

## Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad VII

# Filtros digitales

## 1. Objetivos

- Aplicar diferentes métodos para el diseño de filtros digitales.
- Comprender las especificaciones estándar con que diseñan filtros y aplicar las técnicas conocidas para satisfacerlas.
- Reconocer las ventajas y desventajas de cada prototipo de filtro con respuesta infinita al impulso (IIR).
- Diseñar e implementar filtros de respuesta finita al impulso (FIR).
- Valorar las ventajas y desventajas relativas entre filtros IIR y FIR.
- Comprender el concepto de fase lineal y sus implicancias en el procesamiento de señales.
- Aplicar técnicas de modulación en combinación con el filtrado digital.

## 2. Trabajos prácticos

Los ejercicios marcados con (+) son de presentación obligatoria, los restantes optativos (aunque se recomienda su realización).

**Ejercicio 1:** (+) El diagrama de la Figura 1 muestra los polos y ceros correspondientes a un filtro pasa-banda. Dicho filtro tiene cuatro polos, ubicados en  $(0.95, 45^\circ)$ ,  $(0.95, -45^\circ)$ ,  $(0.95, 45^\circ)$ ,  $(0.95, -45^\circ)$  y cuatro ceros ubicados en  $(0.80, 30^\circ)$ ,  $(0.80, -30^\circ)$ ,  $(0.80, 60^\circ)$ ,  $(0.80, -60^\circ)$  (coordenadas polares, ángulos en grados).

- a) Genere el diagrama de polos y ceros en el plano Z, como en la Figura 1.

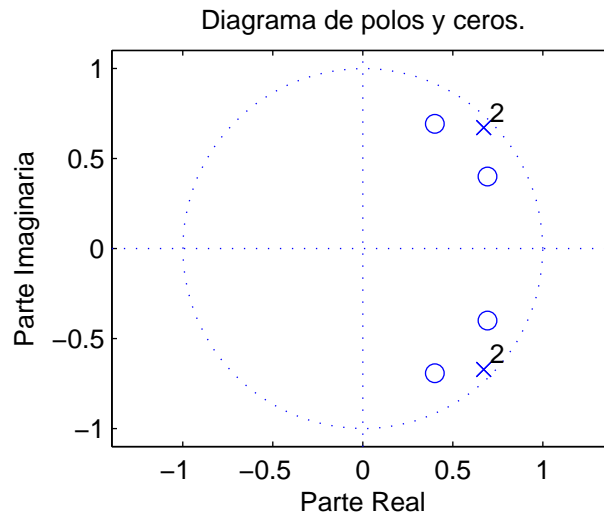


Figura 1: Diagrama de polos y ceros para el filtro del ejercicio 1.

- b) Encuentre, evalúe y grafique la respuesta en frecuencia del filtro entre  $0$  y  $\pi$ .
- c) Normalice los coeficientes del filtro, de manera que el valor máximo de la respuesta en frecuencia sea 1.
- d) Modifique el radio de los polos (manteniendo los respectivos conjugados) y observe, en la gráfica, como cambia la respuesta en frecuencia.
- e) Este filtro está diseñado de manera de que cuando se utiliza con señales muestreadas a 200 Hz la banda de paso se centre en 25 Hz. Para comprobar esto, genere una señal sumando dos senoidales de 15 Hz y 25 Hz, para luego filtrarla con el filtro normalizado. Grafique la señal original, la señal filtrada y sus espectros, y analice el resultado.
- f) Repita el ítem anterior pero esta vez genere la señal con una frecuencia de muestreo de 120 Hz. Compare el resultado con el caso anterior y obtenga conclusiones.

**Ejercicio 2:** <sup>(+)</sup> Diseñe un filtro pasa-altos de tipo Butterworth con frecuencia de corte 500 Hz. Para este ejercicio realice todos los pasos del proceso de diseño, comenzando por el diseño analógico y realizando la transformación en frecuencia y la transformación conforme. Para obtener el filtro digital correspondiente, suponga que se procesarán señales con frecuencia de muestreo 2000 Hz. Utilice diferentes órdenes y compare los resultados graficando las respuestas en frecuencia. No utilice las funciones de diseño de Matlab, sino que realice sus propias funciones para todos los pasos del proceso

**Ejercicio 3:** (+) Diseñe un filtro pasa-banda con frecuencias de corte 2500 y 3000 Hz. Para el diseño se requiere que la atenuación máxima en la banda de paso sea de 0,7 dB y la atenuación mínima en la banda de rechazo sea de 55 dB. Considere además que las bandas de transición no deberían ser mayores a 200 Hz y la frecuencia de muestreo de las señales a procesar será de 10 kHz. Compare los resultados obtenidos para filtros de Butterworth, Chebyshev tipos I y II, y para filtros elípticos. Compare los resultados obtenidos para los mismos filtros pero con el menor de todos los órdenes obtenidos anteriormente.

**Ejercicio 4:** (+) Diseñe un filtro FIR mediante el método de ventanas (implementado por usted mismo), que permita eliminar el ruido de línea en una señal que fue muestreada a 300 Hz. Compare los resultados obtenidos con diferentes ventanas de truncado y diferentes cantidades de muestras en la respuesta al impulso.

**Ejercicio 5:** Investigue la generación de filtros FIR con fase lineal y realice pruebas con ondas generadas a partir de la suma de senoidales de diferente frecuencia y fase cero. Utilice algún filtro IIR y compare los resultados obtenidos.

**Ejercicio 6:** Diseñe un filtro FIR cuyas bandas de paso estén en los intervalos de [100, 200], [1640, 3028] y [5000, 6000] Hz. En la última banda de paso se requiere que el filtro tenga una respuesta en frecuencia cuya magnitud sea proporcional a la frecuencia, partiendo desde 0 y terminando en 1.

**Ejercicio 7:** Se desean diseñar las etapas de procesamiento para un sistema de transmisión de señales por radio, desde una ambulancia a un puesto fijo en el hospital. Dicho sistema utilizará modulación de AM para transmitir 3 señales: el electrocardiograma (ECG), la presión arterial (PA) y una señal de voz por medio de la cual el personal de la ambulancia se comunica con el personal del hospital. La señal de ECG está muestreada a 250 Hz, la señal de PA a 100 Hz y la de voz a 8000 Hz.

Estas señales se modularán en amplitud (AM), utilizando portadoras  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  en el rango de 30 a 50 kHz. Una vez realizada la modulación, se suman las tres señales obtenidas. Este proceso es conocido como multiplexado en frecuencia, ya que cada señal ocupa una banda de frecuencias diferente. De esta forma se transmiten las 3 señales utilizando el ancho de banda disponible en el canal (en este caso, de radio). Luego del multiplexado, la señal resultante es transmitida. El esquema del transmisor se puede observar en la Figura 2. En el receptor, es necesario demultiplexar la señal de entrada como primer paso, es decir, generar tres señales independientes donde cada una conserve sólo la información de una de las señales transmitidas. Para ello se deben utilizar filtros pasa-banda adecuados, centrados en la frecuencia de

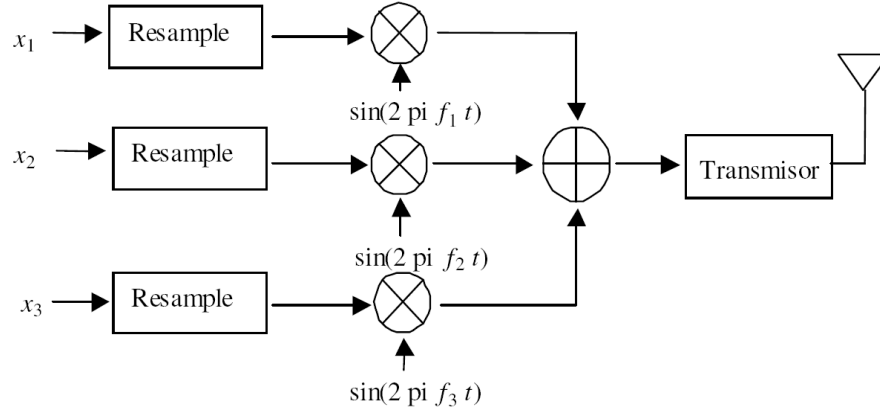


Figura 2: Transmisor

la señal portadora, y con el ancho de banda necesario para contener toda la información de la señal de interés. Luego de obtenidas estas señales, se debe demodular, para lo cual se utilizará demodulación sincrónica. Luego de la demodulación, se obtiene la señal de interés por medio de un filtro pasa-bajos de frecuencia de corte adecuada. El esquema del receptor se muestra en la Figura 3.

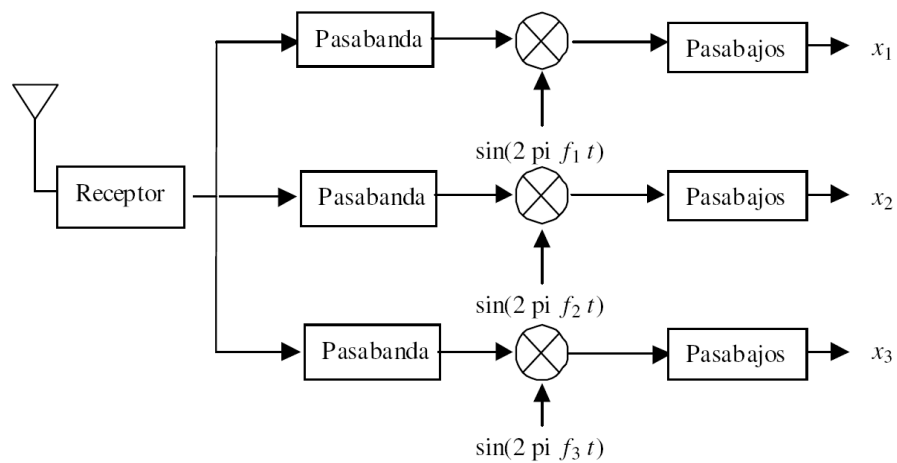


Figura 3: Receptor

Implemente el procesamiento de señales completo (incluyendo la transmisión y recepción) utilizando las señales que se encuentran en los archivos `ecg.txt`, `pa.txt` y `voz.txt`.