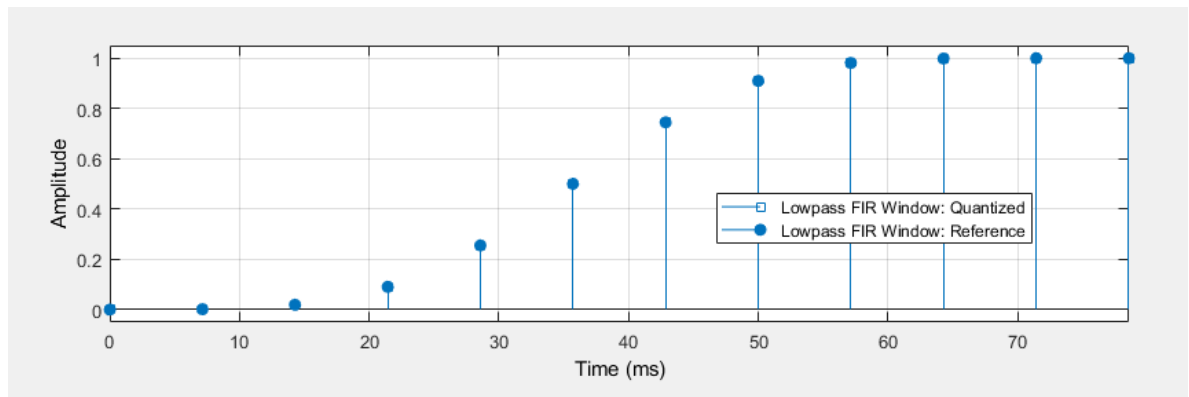


Ilustración 10. Respuesta paso filtro FIR, orden 11.

De acuerdo a la respuesta paso, se observa que el filtro se estabiliza a la referencia, alrededor de 65 ms.

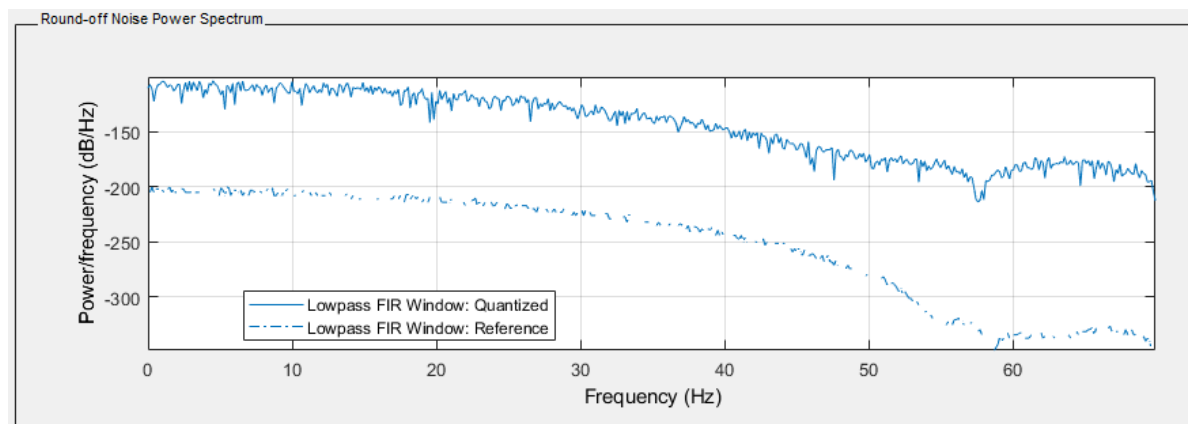


Ilustración 11. Respuesta a ruido filtro FIR, orden 11.

Al observar la referencia de respuesta al ruido se determina un buen filtrado, puesto que lo atenúa todas las componentes de ruido, por debajo de -200 dB/Hz. Al observar la cuantización, este valor disminuye, e igualmente se encuentra por debajo de los -60dB/Hz.

A continuación, se pueden los coeficientes cuantizados a 12 bits.

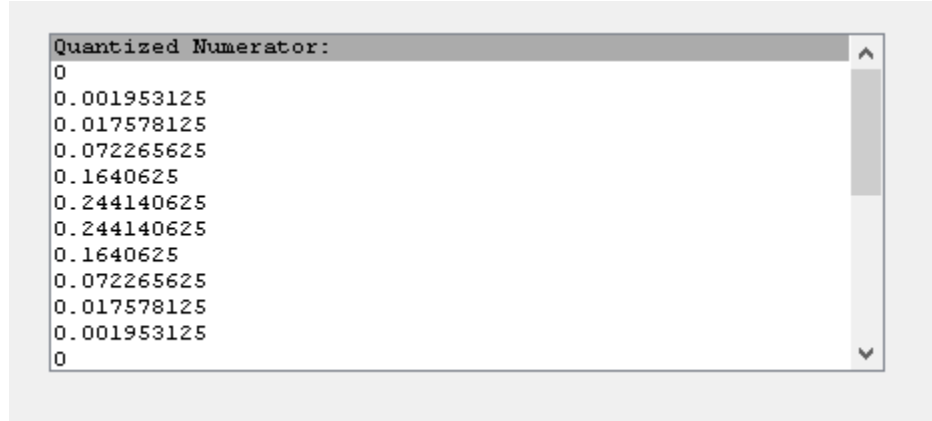


Ilustración 12. Coeficientes cuantizados del filtro FIR, orden 11.

- Paso-bajo a 0.2 Fs de orden 17:** Para este filtro se estableció la frecuencia de corte a 0.2Fs es decir  $F_c = 0.2 * 140Hz = 28Hz$  y un orden 17. Fue seleccionada una ventana tipo Blackman debido a tiene una rápida caída (frente a una Chebyshev del mismo orden, por ejemplo) y una buena atenuación en la frecuencia requerida.

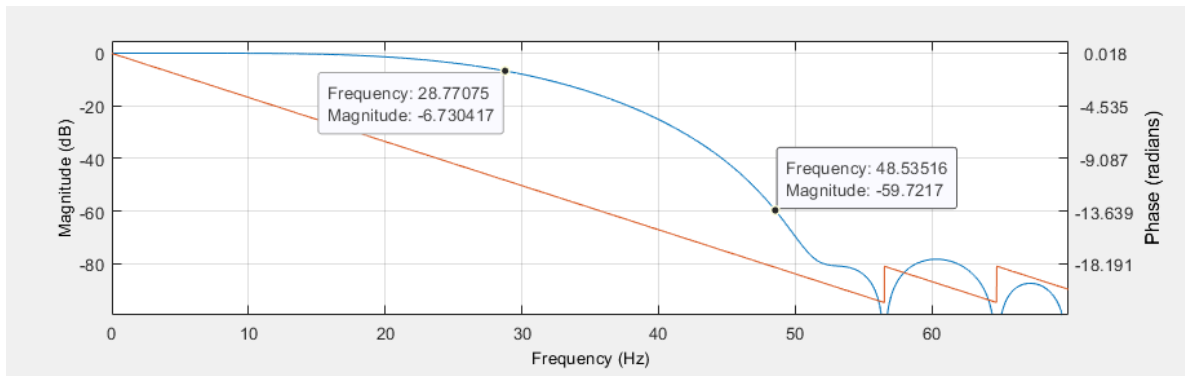


Ilustración 13. Bode magnitud y fase, filtro FIR, orden 17

En el diagrama de bode en magnitud, se puede observar que en la frecuencia de corte se atenúan alrededor de 6dB y en 48Hz atenúa cerca de 60 dB. Para el caso de la fase, se observa que sigue cumpliendo con que la fase sea lineal (Par, antisimétrico).

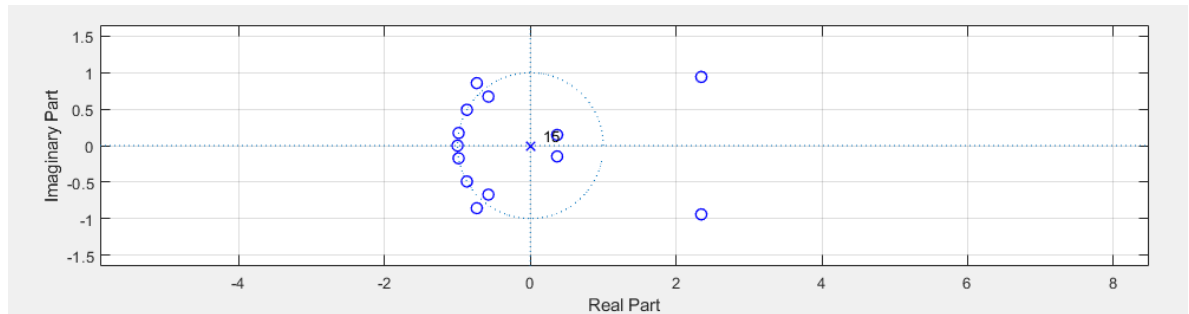


Ilustración 14. Diagrama de polos y ceros, filtro FIR, orden 17.

Para el diagrama de polos y ceros se puede observar que la mayoría se encuentran dentro del círculo unitario, y que el filtro tiende a ser estable a pesar de tener dos componentes fuera de este, y en la parte positiva real.

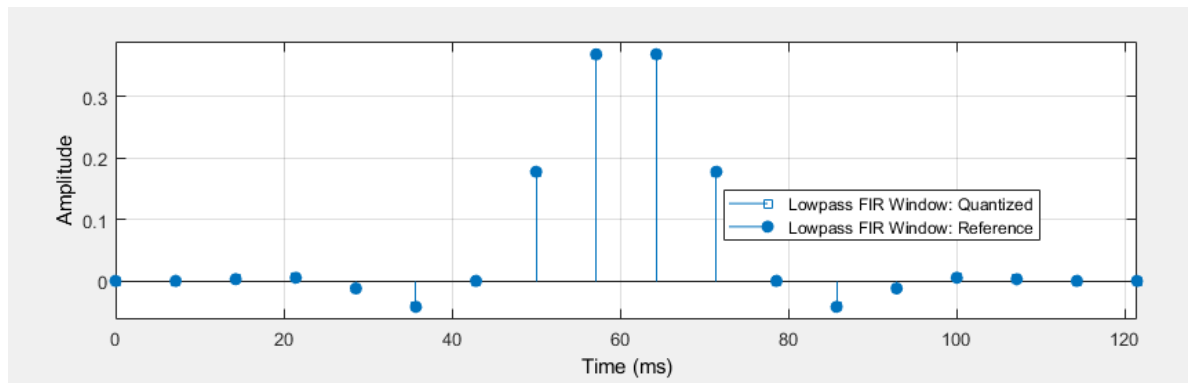


Ilustración 15. Respuesta impulso, filtro FIR, orden 17.

Se observa, en la respuesta impulso del filtro los coeficientes correspondientes al orden  $n$  del mismo, y el reflejo del primer coeficiente. Adicionalmente se observa una secuencia conjugada antisimétrica y par.

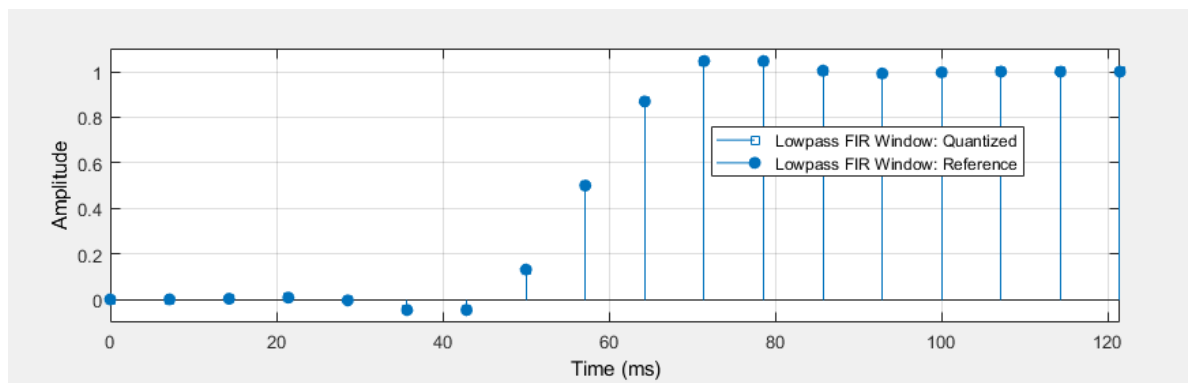


Ilustración 16. Respuesta paso, filtro FIR, orden 17



Para la respuesta paso se observa un sobrepico en las muestras de 70 y 78 ms. La estabilización ocurre en la muestra inmediatamente siguiente, alrededor de los 85ms.

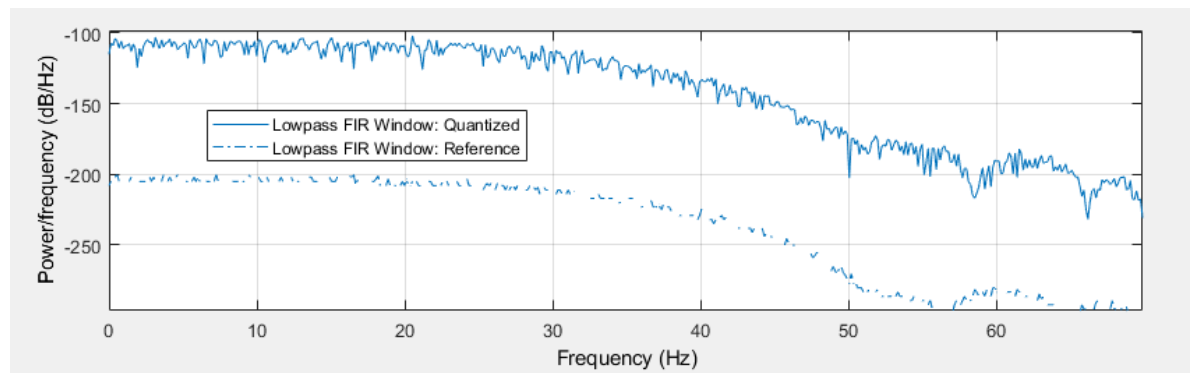


Ilustración 17. Respuesta a ruido filtro FIR, orden 17.

Al observar la respuesta al ruido se determina que funciona de forma óptima, ya que atenúa el ruido por debajo de -200 dB/Hz y a pesar de que al cuantizar, el valor disminuye, se encuentra por debajo de los -60dB/Hz.

A continuación, se pueden observar los coeficientes cuantizados a 12 bits.



Ilustración 18. Coeficientes cuantizados del filtro FIR, orden 17.

- Paso-bajo a 0.25 Fs. de orden 30:** Para este filtro se estableció la frecuencia de corte a  $0.25F_s$  es decir  $F_c = 0.25 * 140Hz = 35Hz$  y un orden 30. Se seleccionó una ventana tipo Blackman al igual que en el caso anterior, por tener una mayor caída en magnitud frente a algunas ventanas de un mismo orden. Para cumplir con el requerimiento de orden fue debido sumar uno, por lo que el filtro se diseñó con orden 31. La justificación de esto, responde al hecho de que al aumentar el orden de los filtros diseñadas por el método de ventana Blackman (orden  $N-1$ ), se tiene una incidencia directa en confinar las ondulaciones más cerca del borde de la banda, sin disminuir la magnitud de la ondulación.

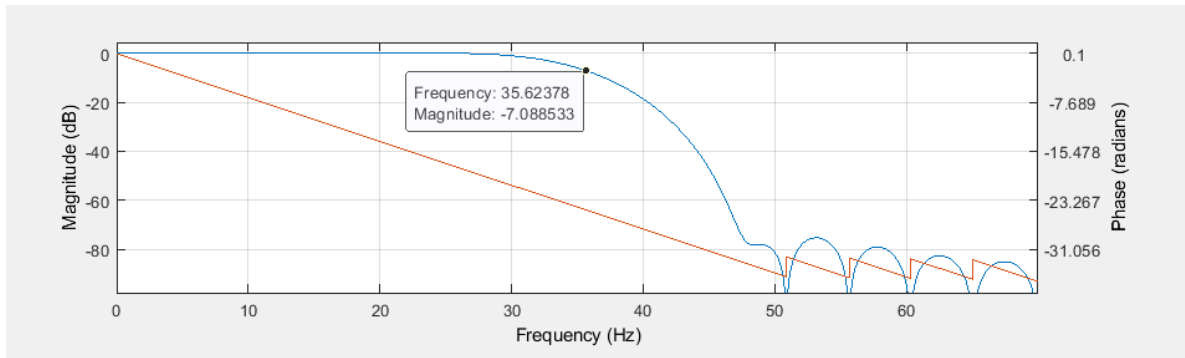


Ilustración 19. Bode magnitud y fase, Filtro FIR, orden 30.

En la ilustración anterior, es posible observar el diagrama de bode en magnitud, para el cual es visible que la frecuencia de corte se atenúa alrededor de 7dB. Para el diagrama de bode en fase se determina que continúa con un comportamiento lineal característico de los filtros tipo FIR.

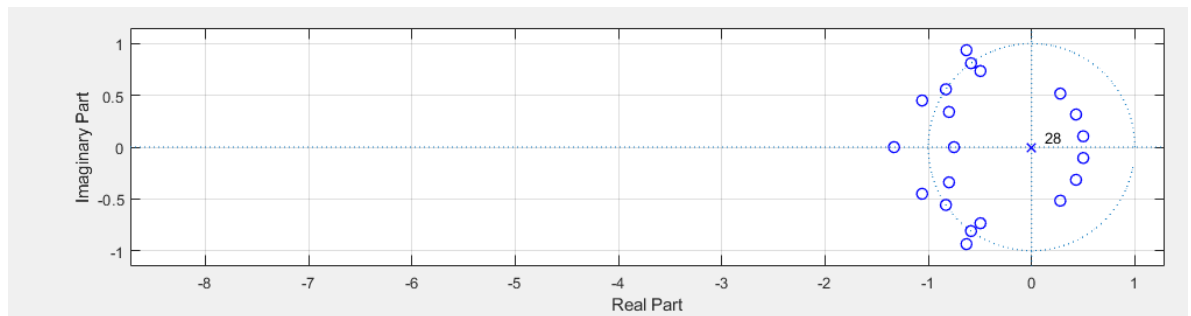


Ilustración 20. Diagrama de Polos y ceros, filtro FIR, orden 30

Para el caso del diagrama de polos y ceros, se puede observar una notable agrupación de ceros en el círculo unitario, lo cual es un fuerte indicador de un filtro estable, y coincide con lo que inicialmente se espera, que es un sistema que prácticamente carezca por completo de realimentación.

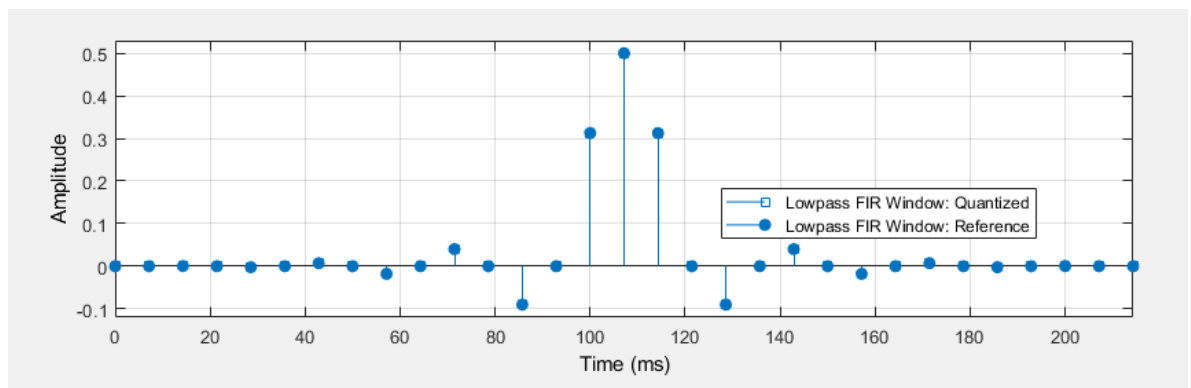


Ilustración 21. Respuesta impulso, filtro FIR, orden 30.

En la respuesta impulso del filtro, son notables todos y cada uno de los 31 coeficientes que serán empleados. Adicionalmente, es posible distinguir una secuencia conjugada

de los mismos, de tipo simétrico a partir de la siguiente ecuación empleada para obtener una secuencia temporal de coeficientes, en caso de usar el método de ventana Blackman:

$$0.42 - 0.5 \cdot \cos \frac{2\pi n}{N-1} + 0.08 \cdot \cos \frac{4\pi n}{N-1}$$

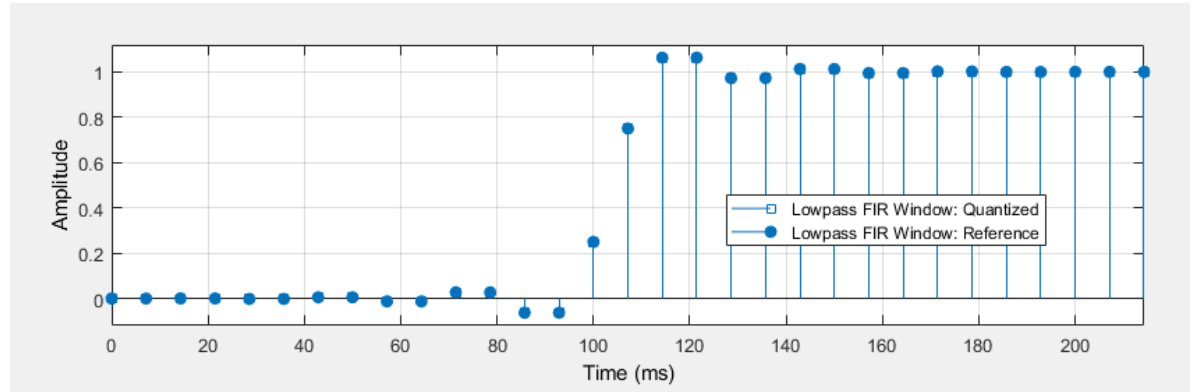


Ilustración 22. Respuesta paso, filtro FIR, orden 30

A partir de la respuesta paso se observa un sobrepico ubicado aproximadamente entre 117ms y 122ms. Su estabilización se da alrededor de los 142ms (muestra 21).

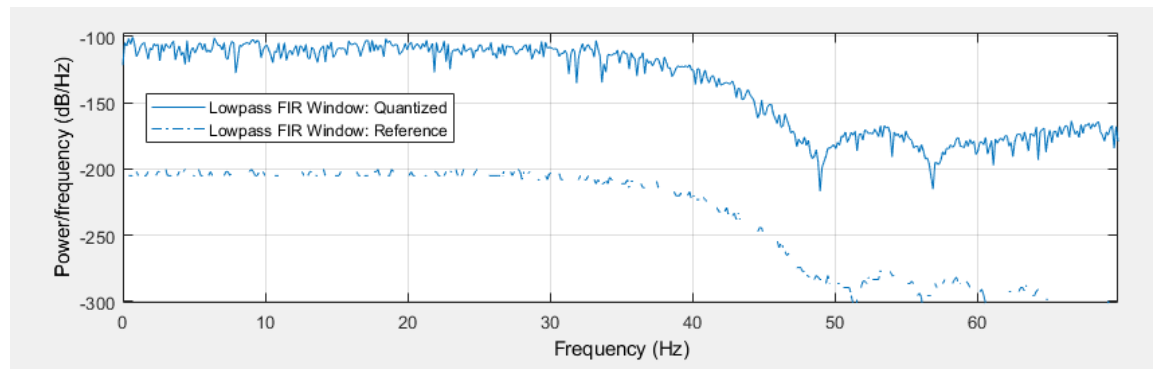


Ilustración 23. Respuesta a ruido filtro FIR, orden 30

Finalmente se observan los 31 coeficientes cuantizados para 12 bits, del filtro diseñado

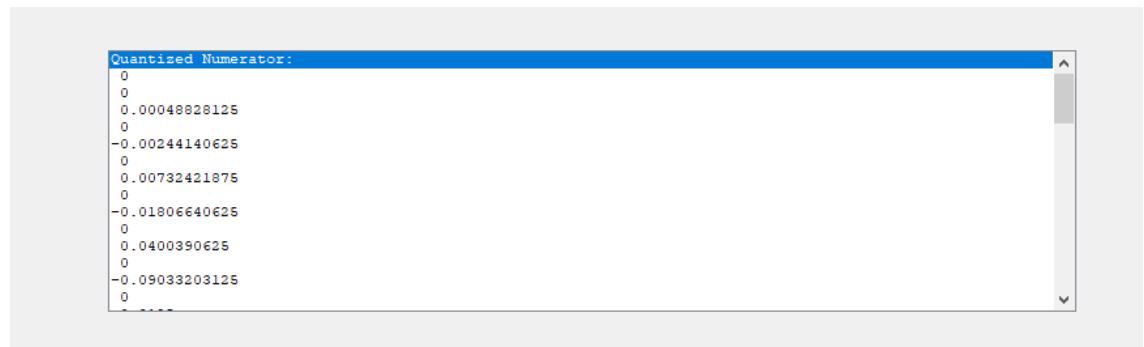


Ilustración 24. Coeficientes del 1 al 14 filtro FIR, orden 30

```
0
0.3125
0.5
0.3125
0
-0.090333203125
0
0.0400390625
0
-0.01806640625
0
0.00732421875
0
-0.00244140625
0
-0.000000000000
```

```
-0.00244140625
0
0.00048828125
0
0
Reference Numerator:
0
0.000000000000000000078155878394335589123
0.00041032287080936365652669706172162023
-0.000000000000000000078379050640788442805
-0.002230285518524043400501177814021502854
0.00000000000000000002533835192194323673061
0.007100857132041432824565152515106092324
-0.00000000000000000005642343432329610234842
.
```

## II. FILTROS IIR

- **IIR para una frecuencia de muestreo de 240 -20\*número del grupo, rechazo de banda a 60 Hz de orden 4 y mayor Q que considere conveniente:**

$$Q = \frac{\sqrt{Fc1 \cdot Fc2}}{Fc1 - Fc2} = \frac{\sqrt{61 \cdot 59}}{61 - 59} \cong 30$$

<b>Response Type</b> <input type="radio"/> Lowpass <input type="radio"/> Highpass <input type="radio"/> Bandpass <input checked="" type="radio"/> Bandstop <input type="radio"/> Differentiator <b>Design Method</b> <input checked="" type="radio"/> IR Butterworth <input type="radio"/> FIR Window	<b>Filter Order</b> <input checked="" type="radio"/> Specify order: 4 <input type="radio"/> Minimum order <b>Options</b> There are no optional parameters for this design method.	<b>Frequency Specifications</b> Units: Hz Fs: 200 Fc1: 61 Fc2: 59	<b>Magnitude Specifications</b> The attenuation at cutoff frequencies is fixed at 3 dB (half the passband power)
---	---	---	---

Ilustración 26. Parámetros filtro IIR, Fs 200Hz orden 4.

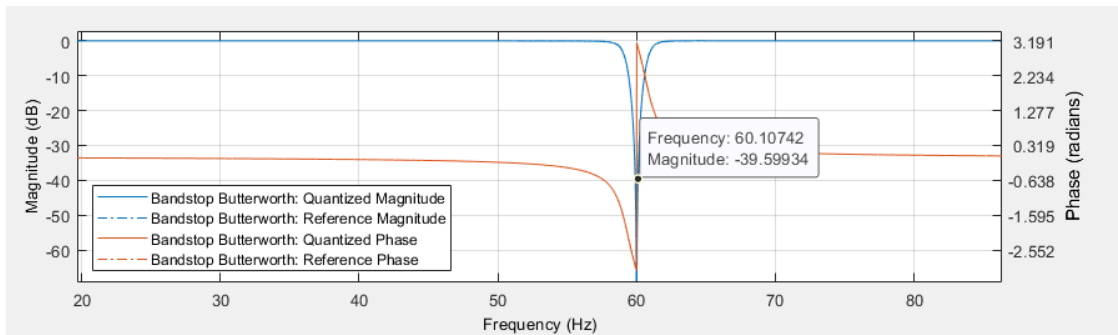


Ilustración 27. Diagrama de Bode en magnitud y fase, filtro IIR Fs 200Hz orden 4

Por medio del anterior diagrama de Bode, es posible inferir que justo en la frecuencia que se desea eliminar (60 Hz), se tiene una excelente atenuación, puesto que llega hasta los 40dB aproximadamente. El criterio empleado para la escogencia de un filtro Butterworth frente a otro, como por ejemplo el elíptico o uno de tipo Chebyshev, fue por una parte la estabilidad en la banda de paso, y por otra parte la persistencia de una ganancia de 0 en todas las frecuencias que se requiere, justo antes y después de la banda de rechazo, de manera drástica.

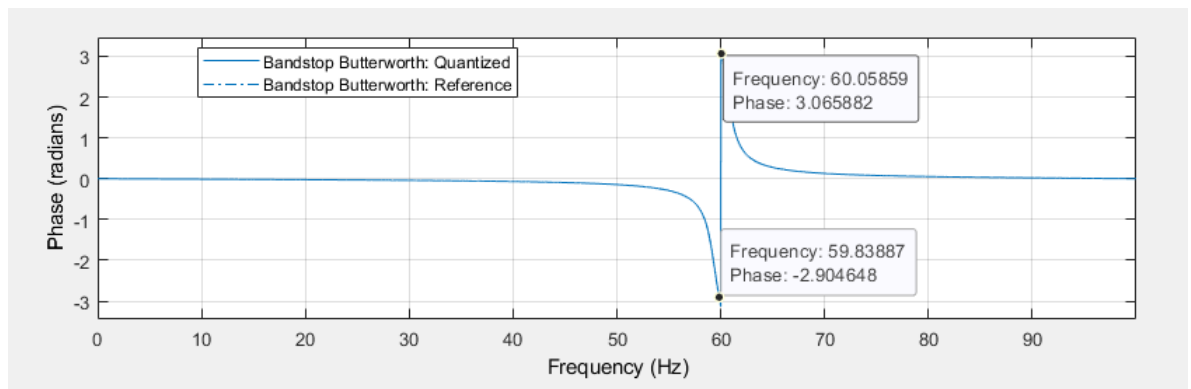


Ilustración 28. Diagrama de Bode en fase, filtro IIR Fs 200Hz orden 4

En el diagrama de fase se puede observar una constancia en cuanto a la estabilidad se refiere, en los 0 radianes hasta la frecuencia de rechazo, de 60Hz. Justo alrededor de los 50Hz inicia una caída progresiva hasta llegar a -3 radianes, para ascender exactamente en los 60Hz a los 3 radianes. Y finalmente una estabilización progresiva hasta los 0 radianes entre 60 y 70Hz.

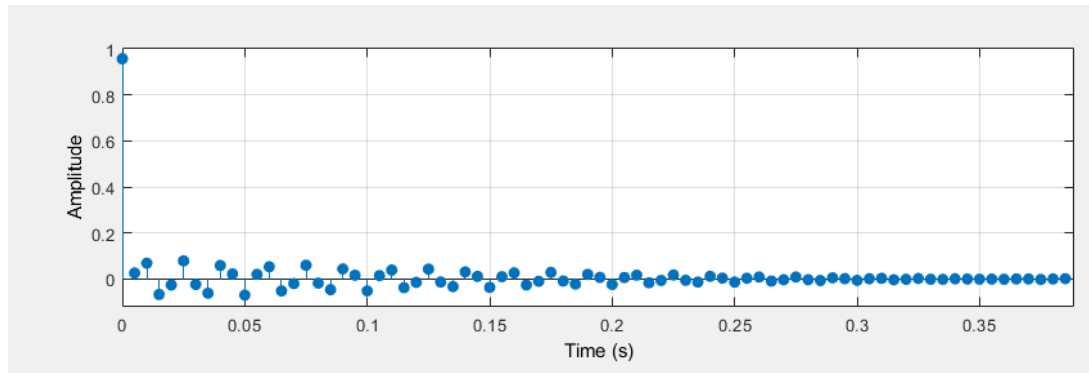


Ilustración 29. Respuesta impulso, filtro IIR Fs 200Hz orden 4.

La respuesta impulso del filtro anteriormente mostrada facilita la comprensión de algunas características correspondientes al mismo. Dado que es una respuesta infinita, no es posible realizar una correlación entre el número de muestras en la respuesta y el orden del filtro. El punto de estabilización del mismo es aparentemente cercano a los 300ms. La atenuación corresponde a un valor pequeño, como es de esperarse, esto se debe a que la amplitud cambia drásticamente de un valor cercano a 1, a una muestra que se encuentra a una amplitud alrededor de 0.01.

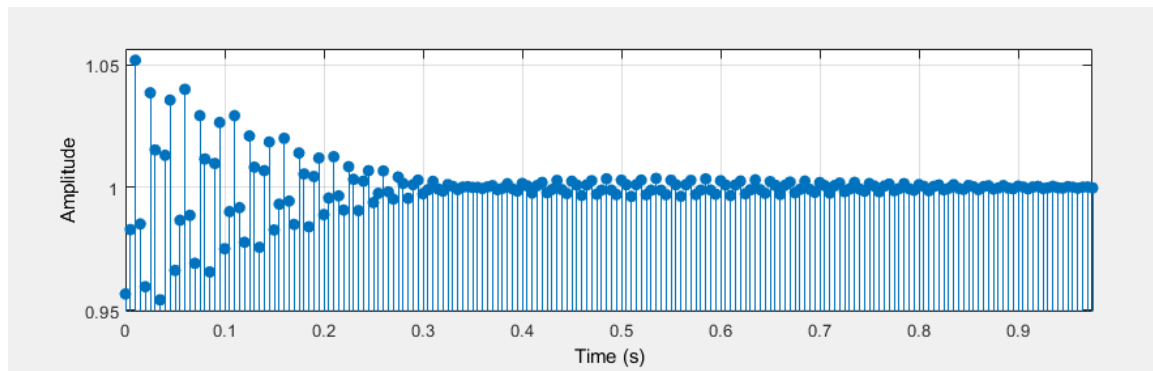


Ilustración 29. Respuesta paso, filtro IIR Fs 200Hz orden 4.

A partir de la respuesta paso es posible visualizar que la frecuencia del filtro oscila aproximadamente, entre 0.35 y 0.75 segundos. Esto puede deberse a que la construcción del filtro IIR como topología general, hace uso de realimentación, esto implica que se tengan ligeros cambios hasta la posterior estabilización en torno a la amplitud de 1.

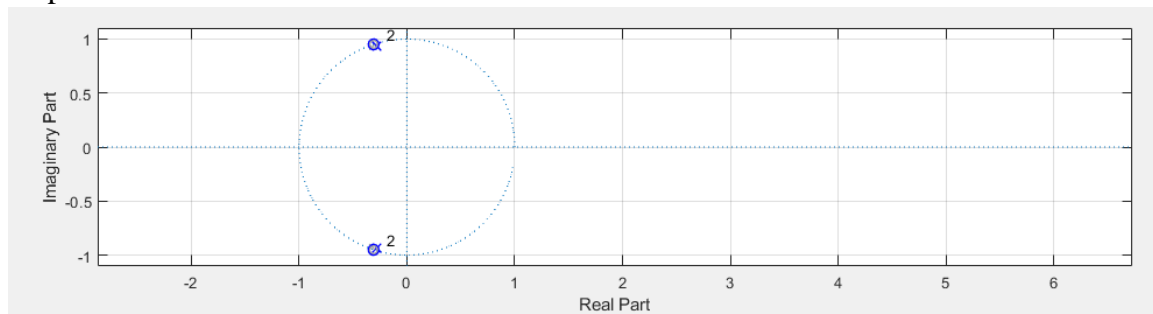


Ilustración 30. Diagrama de polos y ceros, filtro IIR Fs 200Hz orden 4.

A partir del diagrama de polos y ceros, es posible clasificar el filtro como estable, debido a que tanto las raíces del numerador como las del denominador, se agrupan en el círculo unitario.

- **Diseñe un filtro IIR paso bajos con frecuencia de corte a  $0.2F_s$  (40Hz) de orden 4:**

Para este caso se seleccionó el método de diseño Butterworth, para una frecuencia de muestreo de 200Hz, 40Hz de corte y orden 4. La prioridad en la selección del método, está condicionada nuevamente, por la estabilidad en la ganancia de la banda de paso. Adicionalmente, es estable frente a un Chebyshev 2 que tiene alto rizado posterior a la frecuencia de corte.

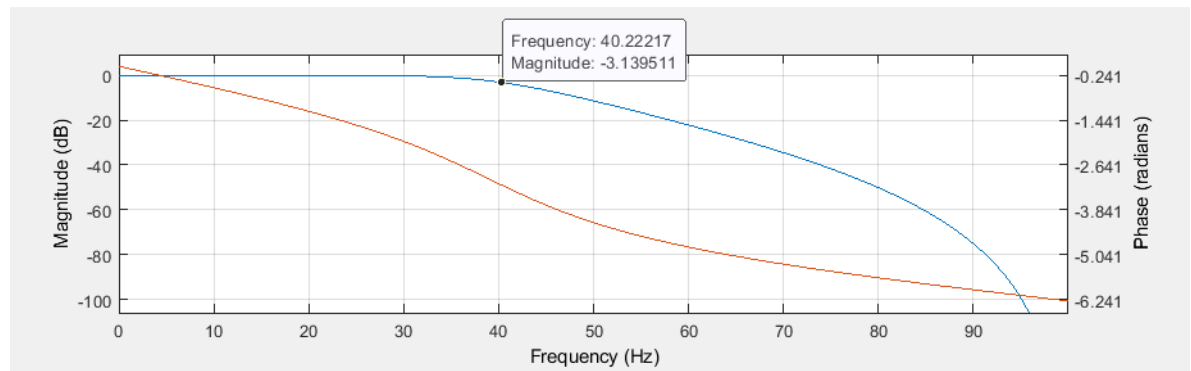


Ilustración 31. Diagrama de Bode magnitud, filtro IIR  $F_c$  40Hz orden 4.

En el diagrama de Bode para la magnitud, se visualiza una atenuación de 3dB justo en la frecuencia de corte solicitada.

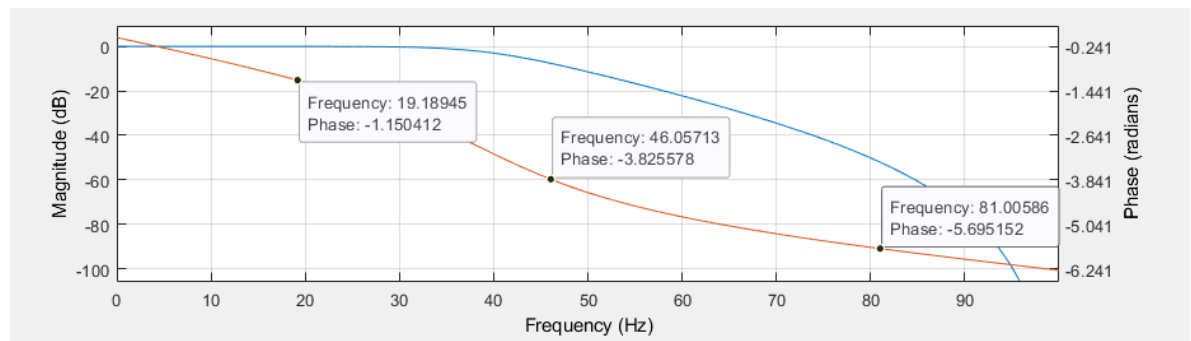


Ilustración 32. Diagrama de fase, filtro IIR  $F_c$  40Hz orden 4.

En el anterior diagrama de bode, es posible observar que la fase tiene un valor de -2.84 radianes aproximadamente, en la frecuencia de corte. Lo esperado es obtener un valor de desfase menor y sin tantas variaciones para frecuencias menores a la frecuencia de corte.

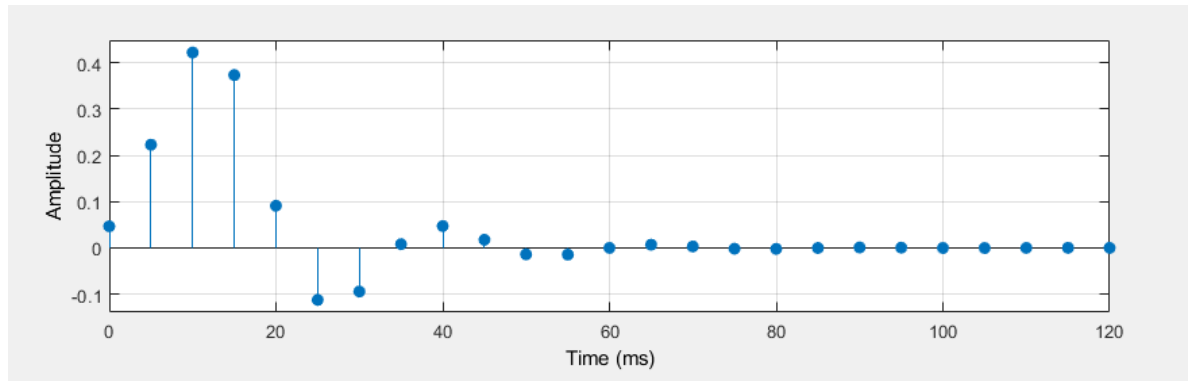


Ilustración 33. Respuesta impulso, filtro IIR Fc 40Hz orden 4.

En la anterior ilustración se puede contemplar la atenuación, que como muestra más alta, tiene a 0.42. Se determina un filtro relativamente estable con estabilización aproximada en 80ms.

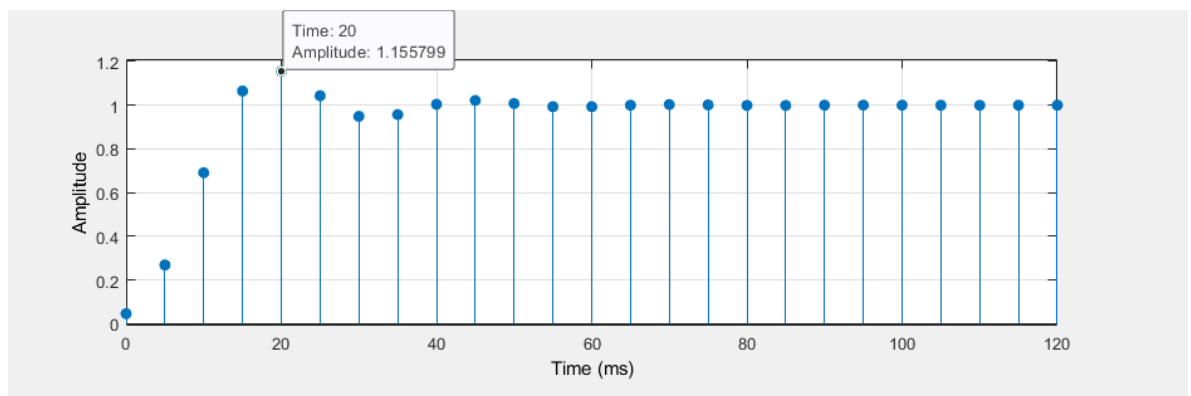


Ilustración 34. Respuesta paso, filtro IIR Fc 40Hz orden 4.

En la simulación de la respuesta paso, es observable un sobre pico del 15.58%. Adicionalmente, se visualiza una estabilización en 62ms, aproximadamente. Como ya fue mencionado anteriormente, en la construcción del filtro IIR es necesaria una función con polos, y es debido a ello que los valores de salida varían ligeramente alrededor de la referencia, hasta alcanzar la estabilización.

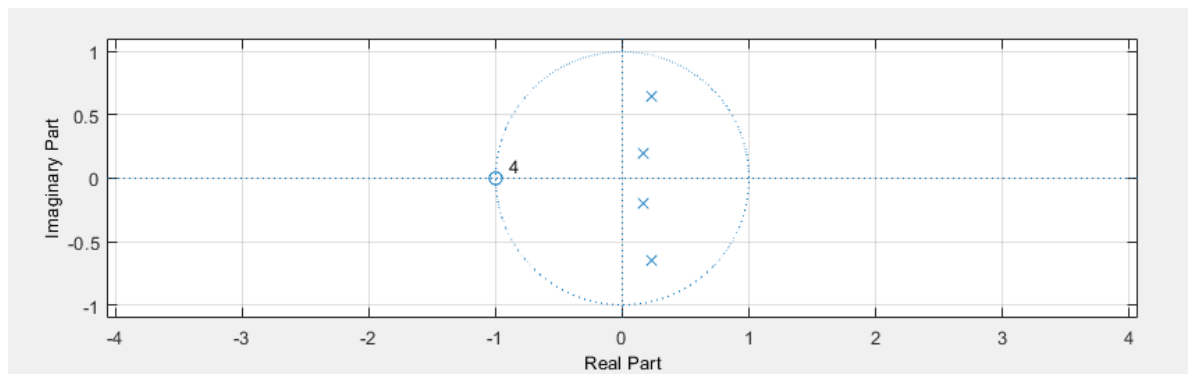


Ilustración 35. Diagrama de polos y ceros, filtro IIR Fc 40Hz orden 4.

En el diagrama de polos y ceros se observan características de lo que se conoce como un filtro estable, ya que hay 5 raíces dentro del círculo unitario; 4 polos complejos en



la parte positiva del eje real, y un cero en el punto de corte con el eje imaginario, establecido en la parte real negativa.

- **Diseñe un filtro IIR paso altos con frecuencia de paso a  $0.25F_s(40\text{Hz})$  de orden 4:**

Al igual que en el caso anterior, fue diseñado por medio del método Butterworth por su mínimo rizado y ganancia constante en la banda de paso.

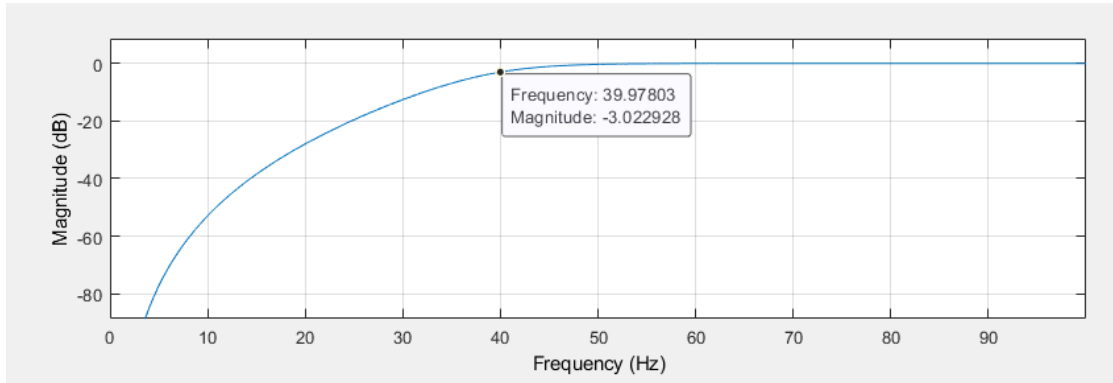


Ilustración 36. Diagrama de Bode en magnitud, filtro IIR Pasa altas  $F_c$  40Hz orden 4.

En el diagrama de bode para la magnitud se observa que en la frecuencia de paso requerida, la atenuación llega a los 3dB y el resto de la banda de paso mantiene una ganancia constante de 0dB.

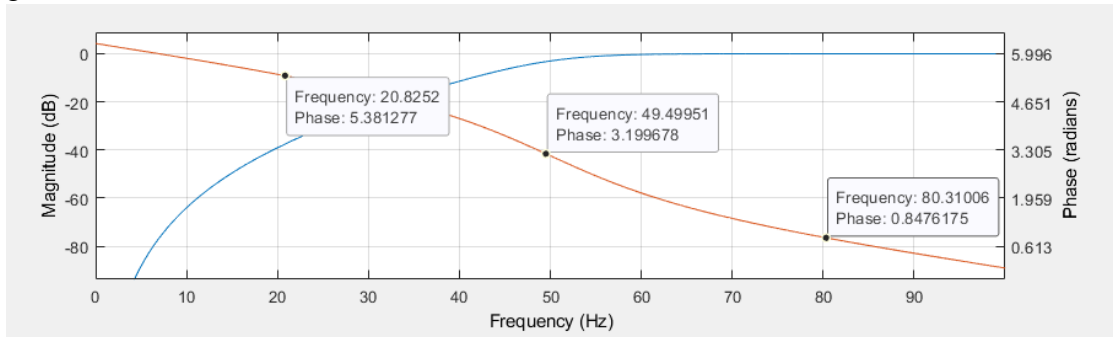


Ilustración 36.1. Diagrama de Bode en fase y magnitud, filtro IIR Pasa altas  $F_c$  40Hz orden 4.

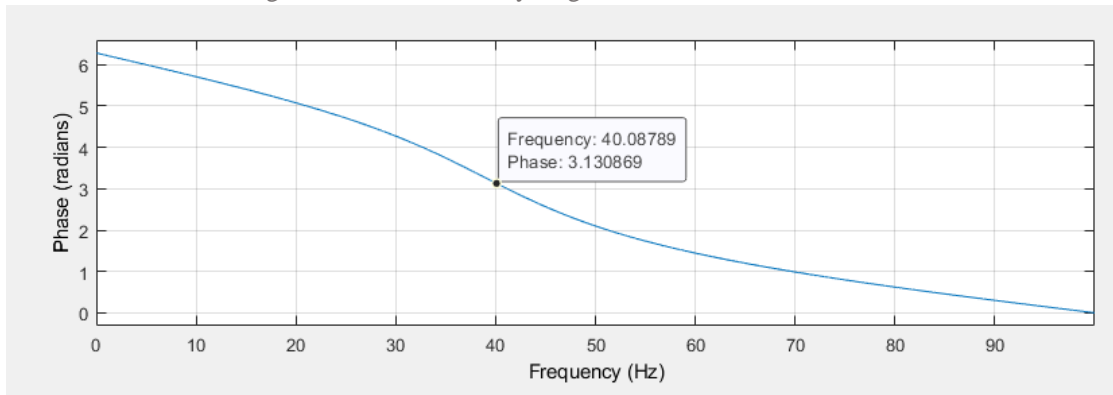


Ilustración 37. Diagrama de Bode en fase, filtro IIR Pasa altas  $F_c$  40Hz orden 4.

En la anterior ilustración se puede observar la fase tiene un valor de 3.13 radianes en la frecuencia de paso y que conforme avanza en el dominio de la frecuencia sigue

disminuyendo. Lo esperado es un desfase se mantenga lineal en las frecuencias altas correspondientes a la región de paso.

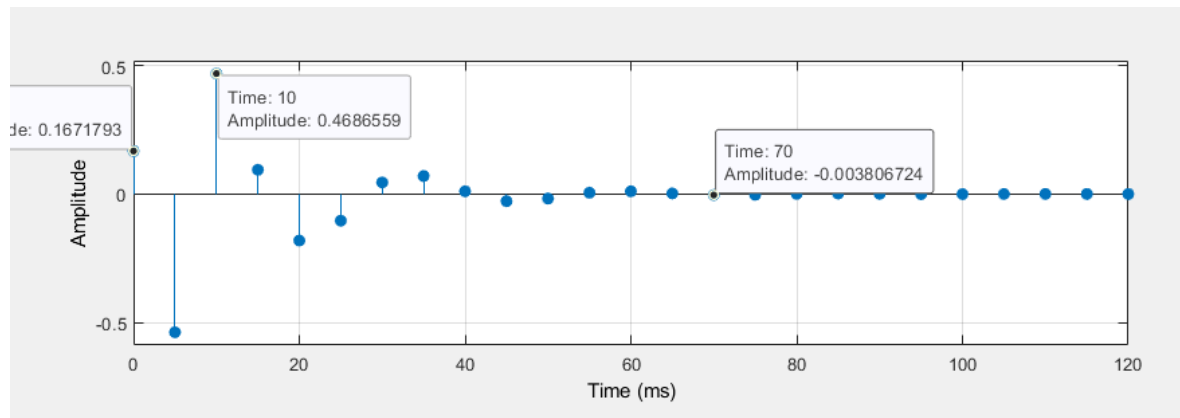


Ilustración 38. Respuesta a una entrada impulso del filtro pasa altos IIR.

La atenuación es considerable ya que la amplitud de la salida toma como valor más alto 0.46 a los 10 ms lo que equivale a un 46.86% de atenuación. En los otros tiempos la amplitud se ve reducida a valores cercanos al 0. Adicionalmente es posible ver que el filtro es estable alrededor de 70 ms donde deja de oscilar en torno al eje de referencia. Un comportamiento habitual en filtros digitales de este tipo.

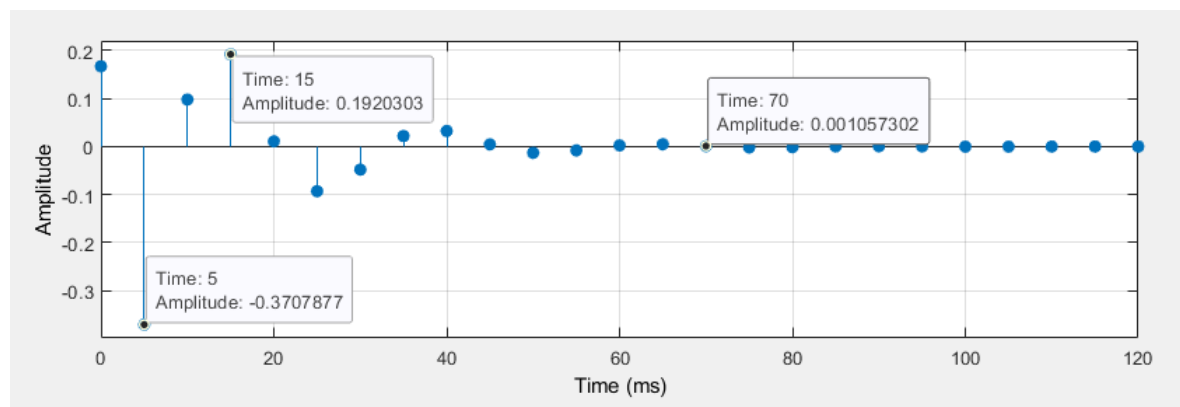


Ilustración 39. Respuesta paso del filtro pasa altos IIR.

aLa atenuación a la salida del filtro es del 80.8% dado que la amplitud más alta en la respuesta paso es de 0.19203. Como fue visto en la ilustración correspondiente a la respuesta impulso del filtro, la estabilización se da en la muestra de los 70 ms.

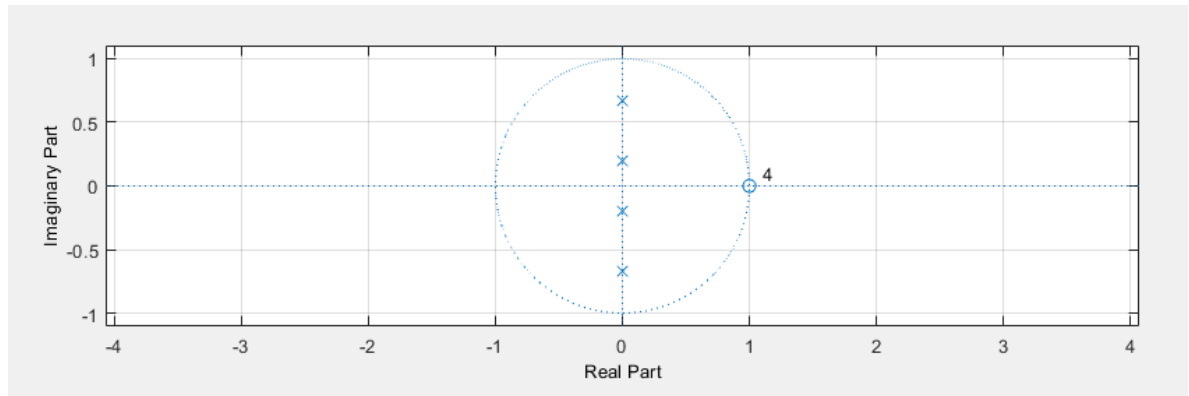


Ilustración 40. Respuesta paso del filtro pasa altos IIR.

En contraste con el diagrama de polos y ceros del filtro anterior, la disposición es bastante similar, dado que la construcción es prácticamente la misma. Teniendo como punto diferenciador la orientación del polo, que se refleja en la parte real positiva del círculo unitario, así como los ceros, que se acercan más al eje de la componente imaginaria. Este comportamiento se debe a una disposición semejante de este último filtro, para una atenuación de bajas frecuencias.

### III. Diagramas de flujo de los códigos a implementar

- **Implementación de los filtros FIR:**

Es bien sabido que los filtros FIR pueden ser interpretados como una secuencia de salida que corresponde a la convolución de la respuesta impulso con la entrada del sistema:

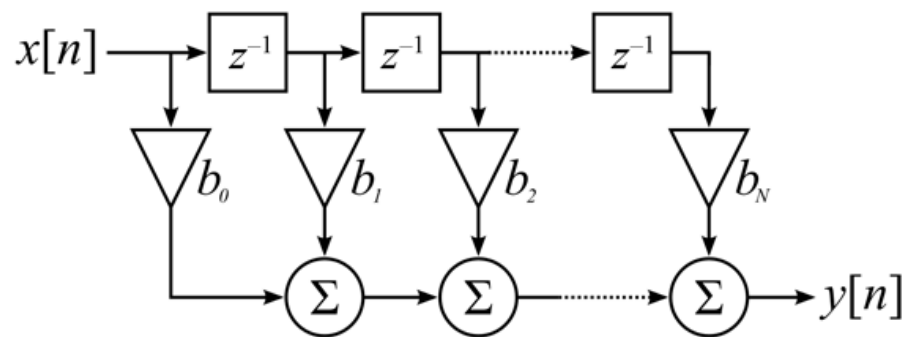


Ilustración 41. Diagrama ecuación de diferencias, filtros FIR.

Durante la realización del filtro real en un dispositivo electrónico, como un microcontrolador, se obtiene un algoritmo que hace uso de un índice que recorre los coeficientes desde el primero hasta el del medio. Mientras que hay otro que realiza el mismo proceso, pero del último al coeficiente de la mitad. Posteriormente, estos son sumados y multiplicados entre sí junto con la realimentación. A partir de ello se obtiene una disyuntiva, en la que es seleccionada una de las dos alternativas siguientes:

$$y[k] = \sum_{k=0}^{(N-1)/2} b[k] \cdot x[P - k] \text{ Si } N \text{ par}$$

$$y[k] = \sum_{j=0}^{(N-1)/2} \sum_{k=(N-1)}^{(N-1)/2} (b[j] + b[k]) \cdot x[P - k] + b\left[\frac{(N-1)}{2} + 1\right] \text{ Si } N \text{ impar}$$

Con base en ello, se obtiene el siguiente diagrama de flujo:

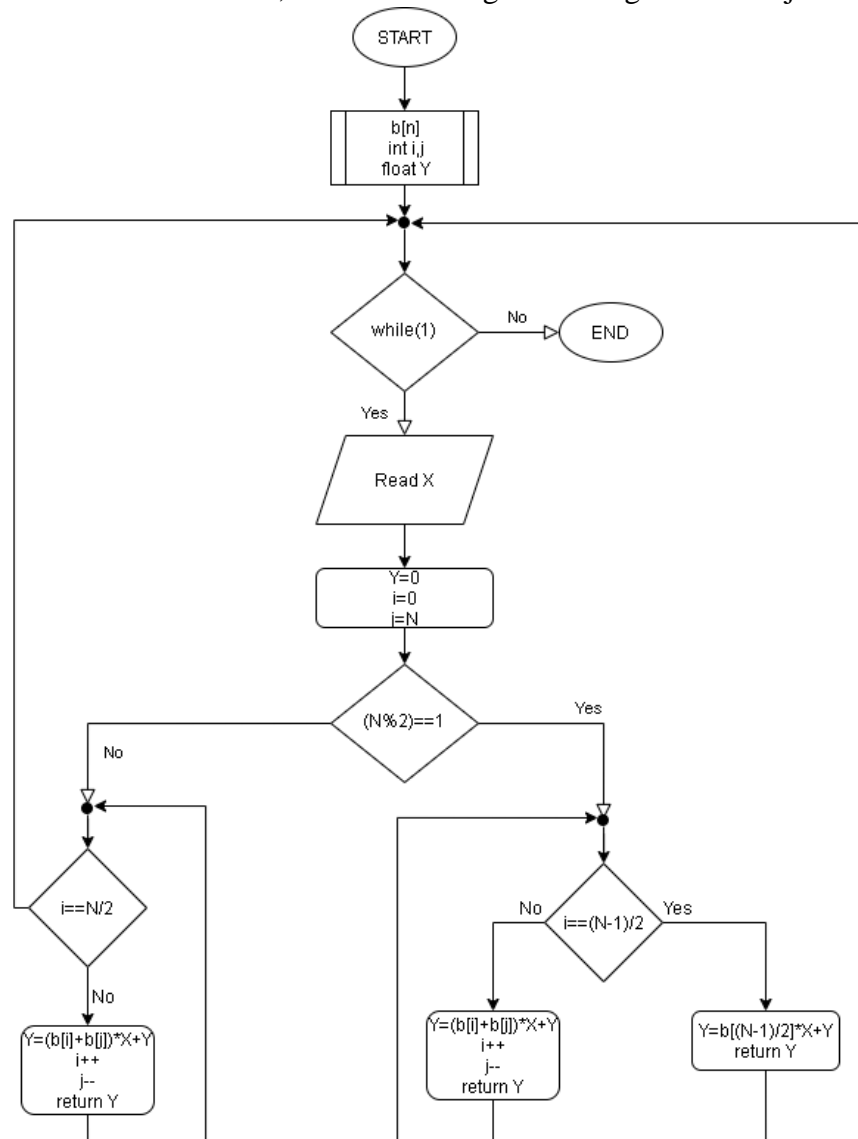


Ilustración 42. Diagrama de flujo, filtros FIR.

- **Implementación de los filtros IIR:**

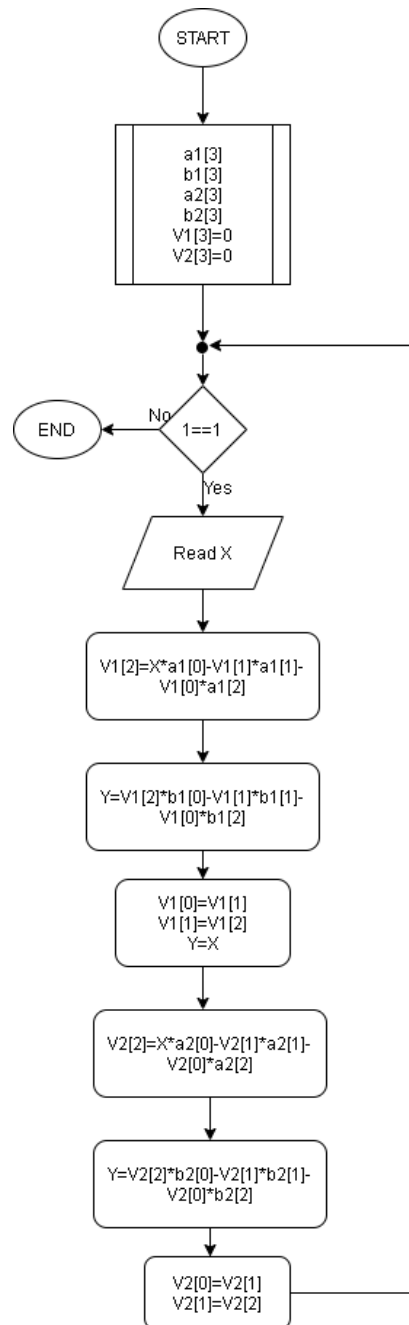


Ilustración 43. Diagrama de flujo, filtros IIR.

#### IV. Protocolo de pruebas

A continuación, será descrito el procedimiento, mediante el cual fueron tanto verificados como implementados todos y cada uno de los filtros digitales en un microcontrolador, para la obtención de las pruebas de escritorio requeridas. Más exactamente en el ATmega328p a manera de experimentación.

Inicialmente, para la utilización de las señales generadoras, fue necesario establecer fuentes sinusoidales de distinta frecuencia a partir de Matlab. Cabe resaltar que en las fuentes de 10Hz, 25Hz Y 35Hz se empleó una frecuencia de muestreo de 140Hz (igual a la del filtro FIR). Ello, mediante el código descrito a continuación:

```

1  %SENO 35Hz
2  %Generacion de un seno discreto
3  A=2000; %Amplitud del seno
4  off =4095; %Offset simulado para el ADC de 12bits
5  f=35; %frecuencia del seno (Hz)
6  fs=140; %Frecuencia de muestreo (Hz)
7  Ts=1/fs;
8  n=0:(fs/f-1); %Numero de muestras
9  x=A*sin(2*pi*f*n*Ts)+off; %funcion seno
10 plot(x)
11 xf=floor(x); %redondeo de las muestras

```

Ilustración 44. Código generador de fuente de 35Hz en Matlab

En la variable de offset se buscó emular el valor de los 12 bits de ADC del microcontrolador que se empleará en la práctica. Y la amplitud del seno generado corresponde a facilitar la visualización del proceso de filtrado. En la variable xf se guarda un vector fila en el que se guardan cada una de las muestras digitalizadas, correspondientes a la fuente de seno requerida. Dicho vector debe ser importado a el programa en que será realizada la prueba de escritorio de la siguiente manera:

```

3  /* Inicio de variables para emular un onda seno */
4  int m = 0; /* Número muestras */
5  int n = 0; /* Número de la muestra (actual) */
6  int entrada_generador=0;
7
8
9  /*-----Senos para filtros FIR -----*/
10 int sine_FIR_100Hz[]={
11     4095, 6095, 4095, 2095};
12 /*-----*/
13
14 int sine_FIR_10Hz[]={
15     511,628,701,701,628,511,393,320,320,393
16 }; // FIR: frecuencia de 10 Hz
17 /*-----*/
18
19 int sine_FIR_25Hz[]={
20     511, 711, 511, 311
21 }; // FIR: frecuencia de 25 Hz
22

```

Ilustración 45. Muestras para las fuentes senoidales de entrada del filtro FIR

Este procedimiento fue realizado de igual manera para las fuentes de los filtros IIR de 1Hz, 10Hz y 25Hz.

Como segunda medida fue necesario realizar la generación de las fuentes de tipo impulso y de tipo paso, para verificar la salida de los coeficientes de los filtros. Para

esto, fue necesario inicializar un contador de 8 bits y mantener la entrada en un valor dependiendo del condicional.

```

case PASO: //caso para la entrada paso
if(cont>20){
    cont = 0;
    if(walk){
        walk = 0;
    } else {
        walk = 256;
    }
}
cont++;
break;

```

Ilustración . Código fuente entrada paso

```

case IMPULSO: //caso para el impulso
if(cont>20){
    cont = 0;
    walk = 256;
} else {
    walk = 0;
}
cont++;
break;

```

Ilustración 46. Código fuente entrada impulso

A continuación fue necesario incluir cada uno de los coeficientes generados con la herramienta *filterDesigner* dentro de las declaraciones explícitas de los filtros:

```

47 /*ORDEN: 7*/
48 /*
49 const int BL = 8;
50 const int B[8] = {
51     1, 11, 41, 75, 75, 41, 11, 1
52 };
53 */
54 /*-----*/
55
56 /*ORDEN : 11*/
57 /*
58 const int BL = 12;
59 const int B[12] = {
60     0, 1, 5, 19, 42, 63, 63, 42, 19, 5, 1, 0
61 };
62 */
63 /*-----*/
64 /*ORDEN: 17*/
65
66 const int BL = 18;
67 const int B[18] = {
68     0, 0, 1, 1, -3, -11, 0, 46, 94, 94, 46, 0,
69     -11, -3, 1, 1, 0, 0
70 };
71

```

Ilustración 47. Ejemplo coeficientes generados en Matlab

- Resultados obtenidos a partir de la prueba de escritorio para todos y cada uno de los filtros FIR, con los tres tipos de fuente presentados anteriormente:

*a. Filtro Paso-bajo a 14Hz de orden 7:*

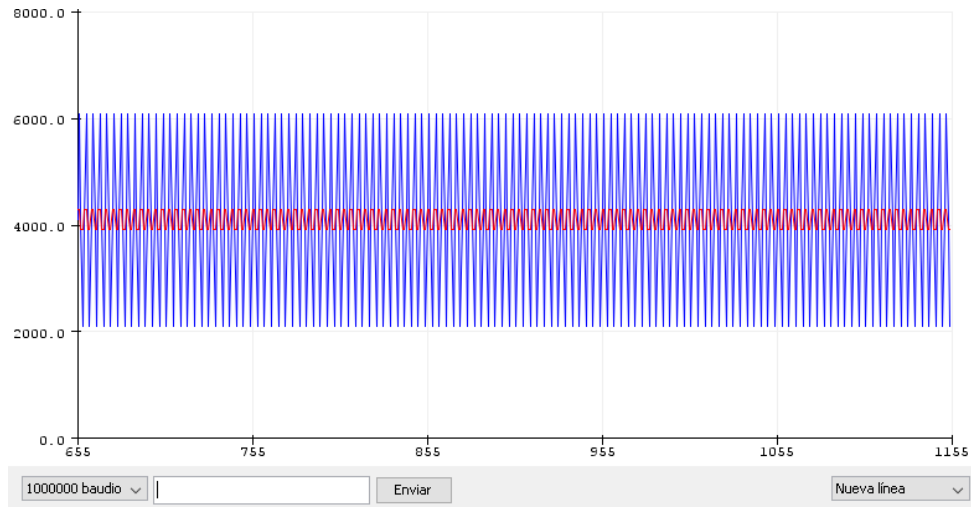


Ilustración 48. Atenuación de una entrada seno de amplitud 2000, frecuencia 35Hz y offset de 12 bits. Filtro FIR, Orden 7.

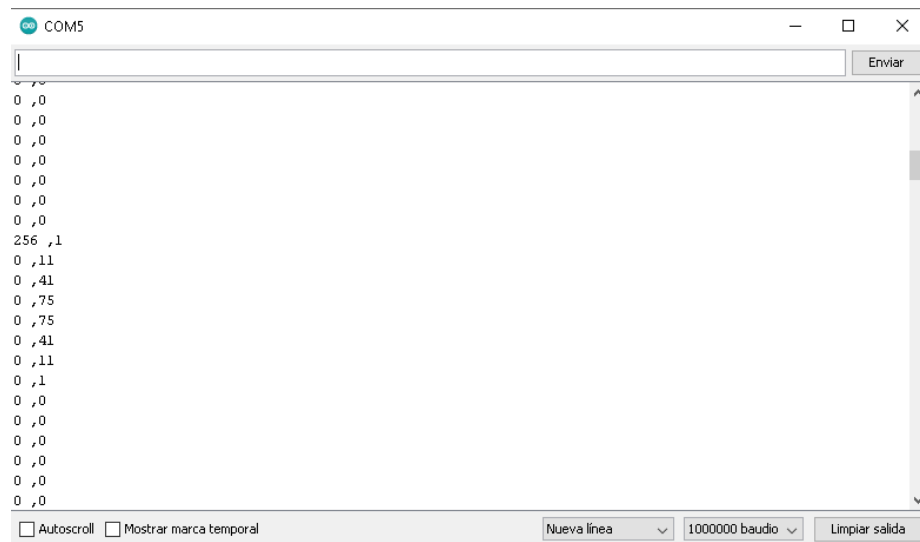


Ilustración 49. Coeficientes. Filtro FIR, Orden 7.



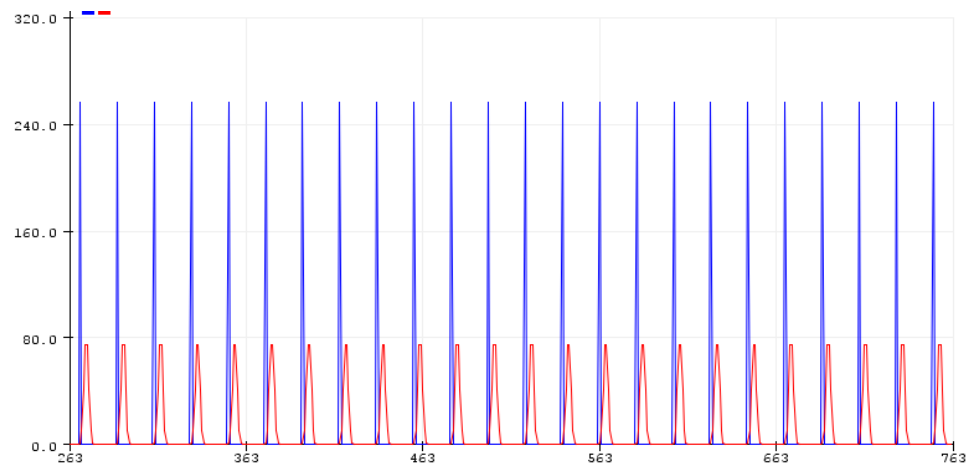


Ilustración 50. Respuesta impulso en tiempo. Filtro FIR, Orden 7.

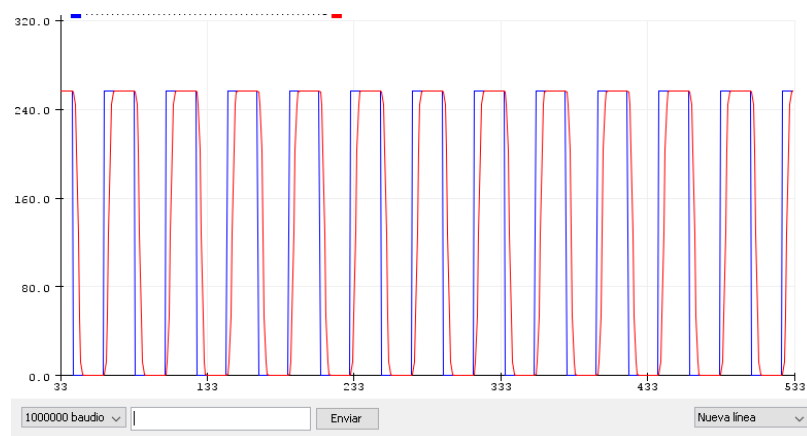


Ilustración 51. Respuesta paso en tiempo. Filtro FIR, Orden 7.

*b. Filtro Paso-bajo a 14Hz de orden 11:*

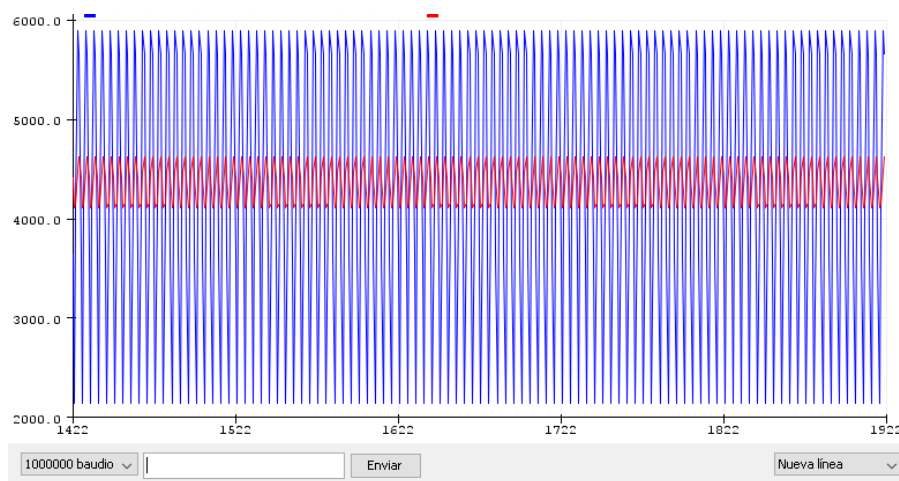


Ilustración 52. Atenuación de una entrada seno de amplitud 2000, frecuencia 25Hz y offset de 12 bits. Filtro FIR, Orden 11.

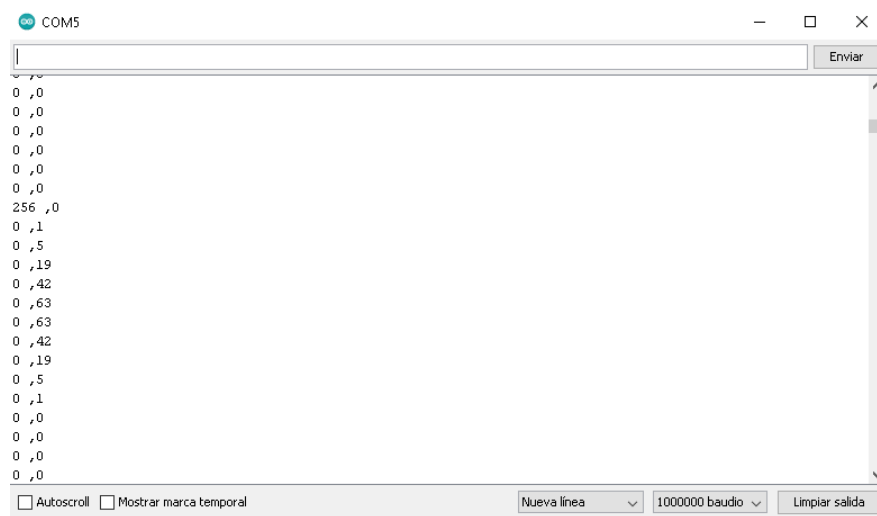


Ilustración 53. Coeficientes. Filtro FIR, Orden 11.

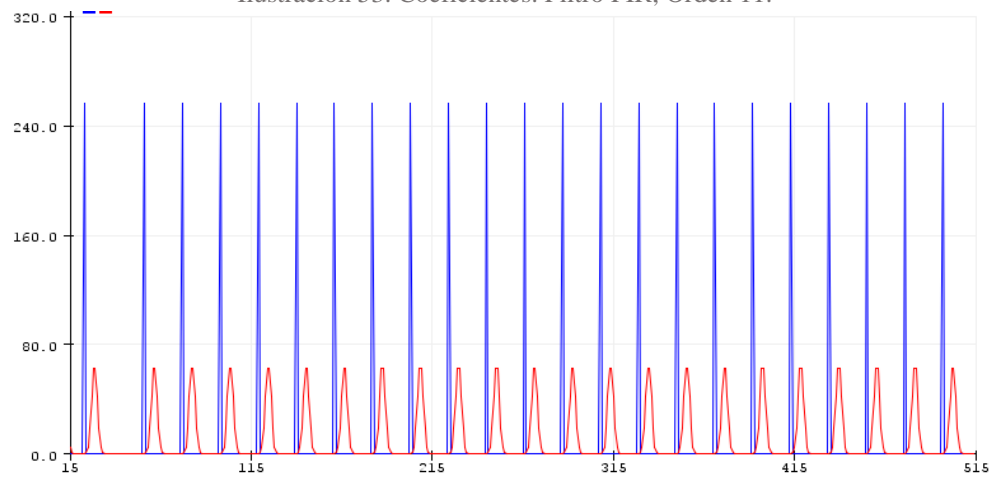


Ilustración 54. Respuesta impulso en tiempo. Filtro FIR, Orden 11.

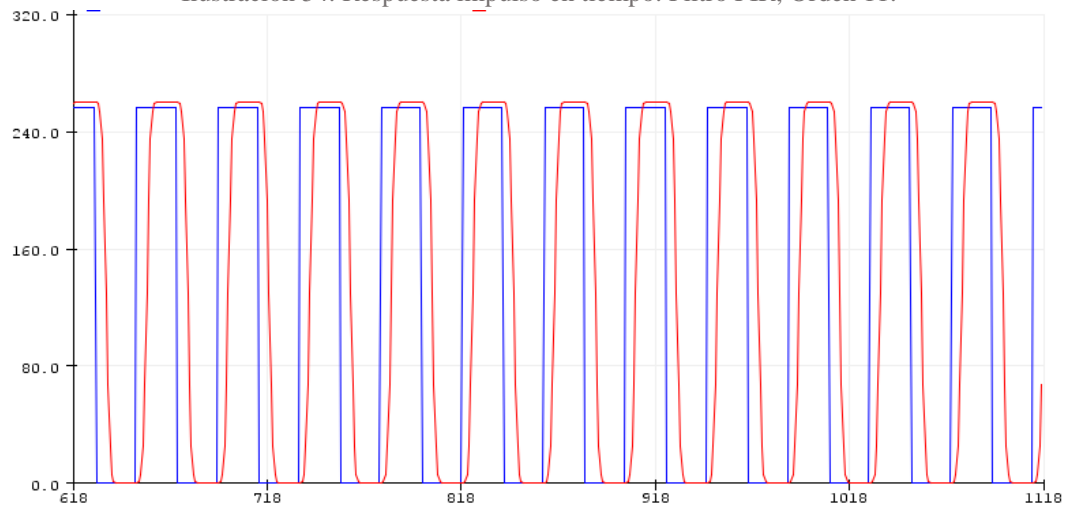


Ilustración 55. Respuesta paso en tiempo. Filtro FIR, Orden 11.

c. Filtro Paso-bajo a 28Hz de orden 17:

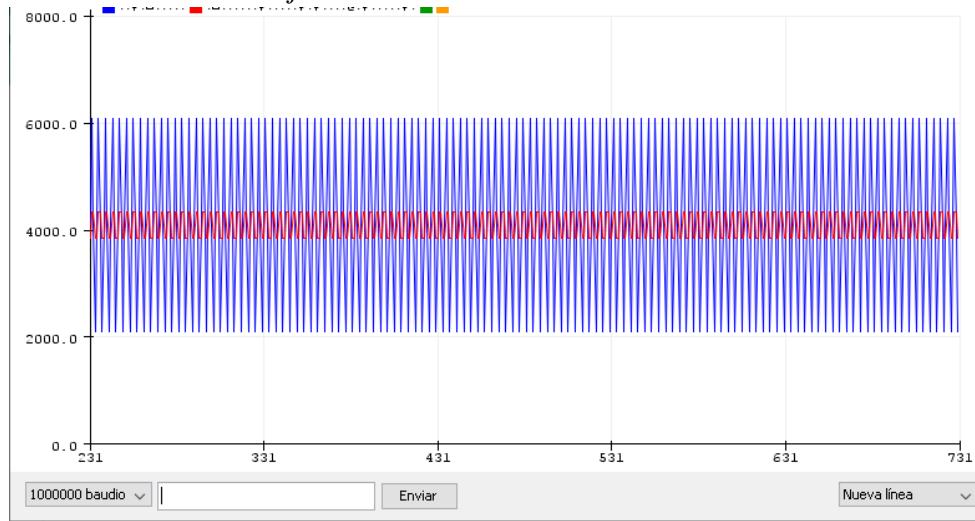


Ilustración 56. Atenuación de una entrada seno de amplitud 2000, frecuencia 35Hz y offset de 12 bits. Filtro FIR, Orden 17.

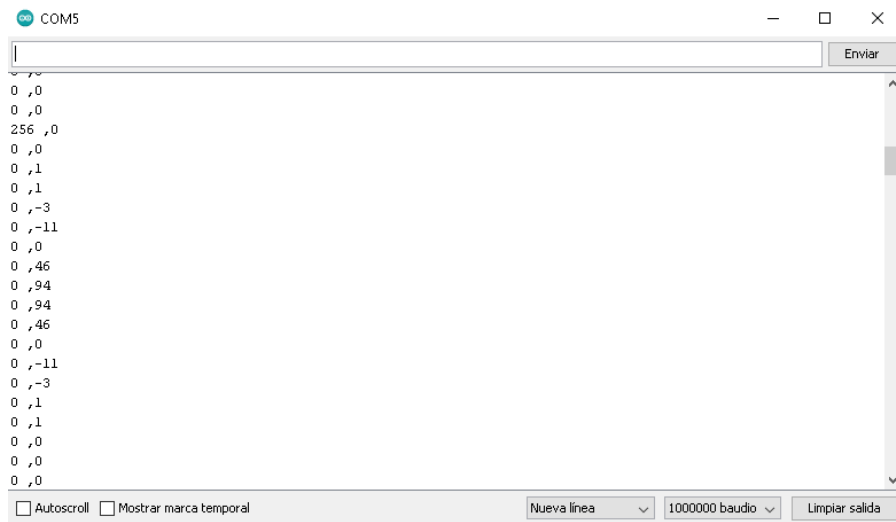


Ilustración 57. Coeficientes. Filtro FIR, Orden 17.

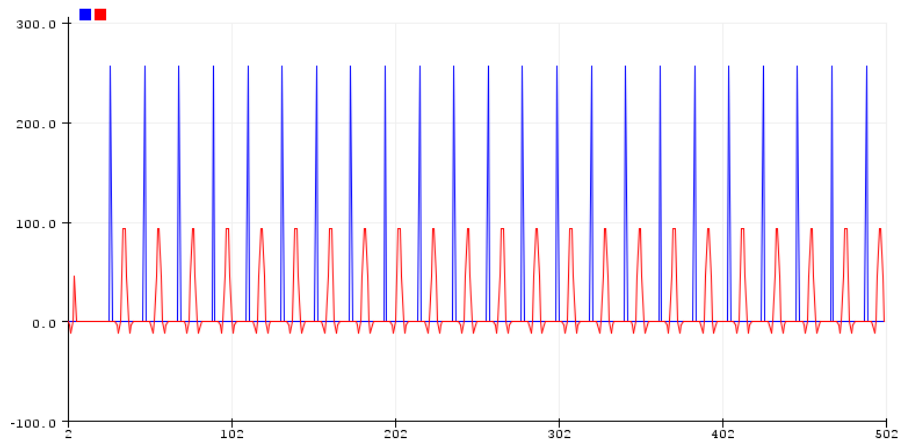


Ilustración 58. Respuesta impulso en tiempo. Filtro FIR, Orden 17.

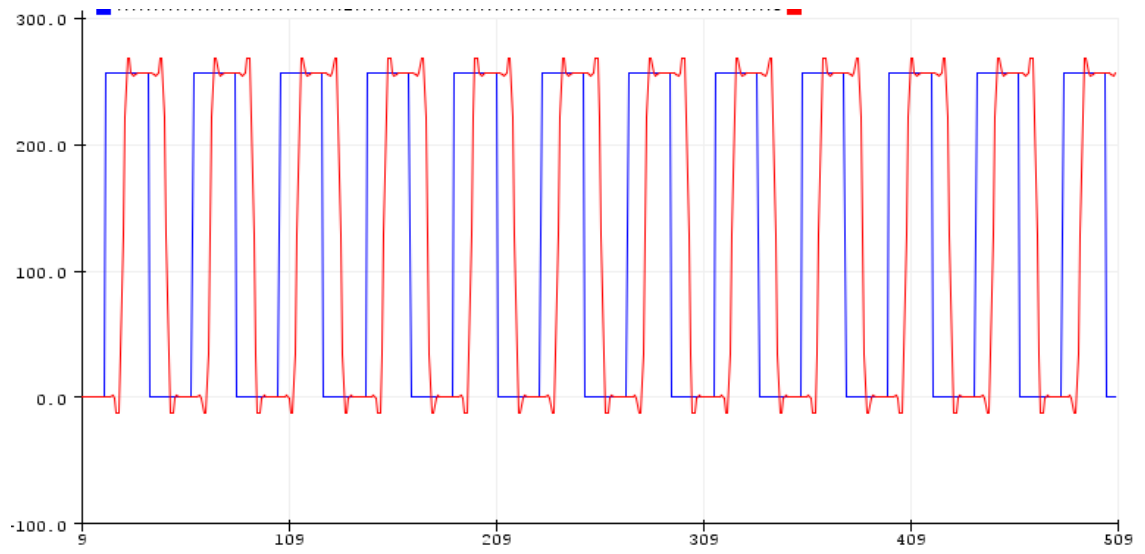


Ilustración 59. Respuesta paso en tiempo. Filtro FIR, Orden 17.

*d. Filtro Paso-bajo a 35Hz de orden 30:*

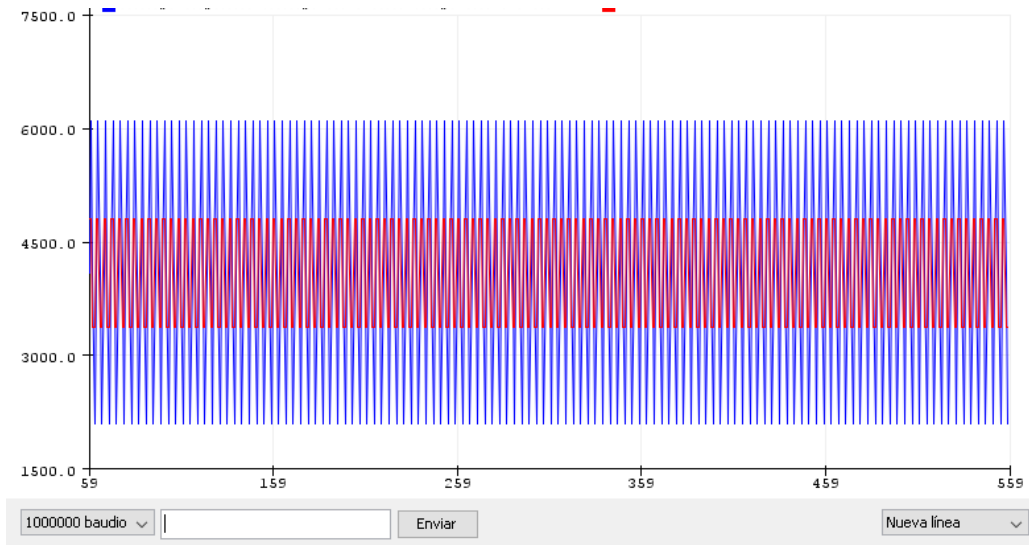
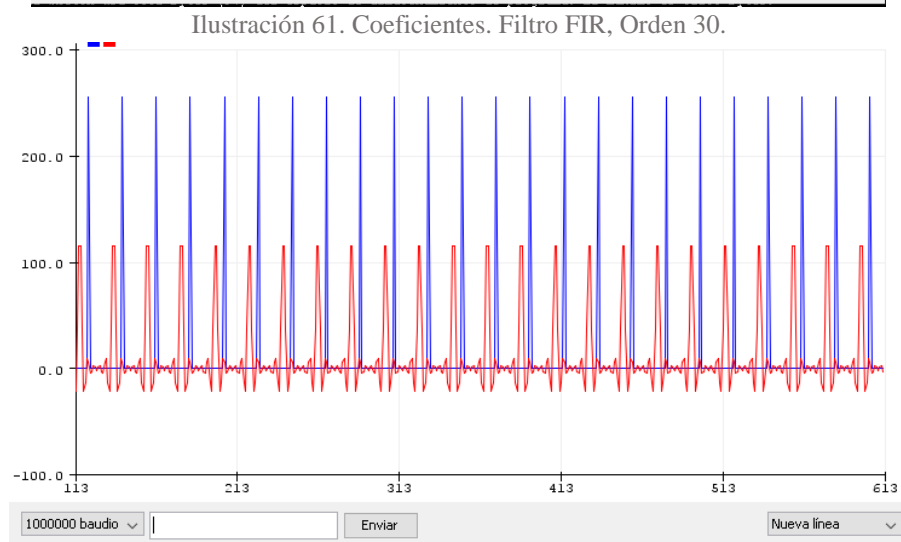
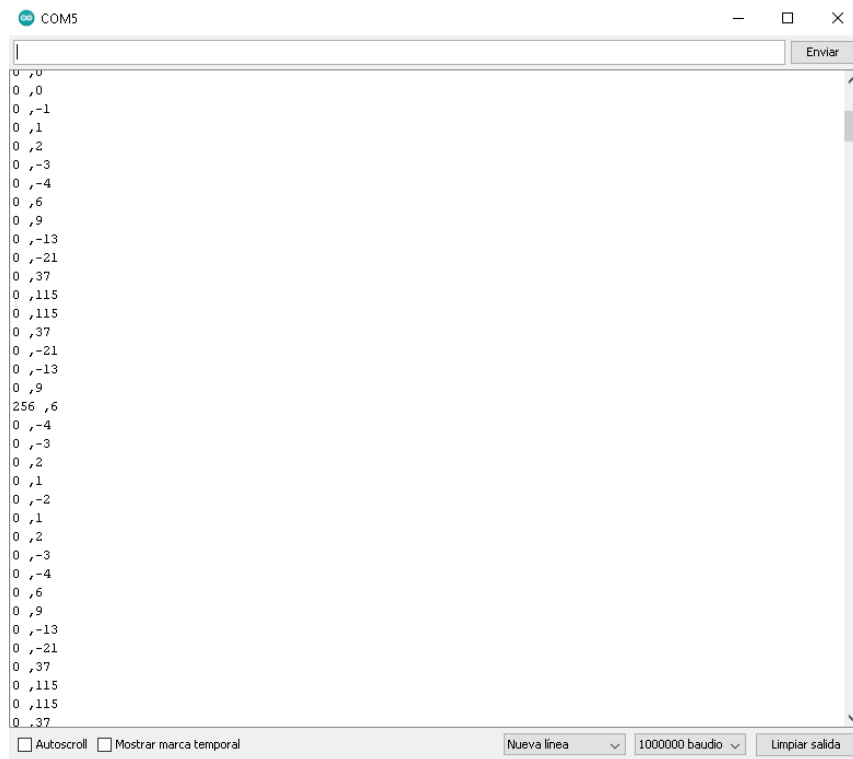


Ilustración 60. Atenuación de una entrada seno de amplitud 2000, frecuencia 35Hz y offset de 12 bits. Filtro FIR, Orden 30.



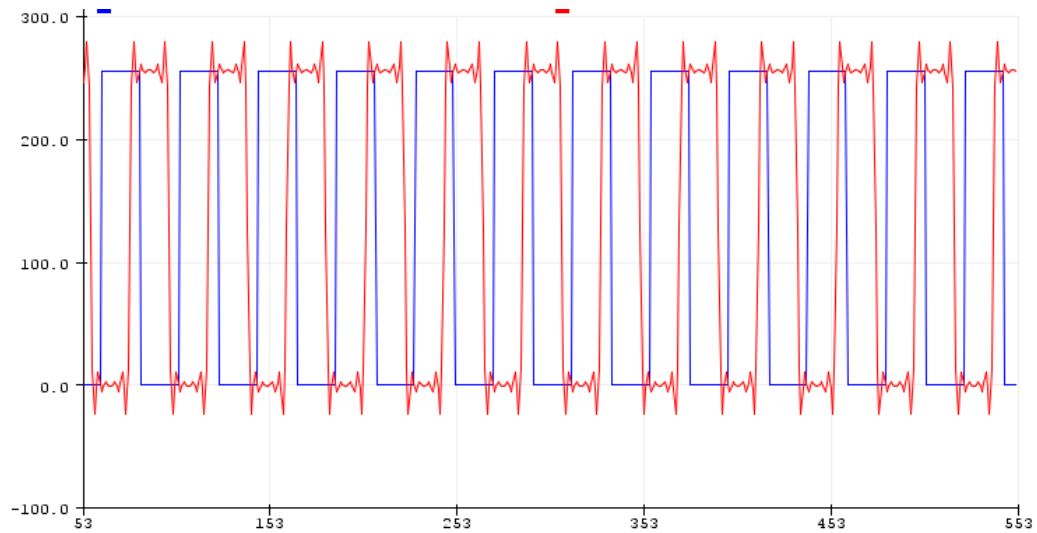


Ilustración 63. Respuesta paso en tiempo. Filtro FIR, Orden 30.

Finalmente, parámetros de análisis como el tiempo de procesamiento del filtro, la comprobación de la frecuencia de muestreo y el filtrado, serán verificados por medio de observación de los diagramas de bode **reales** realizada en Matlab, luego de que los datos seriales sean exportados a .CSV e importados a manera de matrices en el programa ya mencionado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Jolyon De Freitas, Digital Filter Design Solutions , Artech, 2005.
- Forester W. Isen, DSP for MATLAB™ and LabVIEW™ III: Digital Filter Design , Morgan & Claypool, 2009.
- Francisco Carlos Calderon, 1 abr. 2020 “Filtros Digitales, FIR, cuantización de coeficientes en Matlab” <https://www.youtube.com/watch?v=gP6aisdeyIQ>