

Procesado de Señal:  
PRÁCTICA 5

# Diseño de filtros FIR

Ángel Fernández Arroyo

Rafael Martín San Martín

Angel.Fernandez17@alu.uclm.es

Rafael.Martin3@alu.uclm.es



# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Cálculo de los coeficientes del filtro FIR usando la técnica de enventanado</b>	<b>3</b>
2.1. ¿Qué ventana es la más apropiada para utilizar en el diseño del filtro FIR?	3
2.2. Genera un código en MATLAB que calcule los coeficientes del filtro FIR	3
2.2.1. Implementación código de Matlab	3
2.2.2. Respuesta en frecuencia obtenida	4
<b>3. Cálculo de los coeficientes del filtro FIR por aproximación óptima</b>	<b>5</b>
3.1. Diseñar un filtro FIR por aproximación óptima mediante FilterDesigner	5
<b>4. Experimentación con el DSC</b>	<b>6</b>
4.1. Genera en Simulink una señal que tenga el contenido armónico.	7
4.2. Filtra la señal con los filtros calculados anteriormente.	7
4.3. ¿Cuál de los filtros diseñados utilizarías?	9
4.4. Se añaden a la señal de entrada diferentes componentes armónicas.	9
4.4.1. ¿Qué resultados has obtenido?	10
4.4.2. ¿Concuerdan con lo esperado?	10
4.4.3. ¿Por qué sucede esto?	10
4.5. Filtro tipo Butterworth de sexto orden.	11
4.5.1. ¿Qué resultados has obtenido?	13
4.5.2. ¿Concuerdan con lo esperado?	13

## Índice de figuras

1. Respuesta en frecuencia (Kaiser) - escala semilogarítmica.	4
2. Respuesta en frecuencia (Kaiser) - escala lineal.	5
3. Respuesta en frecuencia (Aproximación óptima) - escala semilogarítmica.	6
4. Respuesta en frecuencia (Aproximación óptima) - escala lineal.	6
5. Diseño Simulink	7
6. Señal con armónicos (azul) y señal fundamental (naranja).	7
7. Diseño Simulink	8
8. Respuesta del filtro Kaiser comparada con la señal fundamental.	8
9. Respuesta del filtro óptimo comparada con la señal fundamental.	9
10. Diseño Simulink	10
11. Respuesta del filtro óptimo comparada con la señal fundamental.	10
12. Diseño Simulink	11
13. Respuesta del filtro óptimo comparada con la señal fundamental.	12
14. Respuesta en frecuencia (Butterworth).	12

## 1. Introducción

El propósito de esta práctica es aprender a programar un algoritmo que calcule la transformada discreta de Fourier (DFT, Discrete Fourier Transform). Para ello, generaremos una señal que contenga varias componentes armónicas y examinaremos el espectro de frecuencias obtenido. La práctica se divide en dos partes: la programación de la transformada de Fourier mediante un script de MATLAB y la experimentación con el DSC TMS320F28335 de Texas Instruments.

## 2. Cálculo de los coeficientes del filtro FIR usando la técnica de enventanado

Para realizar esta práctica, vamos a utilizar como base una señal cuyo contenido armónico es el recogido en la Tabla 1. La señal de interés para nuestra aplicación corresponde a la componente armónica de 50 Hz, por lo que se desea utilizar un filtro FIR para atenuar las componentes armónicas de mayor frecuencia. Los parámetros de diseño del filtro se recogen en la Tabla 2.

Frecuencia (armónico)	Amplitud
50 Hz ( $h = 1$ )	1
150 Hz ( $h = 3$ )	0,5
250 Hz ( $h = 5$ )	0,3
350 Hz ( $h = 7$ )	0,25

Tabla 1: Señal.

Parámetro	Valor
$f_p$ (Hz)	75
$f_s$ (Hz)	125
$f_{muestreo}$ (KHz)	1
$\delta_p$	0,01
$\delta_s$	0,001

Tabla 2: Parámetros de diseño del filtro.

### 2.1. ¿Qué ventana es la más apropiada para utilizar en el diseño del filtro FIR?

Se usa la técnica de enventando de Blackman porque la atenuación de la banda de rechazo debe ser de al menos 60 dB, obteniendo un orden de 110, y un retardo de la mitad del orden.

### 2.2. Genera un código en MATLAB que calcule los coeficientes del filtro FIR

#### 2.2.1. Implementación código de Matlab

A continuación se adjunta el código para el cálculo de los coeficientes del filtro FIR:

```
1 N = 110; % Orden del filtro
2 Fs = 1000; % Frecuencia de muestreo
3
4 f_c = 100; w_c = f_c/Fs*(2*pi); % Frecuencia de corte
5
6 delta_p = 0.01;
7 delta_s = 0.001;
8
```

```

9  n = 0:N;
10 n_alpha=-N/2:N/2;
11
12 h_d = w_c./pi* sinc(n_alpha*w_c/pi);
13 w_n = my_blackman(N);
14 h = h_d.*w_n;

```

### 2.2.2. Respuesta en frecuencia obtenida

En la Figura 1 se adjunta la respuesta en frecuencia del filtro diseñado por la técnica de enventanado de Blackman. Se puede comprobar que la atenuación a 50 Hz es despreciable y, además, la fase es lineal. A una frecuencia de 75 Hz, la atenuación de la señal es de 0.0018 dB, en cambio, a 125 Hz es de 73.51 dB. Ambos valores cumplen con las especificaciones requeridas.

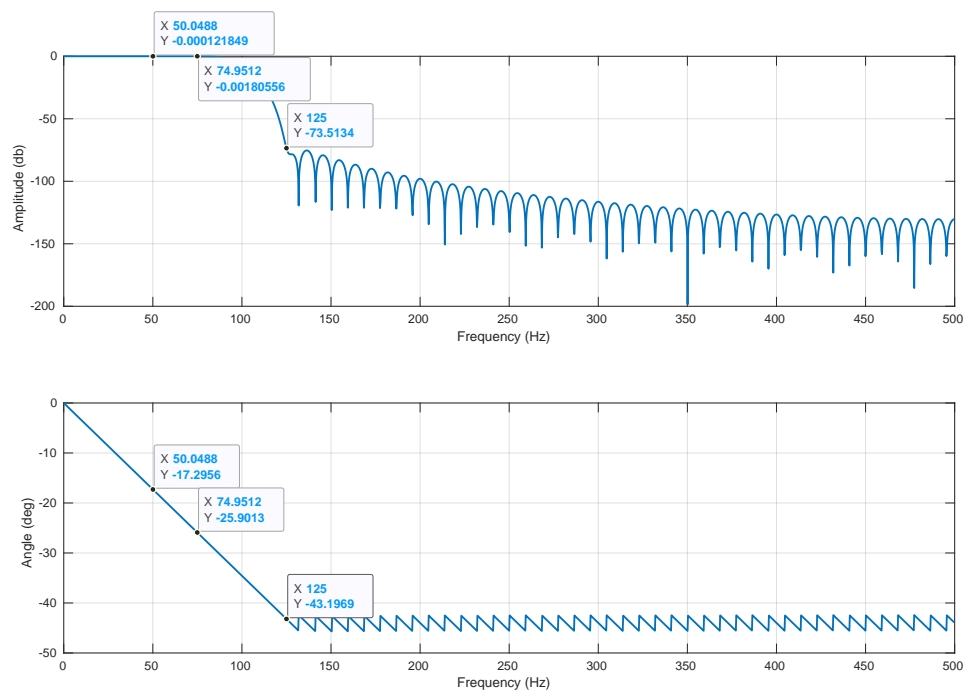


Figura 1: Respuesta en frecuencia (Kaiser) - escala semilogarítmica.

Gracias a la fase lineal el retardo de grupo es constante, ya que permite que la señal de salida del filtro siga siendo coherente con la señal de entrada. Esto es especialmente importante en aplicaciones en las que se necesita que la señal de salida del filtro siga siendo sincronizada con la señal de entrada, como en la eliminación de eco en sistemas de comunicación de voz. Además, el retardo de grupo constante también puede ser importante en aplicaciones en las que se necesita que la señal de salida del filtro tenga una forma de onda predecible, como en la síntesis de sonido en sistemas de audio digitales.

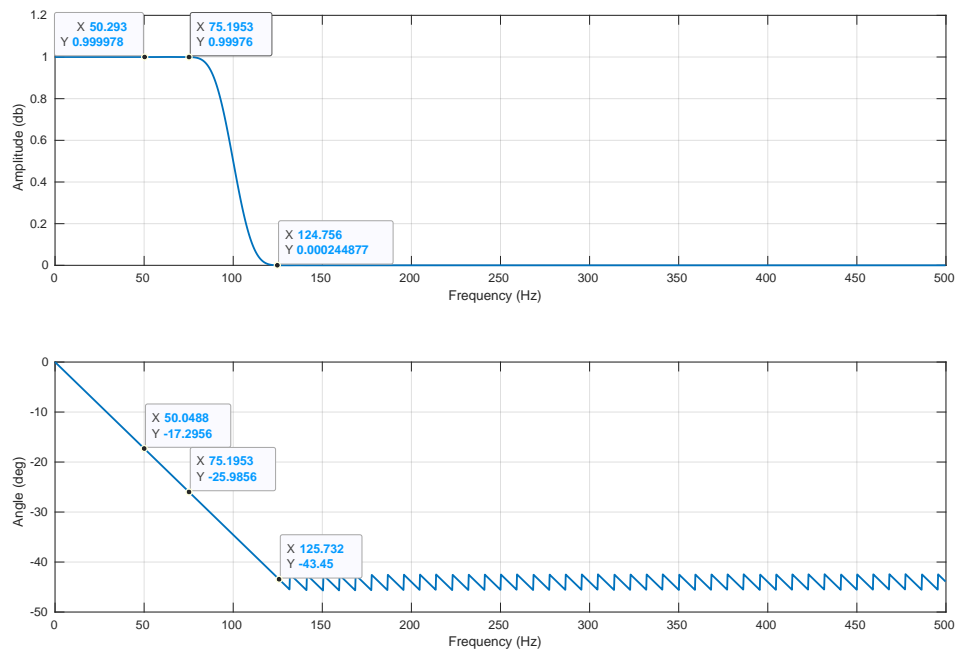


Figura 2: Respuesta en frecuencia (Kaiser) - escala lineal.

### 3. Cálculo de los coeficientes del filtro FIR por aproximación óptima

#### 3.1. Diseñar un filtro FIR por aproximación óptima mediante FilterDesigner

La aplicación de Matlab permite diseñar un filtro de forma sencilla. Además, añade filtros que solo pueden ser calculados de forma computacional, tal es el caso del filtro óptimo.

El filtro obtenido con la aplicación *Filter Designer* es de menor orden, el orden es menor a la mitad comparada con la técnica de enventanado de Blackman. El filtro óptimo es de orden 51 y en la Figura 3 y en la Figura 4 se adjuntan las respuestas en frecuencias.

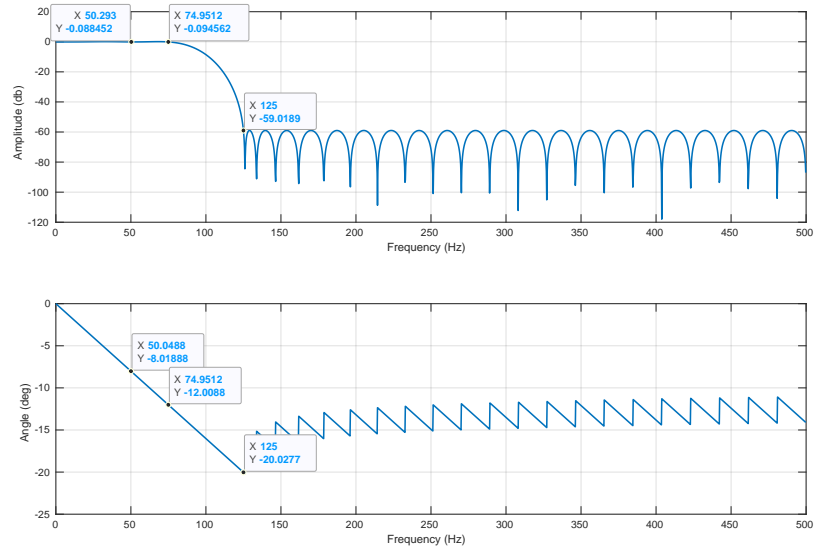


Figura 3: Respuesta en frecuencia (Aproximación óptima) - escala semilogarítmica.

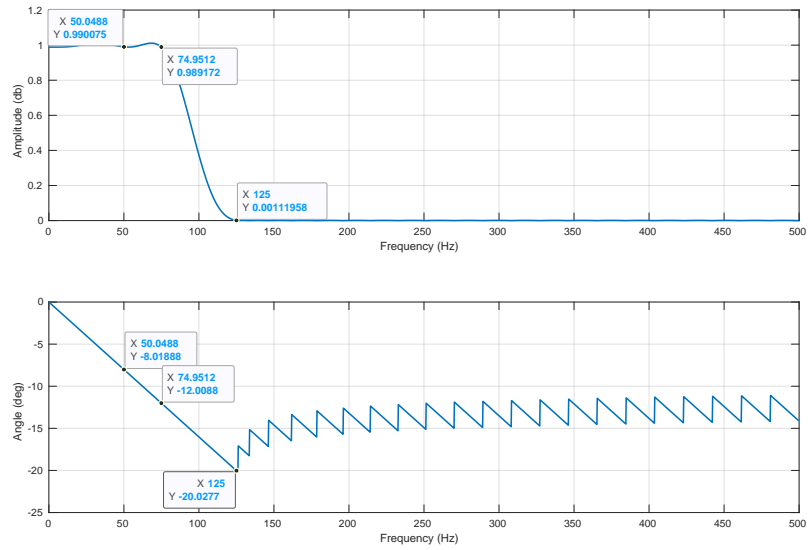


Figura 4: Respuesta en frecuencia (Aproximación óptima) - escala lineal.

## 4. Experimentación con el DSC

Se desea comparar la respuesta de los filtros FIR diseñados anteriormente. Para ello, se va a utilizar la funcionalidad data login de MATLAB para capturar las formas de onda obtenidas durante la ejecución del modelo desarrollado en el DSC. Esta funcionalidad almacena en la memoria del DSC los valores de las variables del modelo seleccionadas durante un número de muestras determinado. Una vez termina la simulación, estos datos se transfieren al ordenador, pudiendo ser almacenados en un archivo .mat. El número de muestras que se pueden registrar depende de la memoria disponible en el DSC y el número de variables monitorizadas.

#### 4.1. Genera en Simulink una señal que tenga el contenido armónico.

La implementación en Simulink se puede observar en la Figura 5. Además la señal con el contenido armónico se adjunta en la Figura 6.

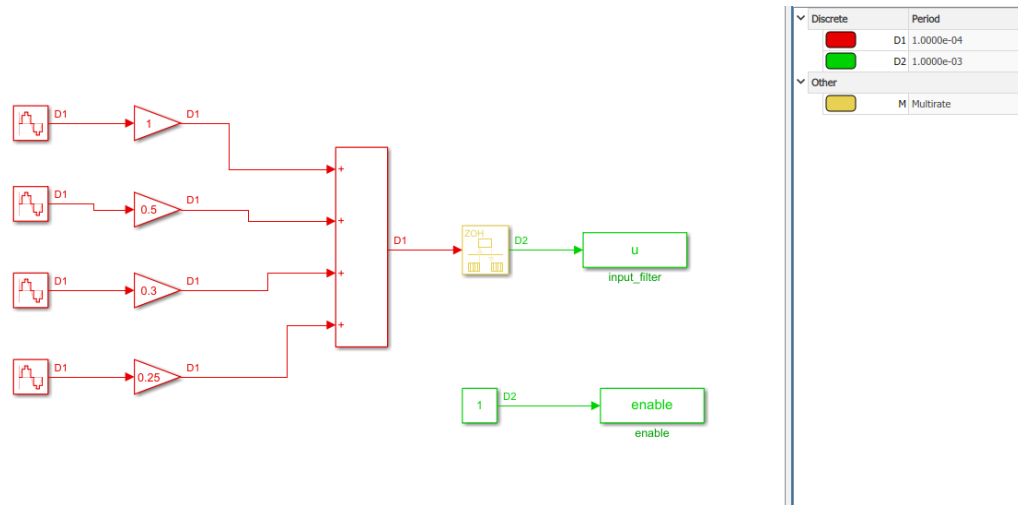


Figura 5: Diseño Simulink

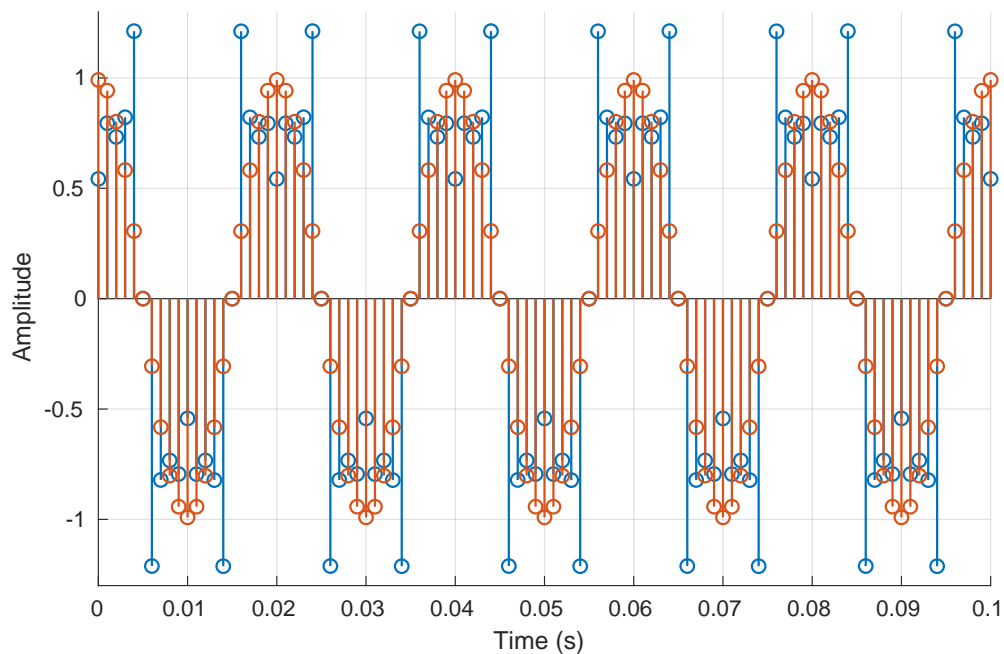


Figura 6: Señal con armónicos (azul) y señal fundamental (naranja).

#### 4.2. Filtra la señal con los filtros calculados anteriormente.

En este apartado se aplicarán los filtros por el método de enventanado de kaiser (debido a que la memoria del DSC no permite la implementación del filtro de blackman) y el filtro óptimo diseñado con la aplicación. En la Figura 7 se adjunta el diagrama en Simulink y en la Figura 8 y Figura 9 se adjunta la señal fundamental con cada señal con armónicos filtrada.

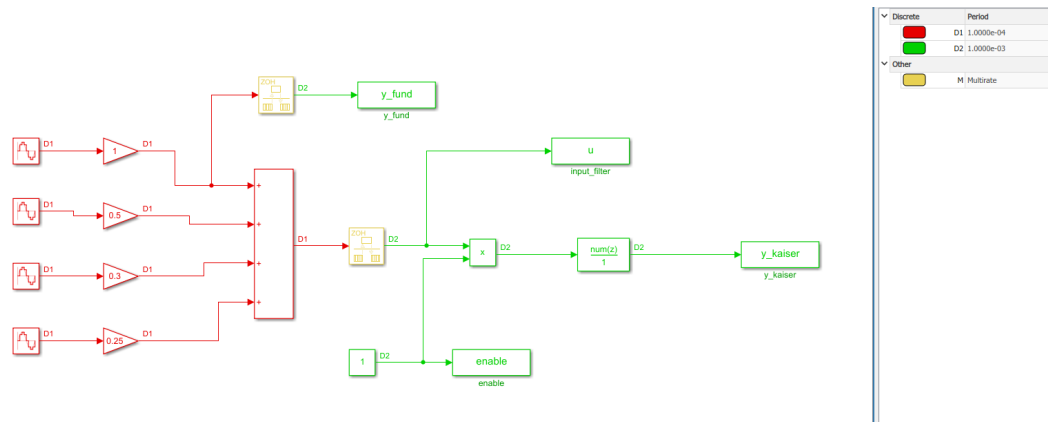


Figura 7: Diseño Simulink

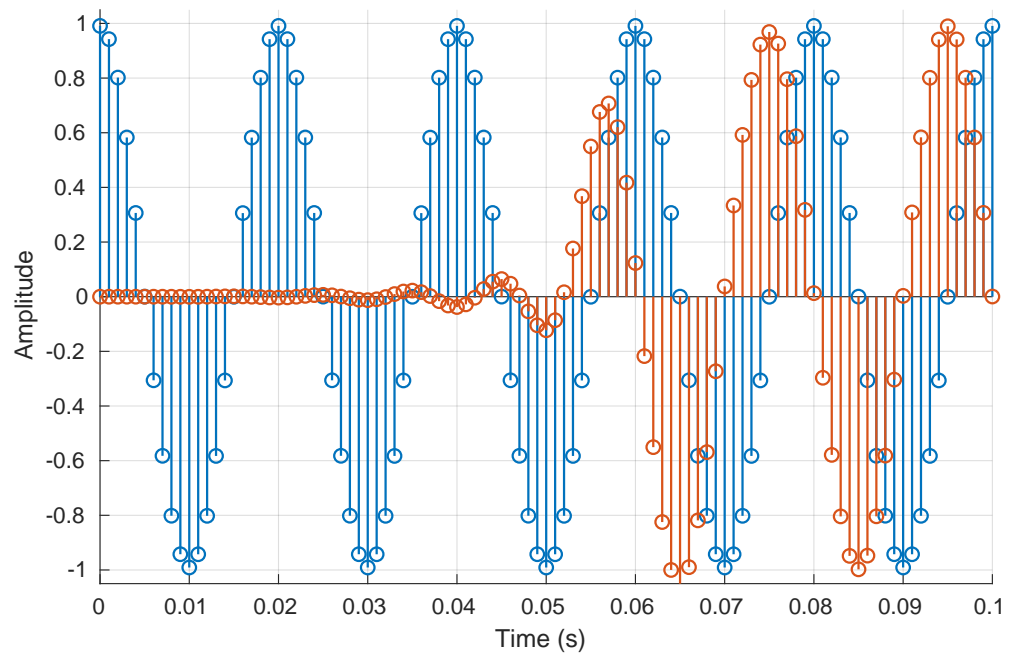


Figura 8: Respuesta del filtro Kaiser comparada con la señal fundamental.



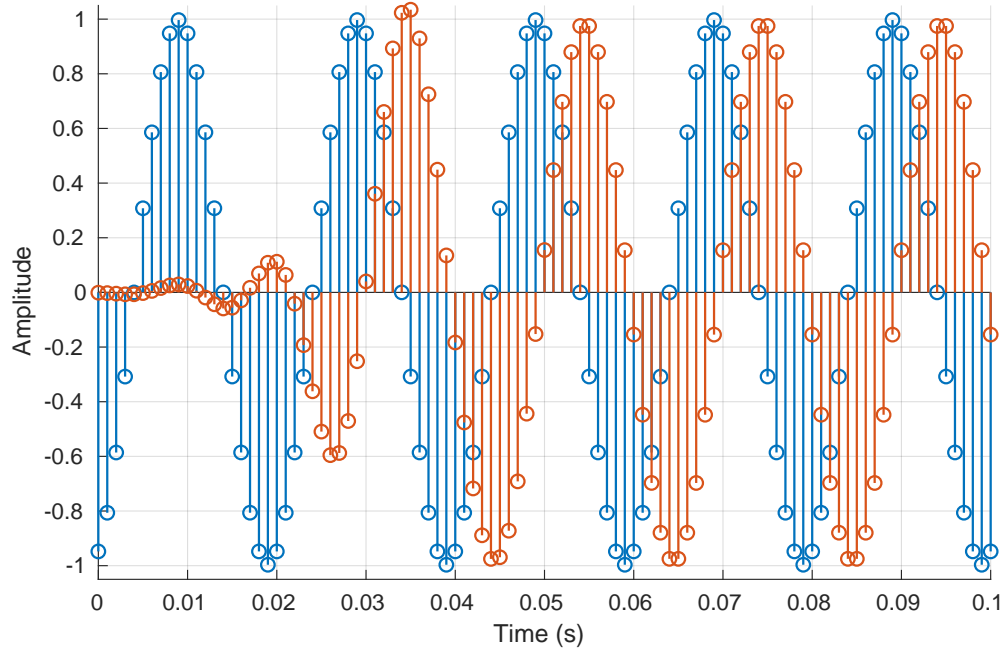


Figura 9: Respuesta del filtro óptimo comparada con la señal fundamental.

#### 4.3. ¿Cuál de los filtros diseñados utilizarías?

Sería mejor usar el filtro óptimo, ya que tiene un retraso menor por lo que se filtraría antes en una aplicación en tiempo real. Esto puede ser importante en aplicaciones en las que se requiere una alta calidad de la señal de salida, como en el procesamiento de señales de audio o de video. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un retraso menor también puede implicar una menor precisión en la salida del filtro, por lo que hay que encontrar un equilibrio adecuado entre retraso y precisión en el diseño del filtro.

#### 4.4. Se añaden a la señal de entrada diferentes componentes armónicas.

En este apartado se van a añadir a la señal de entrada las componentes armónicas de la Tabla 3, estando cada componente desfasada 90 grados con respecto a la componente de 50 Hz. En la Figura 10 se adjunta el diagrama en Simulink y en la Figura 11 se adjunta la señal filtrada.

Frecuencia	Amplitud
750 Hz	0,25
1000 Hz	0,5

Tabla 3: Componentes a añadir a la señal de entrada.

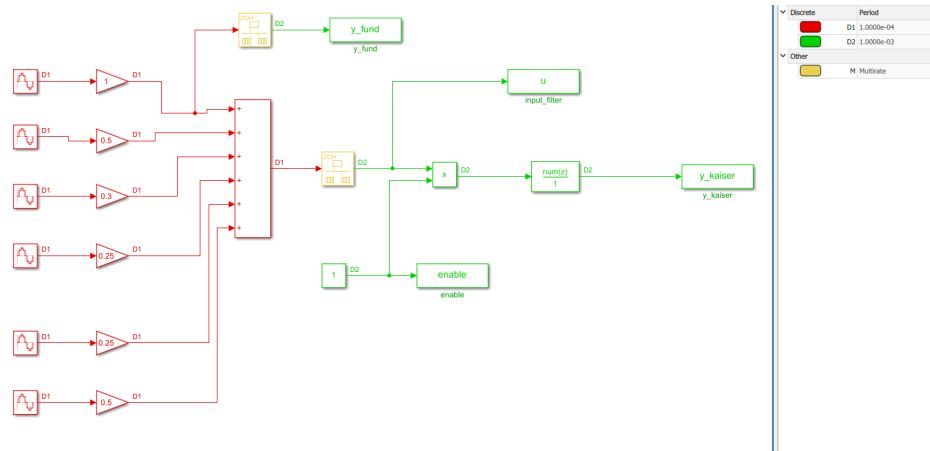


Figura 10: Diseño Simulink

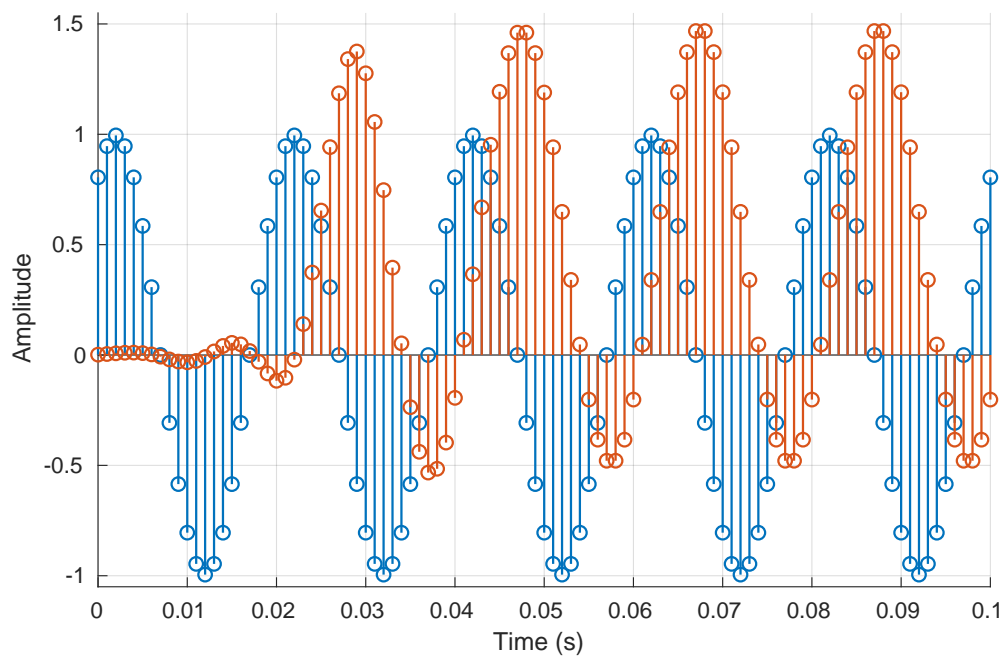


Figura 11: Respuesta del filtro óptimo comparada con la señal fundamental.

#### 4.4.1. ¿Qué resultados has obtenido?

En la Figura 11 se adjunta la respuesta y se puede comprobar que no coincide con el valor esperado.

#### 4.4.2. ¿Concuerdan con lo esperado?

No, ya que la señal filtrada no se parece a la señal fundamental que se esperaba obtener. Esto es debido a que las componentes por encima de la frecuencia de Nyquist provocan aliasing y esto provoca que la señal discreta capturada sea errónea y tras pasar el filtro, al ser frecuencias reflejadas en la banda de paso, no sean anuladas.

#### 4.4.3. ¿Por qué sucede esto?

Como se ha indicado en el apartado anterior, es causado por el aliasing.

#### 4.5. Filtro tipo Butterworth de sexto orden.

Para solucionar el problema mencionado anteriormente, se va a emular la utilización de un filtro analógico antes del conversor analógico-digital. En concreto, se utilizará el filtro tipo Butterworth de sexto orden con una frecuencia de corte de 500 Hz (los coeficientes del filtro se recogen en la Tabla 4).

Función de transferencia continua de un filtro tipo Butterworth es:

$$H_{Butterworth}(s) = \frac{1}{s'^N + a_1 s'^{N-1} + \dots + a_{N-1} s' + a'_N}, \text{ donde } s' = \frac{s}{w_c} \quad (1)$$

$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
3,8637	7,4641	9,1416	7,4641	3,8637	1

Tabla 4: Coeficientes de un filtro Butterworth analógico de sexto orden.

En la Figura 12 se adjunta el diagrama de Simulink, en la Figura 13 la respuesta en frecuencia del filtro discretizado y, finalmente, en la Figura 14 se adjunta la señal fundamental y la señal con armónicos filtrada.

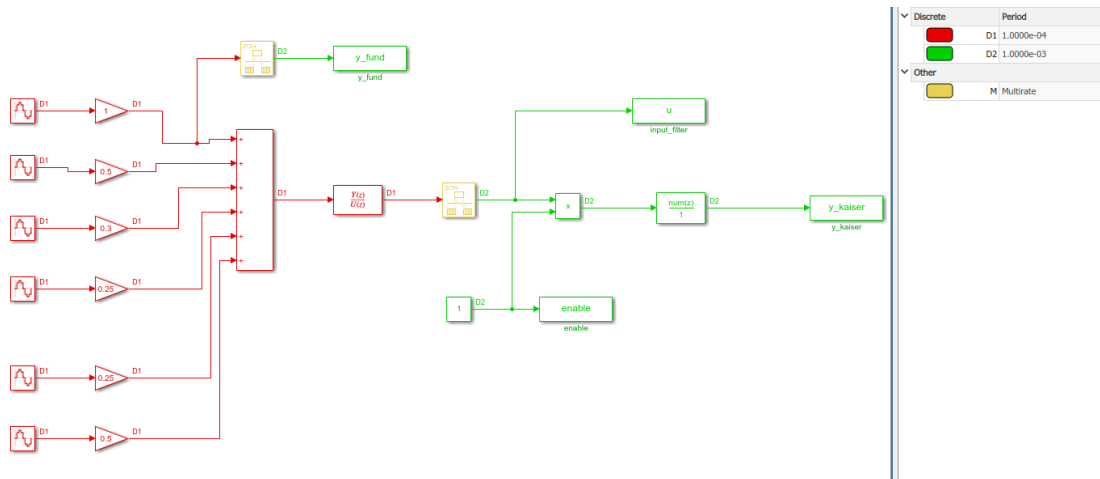


Figura 12: Diseño Simulink

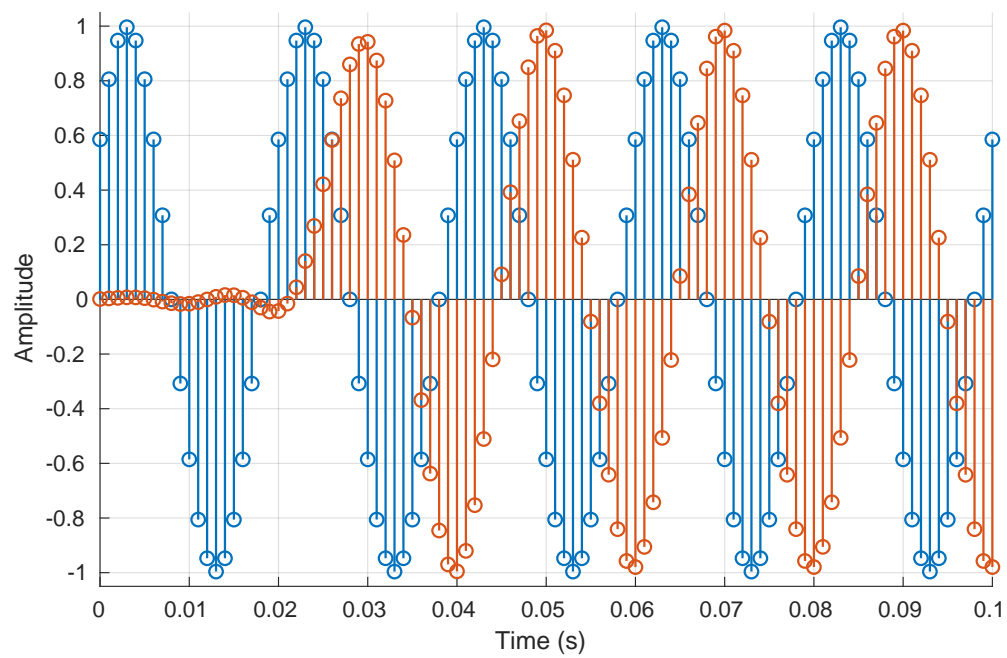


Figura 13: Respuesta del filtro óptimo comparada con la señal fundamental.

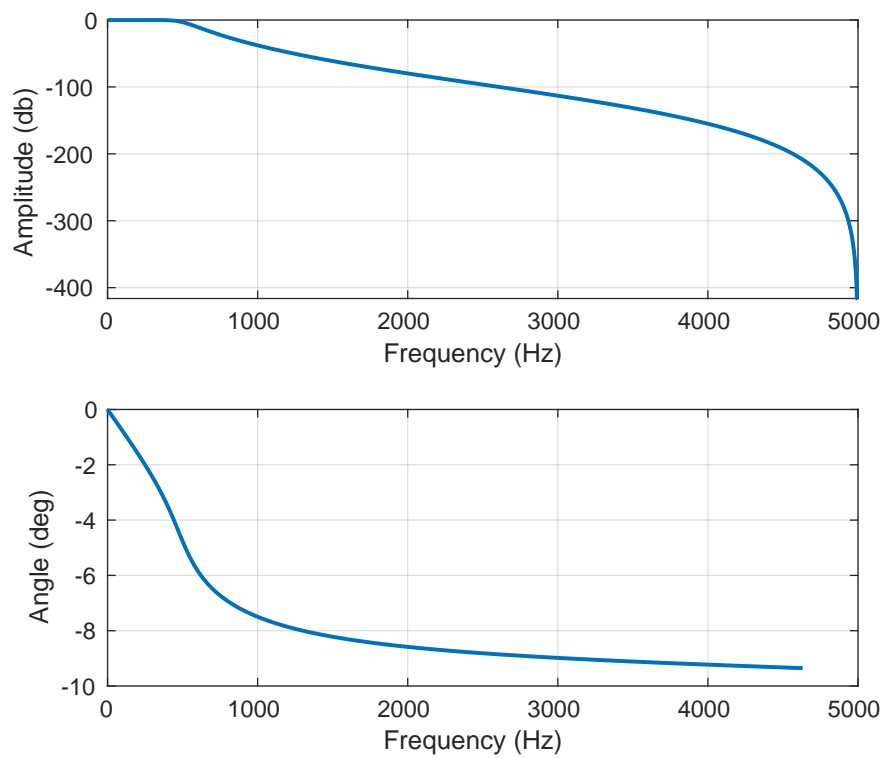


Figura 14: Respuesta en frecuencia (Butterworth).

#### **4.5.1. ¿Qué resultados has obtenido?**

En la Figura 13 se adjunta la respuesta y se puede comprobar que si coincide con los valores esperados.

#### **4.5.2. ¿Concuerdan con lo esperado?**

Si, ya que la simulación del filtro analogico nos asegura no tener componentes apreciables en las frecuencias superiores a la de nyquist.