

RESUMEN

El sistema cardiovascular y el ciclo cardíaco son un tema de estudio esencial para la educación en ámbitos de la salud. El ciclo cardíaco implica la contracción y relajación del músculo del corazón. El electrocardiograma es un equipo médico que se encarga de registrar la actividad eléctrica del corazón en un tiempo predeterminado, por medio de electrodos conectados al paciente este tiene la finalidad de medir los latidos permitiendo así poder evaluar la actividad del mismo. Estudios han evidenciado cierto grado de variabilidad en el aprendizaje del ECG y recomiendan el uso de estrategias didácticas como talleres, cursos virtuales, estudios de casos clínicos, seminarios o rondas clínicas, entre otras. Con el propósito de mejorar la comprensión del ciclo cardíaco, se diseñó y construyó un simulador cardíaco controlado por la señal electrocardiográfica del usuario.

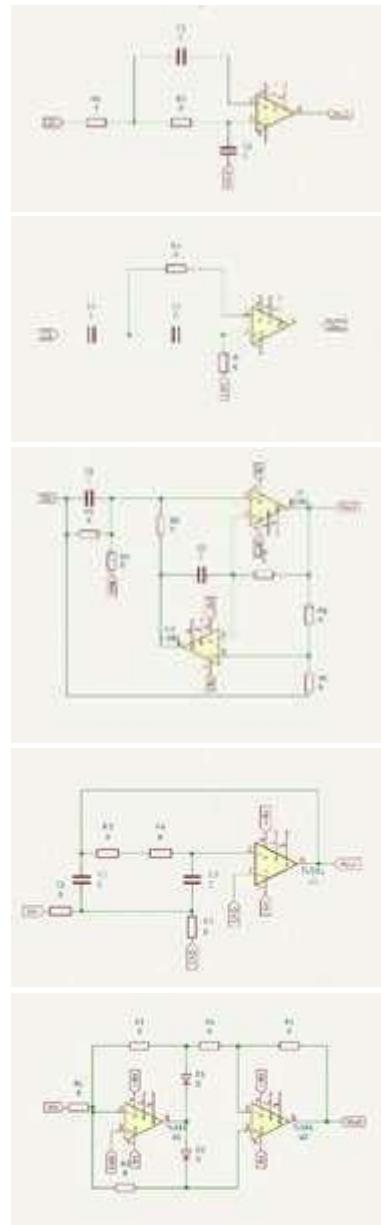
Se construyeron diversos filtros analógicos, para limpiar la señal cardíaca y poder graficarla en Arduino. Para la creación del circuito mecánico se optó por replicar el mecanismo con el que funciona el corazón, usando pistones de aire movidos por motores, que se encargan de bombear el aire a través de mangueras al prototipo de corazón cada que se detecta un complejo QRS.

El modelo final presenta no solo el comportamiento físico del corazón, sino también el ritmo cardíaco y la graficación del electrocardiograma. La metodología de aprendizaje diseñada proporciona a los alumnos y docentes de las distintas áreas de la salud la oportunidad de encontrar relaciones visuales entre la graficación del complejo QRS y el movimiento del corazón a lo largo del ciclo cardíaco. Al provenir los datos analizados directamente del usuario, los estudiantes pueden tener un mayor acercamiento a ciclo cardíaco e identificar el impacto que tiene en el entorno.

II. METODOLOGÍA

Diseño y construcción del ECG

Primeramente, se amplificó y filtró la señal ECG. La etapa de amplificación se encarga de aumentar el nivel de amplitud de la señal captada por los electrodos sin alterar la información de interés médico [9]. Para realizar el filtro, se construyeron filtros analógicos para dar una respuesta prescrita a una señal específica [10]. En primera instancia, se realizaron los cálculos necesarios para obtener los valores de capacitores y resistencias necesarios para cada filtro, usando las fórmulas pertinentes.



a)

b)

c)

d)

e)

Figura 1. a) Filtro pasa bajas, b) Filtro pasa altas, c) Filtro notch, d) Filtro pasa bandas y e) Filtro valor absoluto.

Posteriormente, utilizando los valores obtenidos, se procedió diseñando los circuitos por medio de TinkerCad y seguidamente a su construcción física en protoboard. La señal obtenida se grafica en Arduino.

Diseño y construcción placas PCB

El diseño de las placas PCB se realizó mediante la aplicación “KiCad”. Primero se esquematizaron los circuitos de los filtros y, posteriormente, se acomodaron en el perímetro de la PCB y se establecieron las rutas para las conexiones. El diseño se imprimió a láser en papel de transferencia y, con ayuda de una plancha para ropa, se pasó a una placa de cobre. Con un taladro manual y brocas de 0.5 mm se hicieron las perforaciones correspondientes y se procedió a soldar los componentes a la placa.

Diseño y construcción del corazón El corazón es una bomba muscular que al generar presión desplaza un volumen líquido [11]. Por lo cual, para el sistema mecánico, se optó por replicar este sistema con pistones de aire que son movidos por motores controlados por Arduino. Estos, reciben una señal cuando se completa un ciclo cardíaco y bombean aire, a través de mangueras, a un prototipo de corazón, el cual se infla y se contrae simulando los procesos de contracción y relajación del corazón.

Se realizó el diseño 3D del corazón mediante el programa de modelado 3D RHINO 7, en un formato a escala 1:1 con capas y subcapas hechas en subD. El modelo está conformado por tres componentes: esfera inferior, tubo superior y tubos intermedios. El render se hizo en un formato de 800x720 a escala media y nivel de renderizado alto.

construyó a base de unicel y algodón con un recubrimiento de globos de látex, se conectó a una manguera plástica y se procedió a envolver en una capa de foami moldeable, al tiempo en que se le daba forma a las entradas y salidas de las principales venas y arterias del corazón. El otro extremo de la manguera se unió a la boquilla de una jeringa de 20 ml sujetada a una placa de madera. Se perforó el embolo de la jeringa y se conectó a dos piezas de madera unidas en sus extremos, de modo que simularan una articulación. El extremo restante de la articulación se conectó a un motor de modo que flexiona o estira la articulación según el lado al cual el motor gire, expulsando o aspirando aire de dentro del corazón.

Construcción y automatización del mecanismo

Para la automatización del mecanismo se utilizó un motor a pasos Nema 17. Este se conectó a una fuente de alimentación de 5V. De igual forma, se utilizó un driver L298N y un Arduino UNO para el control del mismo. Un pulso es enviado al motor cada vez que se detecta un complejo QRS y este, en respuesta, hace un giro a la derecha y uno hacia la izquierda para retraer y extender el brazo encargado de bombear aire hacia el corazón.

Diseño modelo final

El mecanismo y los circuitos se colocaron dentro de una caja de MDF detrás de una estructura, del mismo material, que sujetó el corazón. Los cortes de las piezas fueron realizados a láser y las uniones fueron reforzadas con pegamento instantáneo. Para, finalizar, se dio color a la estructura con pintura en aerosol.

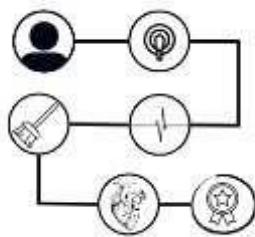


Figura 2. Diagrama de bloques uso del dispositivo

II. RESULTADOS

Corazón

El modelo final del corazón representa de manera general el músculo cardíaco, con sus respectivas venas y arterias principales. La flexibilidad del material permite que este se inflle al bombear aire y se contraiga al extraerlo, sin perder su forma original.



Figura 3. Modelo final del corazón

PCB

El diseño PCB de los circuitos de los filtros del electrocardiograma resultó en una reducción de aproximadamente el 50% del espacio total ocupado por los filtros.

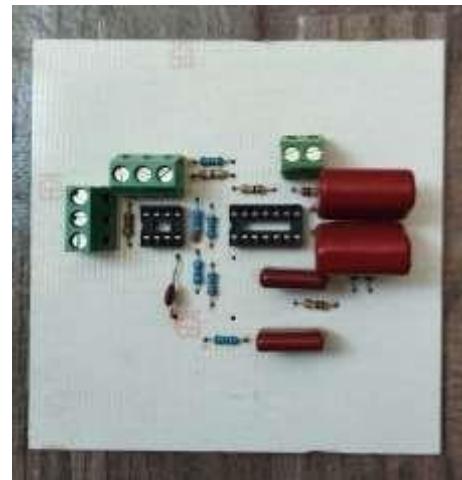


Figura 4. Placa PCB de los circuitos del ECG

Circuitos de automatización

El circuito cuenta con un motor Nema 17, un doble puente H, una pantalla LCD y un Arduino Uno, mismo en el que se encuentran conectados los filtros. Todo se encuentra conectado a una protoboard. El motor es alimentado por 9V provenientes de una fuente de voltaje.

Mecanismo de movimiento

La jeringa y motor están unidos a un brazo extensor de MDF, de modo que, al girar el motor, el brazo se extiende y bombea aire dentro del corazón y, cuando este se retrae, succiona el aire de dentro.



Figura 5. Circuitos del motor y pantalla LCD

Prototipo final

El prototipo permite a los usuarios visualizar el movimiento de contracción y relajación del corazón desde la estructura o pueden tomarlo y manipularlo para tener una sensación táctil del mismo. De igual forma, permite visualizar la graficación de la señal cardíaca a través de la

computadora, mientras que la frecuencia cardíaca (bpm), se visualiza en la parte superior derecha en de la caja de circuitos, una pantalla LCD.

III. CONCLUSIONES

La metodología de aprendizaje diseñada proporciona a los alumnos y docentes de las distintas áreas de la salud la oportunidad de encontrar relaciones visuales entre la graficación del complejo QRS y el movimiento del corazón a lo largo del ciclo cardíaco.

El recubrimiento de foami moldeable del corazón proporciona una sensación táctil más realista y agradable al usuario, en comparación a otros materiales a nuestro alcance, lo que contribuye a una experiencia de aprendizaje más significativa.

El uso de placas PCB supone una vista más organizada en la presentación final del prototipo, optimiza el uso del espacio y evita que los componentes electrónicos se desconecten, asegurando así el correcto funcionamiento de los mismos.

La organización final del prototipo facilita el uso práctico tanto para alumnos, como para docentes en las aulas. Ya que el modelo presenta no solo el comportamiento físico del corazón, sino también el ritmo cardíaco y la graficación del electrocardiograma, se pueden analizar distintos parámetros de forma simultánea. Al provenir los datos analizados directamente del usuario, los estudiantes pueden tener un mayor acercamiento a ciclo cardíaco e identificar el impacto que tiene en el entorno.