

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ELECTROCARDIOGRAMA ANALÓGICO PARA OBSERVAR LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA DEL CORAZÓN MEDIANTE UN OSCILOSCOPIO

Jorge Rivero Gomez¹, Everardo Hernández Manuel¹, Rogelio Ernesto García Chávez^{2,3}, Ramón Silva Ortigoza²,
Josue Roberto Rodríguez Cerón¹, Magdalena Marciano Melchor²

Instituto Politécnico Nacional

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)

²Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CIDETEC) - Laboratorio de Mecatrónica y Energía Renovable

³Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa - Depto. de Matemáticas Aplicadas y Sistemas

Jriverog1800@alumno.ipn.mx

Boletín No. 107, 1o. de marzo de 2025

Resumen

En el presente trabajo, se diseña y simula un electrocardiograma analógico para la obtención de la señal eléctrica del corazón. Se indican los materiales utilizados, y asimismo se muestran las simulaciones con los resultados usando Multisim.

Palabras Clave: electrocardiograma, filtros activos, amplificador operacional, osciloscopio, simulación electrónica.

1. Introducción

En la electrónica analógica, el uso de filtros suele utilizarse para atenuar señales con un determinado rango de frecuencias, y mantener (y muy a menudo amplificar) señales en las cuales el rango de frecuencias nos interesa observar. Esto se puede usar para amplificar señales de audio, en las cuales el rango de sonido va de los 20Hz a los 20kHz.

En nuestro caso, obtener y amplificar la señal eléctrica del corazón, la cual se encuentra entre los 0.5Hz y los 250Hz. Para estos fines, se utilizan cuatro tipos de filtros.

1.1 Filtro pasa bajas

Un filtro pasa bajas es un dispositivo electrónico que permite el paso (y también amplifica) señales desde los 0Hz hasta un cierto valor de frecuencia llamado frecuencia de corte (F_{CL}), y atenúa el resto de las frecuencias. La frecuencia de corte F_{CL} se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_{CL} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \dots (1)$$

1.2 Filtro pasa altas

Un filtro pasa altas es un dispositivo electrónico que permite el paso (y también amplifica) de señales desde un cierto valor de frecuencia llamado frecuencia de corte (F_{CH}) en adelante, y atenúa el resto de las frecuencias. La frecuencia de corte F_{CH} se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_{CH} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \dots (2)$$

1.3 Filtro pasa bandas

Un filtro pasa banda es un dispositivo electrónico que permite el paso de frecuencias que comprende un intervalo de frecuencias. Esto significa que el filtro pasa banda está compuesto de un filtro pasa baja y, en

serie, un filtro pasa altas. Por otro lado, existe una variable llamada Frecuencia de resonancia (F_R), la cual está definida por la ecuación (3):

$$F_R = \sqrt{F_{CL} \cdot F_{CH}} \quad \dots (3)$$

Del mismo modo, se define el ancho de banda (B) como lo indica la ecuación (4):

$$B = F_H - F_L \quad \dots (4)$$

Finalmente, se define el factor Q como lo indica la ecuación (5):

$$Q = \frac{F_R}{B} \quad \dots (5)$$

1.4 Filtro rechaza bandas

Es un filtro que permite el paso de señales a determinadas frecuencias y evita el paso de un solo valor de frecuencias. Dicho valor por excluir se trata de una frecuencia de corte (F_C), la cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_C = \frac{1}{2\pi RC} \quad \dots (6)$$

1.5 Amplificador AD620

El AD620 es un conocido amplificador de instrumentación. Su uso se detalla más adelante. Por el momento, en la figura 1, se presenta el encapsulado del AD620.



Figura 1 Amplificador operacional de instrumentación AD620.

2. Materiales y software utilizados

La elaboración del electrocardiograma se basa en el uso de amplificadores operacionales:

- Circuito integrado AD620.
- Circuito integrado TL074.
- Capacitores de poliéster $1\mu\text{F}$, $0.1\mu\text{F}$ a 400V.
- Resistencias $1\text{ k}\Omega$, $6.3\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $56\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$ y $3\text{ M}\Omega$.
- Cable de cobre calibre 12.
- Protoboard.
- Osciloscopio.
- Fuente de alimentación simétrica o dos fuentes independientes.

3. Diseño y simulación

En la figura 2, se presenta el diseño conceptual que se usará para la elaboración e implementación del electrocardiograma.



Figura 2 Diseño conceptual.

3.1 Amplificador AD620

El AD620 es un amplificador que se utiliza para aumentar las señales bioeléctricas del cuerpo humano, debido a que se presentan en un orden de $5mV_{pp}$ como máximo, y que, debido a su naturaleza, para poder observarla, se requiere de amplificarlas. En la figura 3 se puede apreciar la configuración del AD620.

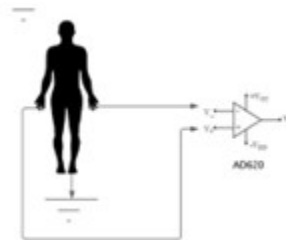


Figura 3 Configuración del AD620.

3.2 Corrector de Basal

El corrector de Basal es un dispositivo que mantiene a la señal sobre el eje isoelectrico [1]. En la figura 4, se puede apreciar el esquemático que incluye tanto las conexiones del AD620, como el corrector de Basal, el cual se encuentra en la parte inferior derecha. Cabe mencionar que se cambiaron las entradas de los electrodos de la persona por las de un generador de funciones.

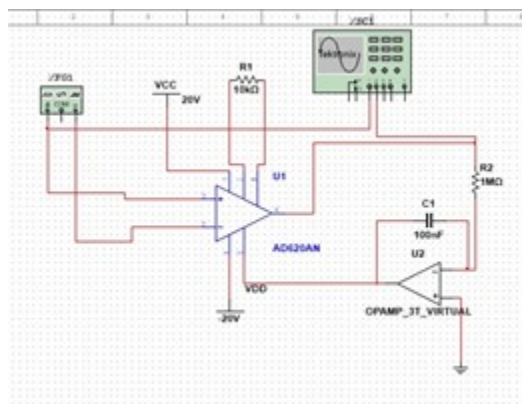


Figura 4 Esquemático del AD620 y el corrector de Basal.

En la figura 5, se puede apreciar cómo se amplifica la señal de entrada del generador de funciones.

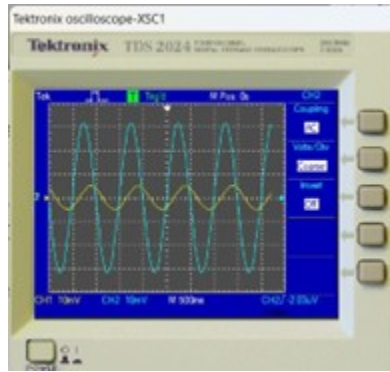


Figura 5 La señal de entrada (amarillo) y la señal de salida (azul), mostrando la amplificación de un generador de señales.

Finalmente, en la figura 6 se pueden apreciar las configuraciones del generador de funciones que alimentan al amplificador de instrumentación.

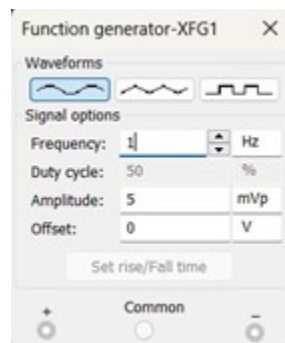


Figura 6 Configuraciones del generador de funciones que alimentan al AD620.

3.3 Pasa banda

El rango de frecuencias que se deben dejar pasar es de 0.5 Hz a 250 Hz. Para un filtro pasa bajas, calculamos la frecuencia de corte (F_{CL}) mediante la ecuación (1). Donde el valor de capacitancia C se propone como $C = 0.1\mu F$ haciendo hincapié a que el material de los capacitores será poliéster. Resolviendo la ecuación (1) para R_L , obtenemos:

$$R_L = \frac{1}{2\pi F_L C} = \frac{1}{2\pi(0.5\text{Hz})(0.1 \times 10^{-6}\text{F})} \approx 3 \times 10^6 \Omega$$

Para el filtro pasa altas, calculamos la frecuencia de corte (F_{CH}) mediante la ecuación (2). Donde el valor de capacitancia C se propone como $C = 0.1\mu F$. Resolviendo la ecuación (2) para R_H , obtenemos:

$$R_H = \frac{1}{2\pi F_H C} = \frac{1}{2\pi(250\text{Hz})(0.1 \times 10^{-6}\text{F})} \approx 6.3 \times 10^3 \Omega$$

Procedemos a calcular la frecuencia de resonancia (F_R) mediante la ecuación (3):

$$F_R = \sqrt{F_L \cdot F_H} = \sqrt{(0.5\text{Hz})(250\text{Hz})} = 11.18 \text{ Hz}$$

Del mismo modo, obtenemos el ancho de banda como lo especifica la ecuación (4):

$$B = F_H - F_L = 250\text{Hz} - 0.5\text{Hz} = 249.5 \text{ Hz}$$

Finalmente, calculamos el factor Q , mediante la ecuación (5):

$$Q = \frac{F_R}{B} = \frac{11.18\text{Hz}}{249.5\text{Hz}} = 0.04480 \leq 0.5$$

Ya que $Q \leq 0.5$ se concluye que estamos trabajando en banda ancha. En la figura 7, se puede apreciar el esquemático del filtro pasa banda usando Multisim.

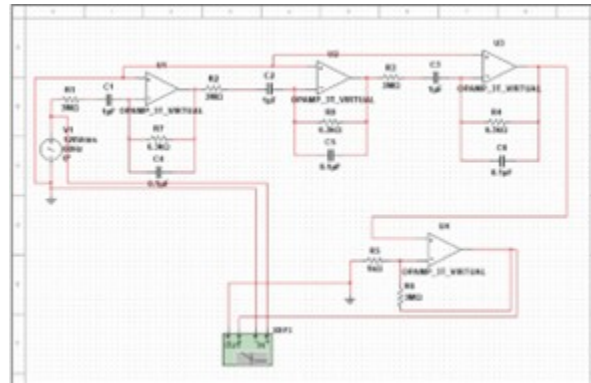


Figura 7 Esquemático del filtro pasa banda.

Aquí hay algunas cuestiones que debemos tener en cuenta:

- La entrada del primer amplificador operacional se sustituyó por una señal sinusoidal, en donde debe estar el amplificador de instrumentación, lo que se hizo con fines de demostrar el funcionamiento del filtro pasa banda.
- Se usa un Bode Plotter para visualizar el correcto funcionamiento del filtro pasa banda.

Por otro lado, en la figura 8 se puede observar la frecuencia de corte del filtro pasa bajas el cual es $F_{CL} = 0.5\text{Hz}$.

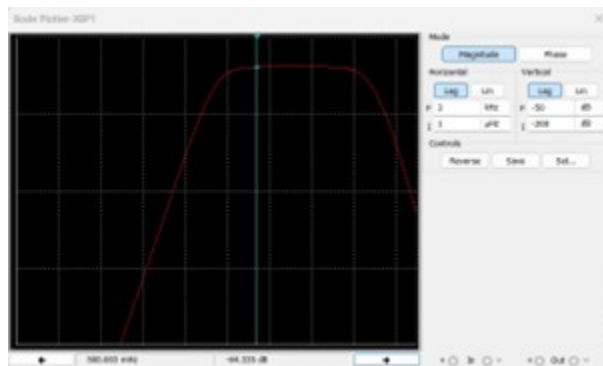


Figura 8 Frecuencia de corte del pasa baja.

Del mismo modo, en la figura 9 se puede observar la frecuencia de corte del filtro pasa alta, el cual es $F_{CH} = 250\text{Hz}$.

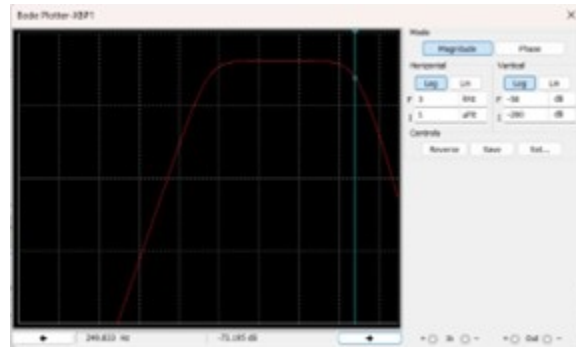


Figura 9 Frecuencia de corte del pasa alta.

3.4 Rechaza banda

Como ya se ha explicado, debemos eliminar la frecuencia de 60Hz, la cual ingresa ruido no deseado desde la alimentación de la red eléctrica, es decir, necesitamos hacer que la frecuencia de resonancia sea de 60Hz.

Frecuencia 1: Proponemos $R = 10 \text{ k}\Omega$ y $C = 0.1 \mu\text{F}$.

$$F_{CL} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(10\text{k}\Omega)(0.1\mu\text{F})} = 159.15 \text{ Hz}$$

Frecuencia 2: Proponemos $R = 68 \text{ k}\Omega$ y $C = 0.1 \mu\text{F}$.

$$F_{CH} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(68\text{k}\Omega)(0.1\mu\text{F})} = 23.40 \text{ Hz}$$

Obtenemos la frecuencia de resonancia mediante la ecuación (3):

$$F_R = \sqrt{F_{CL} \cdot F_{CH}} = \sqrt{(159.15\text{Hz})(23.40\text{Hz})} = 61.03 \text{ Hz}$$

Procedemos a calcular el ancho de banda:

$$B = F_{CL} - F_{CH} = 159.15\text{Hz} - 23.40\text{Hz} = 135.75 \text{ Hz}$$

Del mismo modo, calculamos el factor Q :

$$Q = \frac{F_R}{B} = \frac{61.03\text{Hz}}{135.75\text{Hz}} = 0.4495$$

Ya que $Q \leq 0.5$, entonces estamos en banda ancha. En la figura 10 se puede observar el esquemático del filtro rechaza banda.

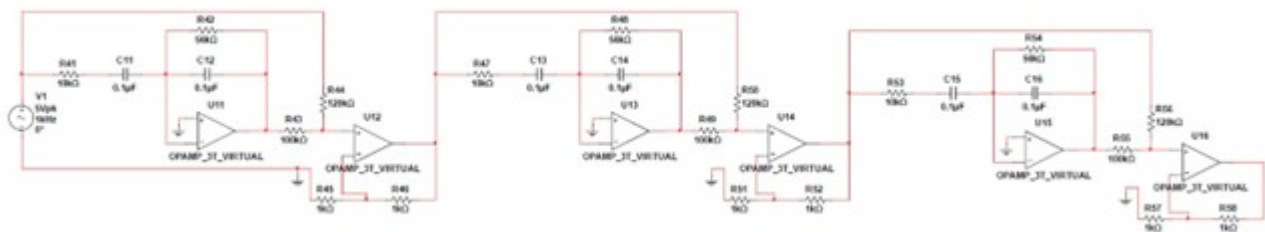


Figura 10 Esquemático del rechaza banda.

Mientras que en la figura 11, se puede apreciar el Bode Plotter, en donde se indica la frecuencia que se rechaza, en este caso, de 60Hz.

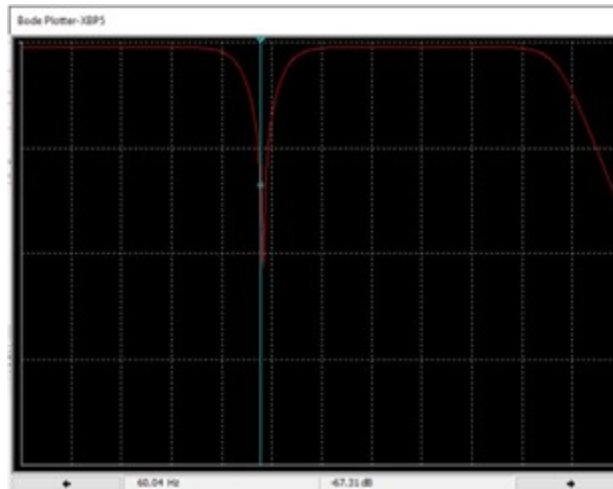


Figura 11 Diagrama de Bode para el rechaza banda.

Finalmente, se monta cada módulo antes mostrado, para formar el circuito final, el cual será llamado electrocardiograma analógico. En la figura 12, se puede apreciar cómo se ve el diagrama de Bode, para el funcionamiento final del circuito.

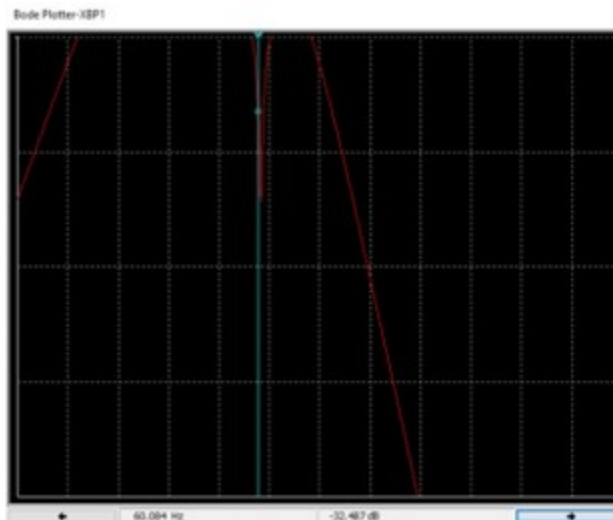


Figura 12 Diagrama de Bode del rechaza bandas y pasa banda.

4. Conclusiones

Como se pudo apreciar, el uso de filtros activos con componentes de bajo coste, así como de fácil acceso, puede constituir en el diseño de un electrocardiograma que registre la visualización de la señal eléctrica del corazón en un osciloscopio.

Naturalmente, este dispositivo no debe sustituir un electrocardiograma de grado médico, sin embargo, es un gran avance para la construcción de uno que emule al que sí lo es. Debido a las limitaciones del presente trabajo, se deja la construcción de este para la siguiente entrega.

Referencias

- [1] Dugarte J., N., Jugo, D., & Raimondi, V. (2007). *Sistema para digitalización del electrocardiograma e historia médica computarizada aplicada a cardiología*. [SciELO].

Rivero Gomez, J., Hernández Manuel, E., García Chávez, R. E., Silva Ortigoza, R., Rodríguez Cerón, J. R., Marciano Melchor, M. (2026). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ELECTROCARDIOGRAMA ANALÓGICO PARA OBSERVAR LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA DEL CORAZÓN MEDIANTE UN OSCILOSCOPIO. *Boletín UPIITA*. año XX, (NÚM) 2026.