

sistema de adquisición y procesamiento de señales eléctricas del corazón para detección de anomalías

1^{er} Juan Antonio Flores Romero
Instituto politecnico nacional, Mexico
minionre2@hotmail.com

2nd Leobardo Hernandez Gonzalez
Instituto politecnico nacional, Mexico
lhernandez@ipn.mx

3^{er} Pedro guevara lopez
Instituto politecnico nacional, Mexico
pguevara@ipn.mx

Resumen— De acuerdo con la OMS, las enfermedades cardiacas se presentan principalmente en personas de la tercera edad de manera imprevista lo que dificulta una atención temprana; una solución para este grupo vulnerable de la población es contar con un sistema electrónico que permita censar y visualizar las señales eléctricas del corazón de manera preventiva. Se presenta el diseño de un sistema de adquisición y procesamiento de la señal ECG (Electrocardiograma), donde se valora la amplitud, la duración de cada onda y segmento que conforman la señal ECG. A partir de la medida de cada onda se indica un posible problema cardiaco que presente la persona, para lo cual se realizaron pruebas controladas y así poder validar el diseño del sistema. La contribución principal de este trabajo fue realizar un sistema básico para la obtención y visualización de parámetros de un corazón.

Palabras clave - Cardiovascular, Enfermedades, Envejecimiento, Monitor.

Abstract—According to the WHO, heart disease occurs mainly in the elderly unexpectedly, which makes early care difficult; A solution for this vulnerable group of the population is to have an electronic system that allows to sense and visualize the electrical signals of the heart in a preventive way. The design of an-ECG signal acquisition and processing system (Electrocardiogram) is presented, where the amplitude, duration of each wave and segment that make up the ECG signal is assessed. From the measurement of each wave, a possible heart problem presented by the person is indicated, for which controlled tests were carried out and thus be able to validate the design of the system. The main contribution of this work was to make a basic system for obtaining and visualizing parameters of a heart.

Keywords— Cardiovascular, Diseases, Aging, Monitor.

I. INTRODUCCIÓN

La señal electrocardiográfica es una representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón, este tipo de gráfico es utilizado para diagnosticar padecimientos de manera clínica, esta prueba rápida no causa dolor y es capaz de detectar de manera eficaz anomalías cardiacas y observar la salud de corazón. Esta señal, de acuerdo con la Figura 1, se forma por distintas ondas. Las cuales se obtienen conectando electrodos directamente en la piel. Estos electrodos detectan las señales eléctricas generadas por el corazón durante cada latido y las transmiten a un electrocardiógrafo, que registra y representa gráficamente estas señales. [1]

Las componentes más representativas en un electrocardiograma, que se observan en la Figura 1, son:

1. **Onda P:** Representa la despolarización de las aurículas, que es la contracción de las cámaras superiores del corazón.

2. **Complejo QRS:** Representa la despolarización de los ventrículos que es la contracción de las cámaras inferiores del corazón.
3. **Onda T:** Representa la repolarización de los ventrículos, que es el periodo de relajación y recuperación de las cámaras inferiores del corazón.
4. **Onda U:** La onda U es una deflexión que sigue a la onda T y generalmente representa la repolarización de los ventrículos cardiacos.

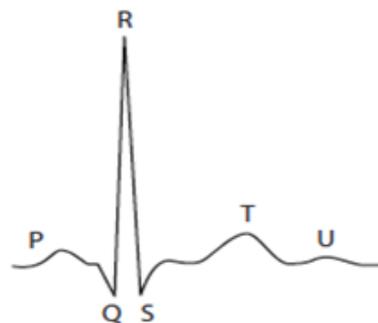


Fig. 1. Señal ECG.

La señal ECG puede ser procesada de varias maneras, dependiendo de la tecnología disponible, así como los recursos tecnológicos para la exactitud que se quiere alcanzar a continuación se mencionan algunas técnicas:

1. Detección de Ondas QRS del ECG Usando la Transformada Wavelet Analógica. [18]
2. Detección de latidos en la señal ECG de ratones de laboratorio. [19]
3. Modelo de procesamiento digital de señales cardiacas desarrollado en Matlab. [17]
4. Extracción de eventos en electrocardiograma mediante el procesamiento de señales, utilizando el algoritmo MTEO. [16]
5. Desarrollo de Software y Adecuación de Hardware para Adquisición y Procesamiento de Señales Electrocardiográficas y Vectocardiográficas. [15]
6. Módulo de Procesamiento de Señales Electrocardiográficas para un Sistema de Tele-monitoreo Vía Internet. [14]
7. Sistema para la adquisición y procesamiento de señales de ecg sobre Windows. [13]

8. Procesamiento del Electrocardiograma para la Detección de Cardiopatías. [12]
9. Desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de señales. [11]
10. Generar la señal ECG por transformada de Fourier. [10]

En el presente trabajo, hace el procesamiento de una señal eléctrica del corazón. Capturada mediante el sensor AD8232. Para llevar a cabo este procesamiento, se utilizan ciclos *for* y estructuras condicionales *if*. Estas líneas de código son fundamentales para que el procesamiento se realice de manera efectiva. Además, el sistema cuenta con una interfaz programada que permite la visualización de los datos por parte del usuario final. También se incluye un botón de pausa que facilita la interacción directa con la señal y sus resultados.

II. METODOLOGIA

Diseño del sistema

Como ya se mencionó, el electrocardiograma es una señal que representa movimientos eléctricos del corazón, su función es el bombeo de sangre a todo el cuerpo para poner en circulación todos los nutrientes. En este sentido, a continuación, se presenta en la Figura 2, el diagrama de bloques que resume el diseño y funcionamiento del sistema electrónico propuesto en este trabajo.

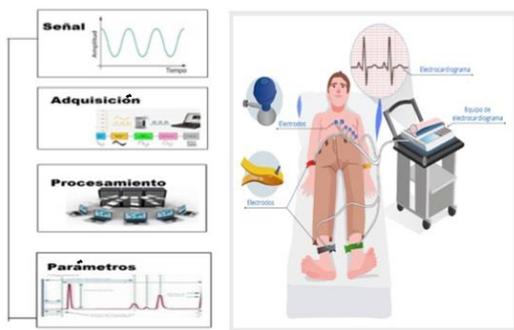


Fig. 2. Diagrama de bloques.

Se describe el objetivo que debe de cumplir cada uno de los bloques indicados en la Figura 2, los cuales representan de manera resumida la integración y operación del sistema propuesto.

1. **Señal:** En este bloque se utiliza un sensor del tipo analógico AD8232, el cual permite la obtención de la señal ECG para su lectura por parte de la etapa de adquisición.
2. **Adquisición:** En esta etapa se recopila información del entorno, es decir que la señal eléctrica detectada se representa en el registro con una onda positiva respecto a la línea de base cuando se acerque a un electrodo y con una onda negativa cuando se aleje de él. [11], [1]

3. **Procesamiento:** En esta etapa se implementa el algoritmo que permite detectar la amplitud y duración de las ondas P, QRS y T.
4. **Parámetros:** Una vez detectadas las ondas P, QRS y T, se procede a medir su amplitud y duración.

Etapa de Señal

En la Figura 3, se muestra la integración de los principales componentes de la etapa de señal.

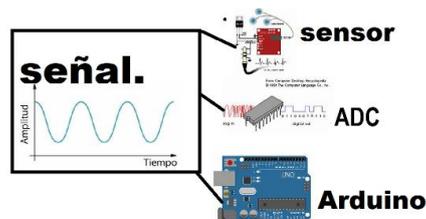


Fig. 3. Bloque señal.

La señal de ECG se origina en el nodo sinusal del corazón, dónde se genera un impulso eléctrico que se propaga a través de las distintas estructuras cardiacas, este impulso eléctrico produce cambios de voltaje que se pueden medir en diferentes puntos del cuerpo utilizando electrodos. El sensor se coloca estratégicamente para capturar cambios de voltaje y convertirlos en una señal eléctrica analógica. [2]

Sensor: El sensor AD8232 funciona como un amplificador de instrumentación diseñado para señales ECG, su configuración y filtros internos permiten la captura de la señal minimizando las interferencias y ruido.

Convertor analógico digital (ADC): Este es un componente crucial y se utiliza para convertir una señal analógica en una señal digital. Su función es tomar una entrada analógica continua y representarla en valores digitales para su procesamiento.

Arduino: Arduino trabaja de manera integrada con el AD8232 para adquirir y procesar la señal de ECG, esto implica una conexión física entre Arduino y AD8232. Las configuraciones de los pines y la señal a utilizar se hacen en el Código de Arduino, el programa debe inicializar el AD8232 y debe utilizar funciones de lectura analógica.

Etapa de adquisición

En la Figura 4, se muestra la integración de los principales componentes de la etapa de adquisición; como se observa, se tienen tres principales procesos que se procederán a detallar.

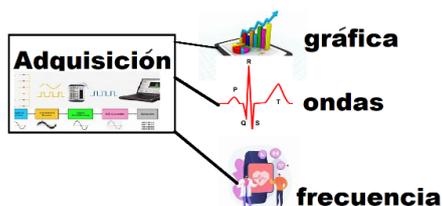


Fig. 4. Bloque de adquisición.

Una vez establecida la configuración adecuada y que se ha implementado la adquisición de la señal Arduino, se pueden procesar los valores obtenidos y realizar análisis adicionales. La adquisición de la señal ECG utilizando Arduino y el sensor AD8232 permiten obtener una representación digital de la actividad eléctrica del corazón, esto proporciona la base para el procesamiento, análisis y visualización de la señal facilitando el monitoreo.

Gráfica: Una razón importante para ver una gráfica de electrocardiograma es para la detección y seguimiento de eventos cardiacos o intermitentes. Algunas afecciones pueden no manifestarse de manera continua.

Ondas: Cuando Arduino trabaja con el AD8232 para adquirir y procesar la señal de ECG se identifican diferentes ondas características dentro de la señal ECG. Estas ondas son componentes importantes que representan diferentes eventos eléctricos en el ciclo cardiaco, algunas de las ondas más relevantes que se pueden detectar y analizar son las siguientes: Onda P, complejo QRS y onda T.

Frecuencia cardiaca: La frecuencia cardiaca es el número de veces que el corazón late en un minuto, es decir, la cantidad de veces que el corazón se contrae y se relaja en un periodo de 60 segundos, la cual puede variar según diferentes factores, como la edad, el nivel de actividad física y salud en general. En promedio la frecuencia cardiaca en reposo para adultos sanos oscila entre 60 y 100 latidos por minuto.

Etapa de procesamiento

Arduino realiza el procesamiento de la señal ECG mediante diferentes etapas para detectar y analizar las ondas P, QRS y T, así como para calcular parámetros importantes como la amplitud de cada onda y sus respectivos tiempos de duración de cada una.

En la Figura 5, se muestra la etapa de procesamiento, donde se observan dos principales módulos los cuales se procederán a detallar.

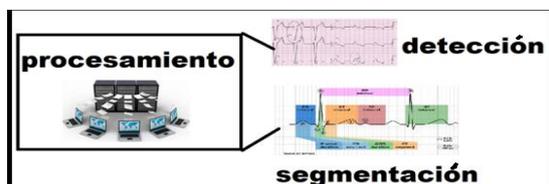


Fig. 5. Bloque de procesamiento.

Detección: Para detectar las ondas en la señal se realiza un procesamiento basado en una media móvil, esta se calcula para tres regiones de la señal correspondiente a P, QRS y T; y

luego se comparan con el umbral de cada una. Si el valor supera el umbral y ha pasado el tiempo mínimo desde la última detección se registra una detección de la onda correspondiente.

Segmentación y delimitación: Se refiere al proceso de identificar y delimitar las diferentes partes de la señal ECG, específicamente las ondas P, QRS y T. La segmentación se realiza utilizando una técnica de media móvil para calcular promedios de las regiones a cada onda, la delimitación ocurre cuando se detecta que el valor actual de la señal supera un umbral específico. [9]

Etapa de parámetros

En la Figura 6, se observa la etapa de parámetros donde se observan dos principales características a detectar y procesar para la toma de decisión final

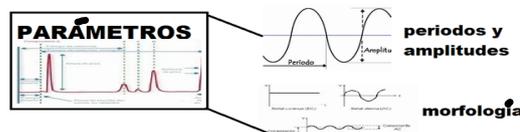


Fig. 6. Bloque de Parámetros.

Periodos y amplitudes: Los periodos y amplitudes de una señal de ECG son elementos fundamentales para evaluar la actividad eléctrica del corazón. Cada periodo y amplitud en el ECG tiene un significado específico el cual proporciona información sobre el funcionamiento y salud del corazón. [1]

Morfología de la señal: La morfología de la señal eléctrica del corazón se refiere a la forma y características de la señal capturada. Esto permite identificar alteraciones eléctricas del corazón, seguimiento de respuesta de un tratamiento, detección de problemas cardiacos en personas asintomáticas, entre otras.

Una vez planteado el objetivo de cada bloque y su funcionamiento, se mostrará a continuación parte de los códigos que justifican los bloques antes mencionados.

Descripción del pseudocódigo utilizado para la lógica del programa

```

Configurar Pin Analógico(A0)
Lectura de la señal
ecgValue = Leer Valor Analógico(A0)
Almacenar En Buffer (ecgValue)

Procesamiento de la onda P
Calcular Media P ()
Si (Se Detecta Onda P (ecgValue, pAverage)) Entonces
    Mostrar Resultado Onda P (ecgValue, pAverage)
Fin Si
    
```

Variables Globales:

- ecgBufferSize: Tamaño del búfer para almacenar la señal ECG
- sampleRate: Frecuencia de muestreo de la señal en Hertz
- pWidth, qrsWidth, tWidth: Ancho esperado de las ondas P, QRS y T
- pThreshold, qrsThreshold, tThreshold: Umbrales para detectar las ondas P, QRS y T
- lastP, lastQRS, lastT: Almacenan los tiempos de las últimas detecciones de estas ondas

Función Calcular Media P ():

```

pSum = 0
Para i = ecgIndex - pWidth - qrsWidth - tWidth - pWidth Hasta ecgIndex - pWidth - qrsWidth - tWidth Hacer
    pSum = pSum + ecgBuffer
Fin Para
pAverage = pSum / pWidth
    
```

Función Se Detecta Onda P (ecgValue, pAverage):

```

Si (ecgValue > pAverage + pThreshold) Y (Ha Pasado Tiempo Suficiente Desde Ultima Detección (lastP)) Entonces
    Retornar Verdadero
Si no
    Retornar Falso
Fin Si
    
```

Función Ha Pasado Tiempo Suficiente Desde Ultima Detección (last Detection Time):

```

Si (Obtener Tiempo Actual () - last Detection Time > 200 ms) Entonces
    Retornar Verdadero
Sino
    Retornar Falso
Fin Si
    
```

Función Mostrar Resultado Onda P (ecgValue, pAverage):

```

lastP = Obtener Tiempo Actual ()
pAmplitude = ecgValue - pAverage
pPeriod = lastP - lastT
pPeriodInSeconds = pPeriod / 1000.0
Imprimir ("Onda P detectada")
Imprimir ("Amplitud de la onda P: ", pAmplitude, " mV")
Imprimir ("Periodo de la onda P: ", pPeriodInSeconds, " s")
    
```

El proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de lectura y procesamiento de señales eléctricas del corazón utilizando Arduino uno, el sensor AD8232 y una pantalla LCD 20X04. El sensor es fundamental para capturar y amplificar la señal, Arduino procesa y analiza los datos. El sistema permite la detección de las ondas P, QRS y T. Los resultados se visualizan en la pantalla LCD, lo que permite supervisar la actividad eléctrica del corazón. En la Figura 8, se muestra el circuito final que se integró para la detección de las señales eléctricas del corazón.



Fig. 8. Integración del circuito eléctrico utilizado para la detección de las señales eléctricas del corazón.

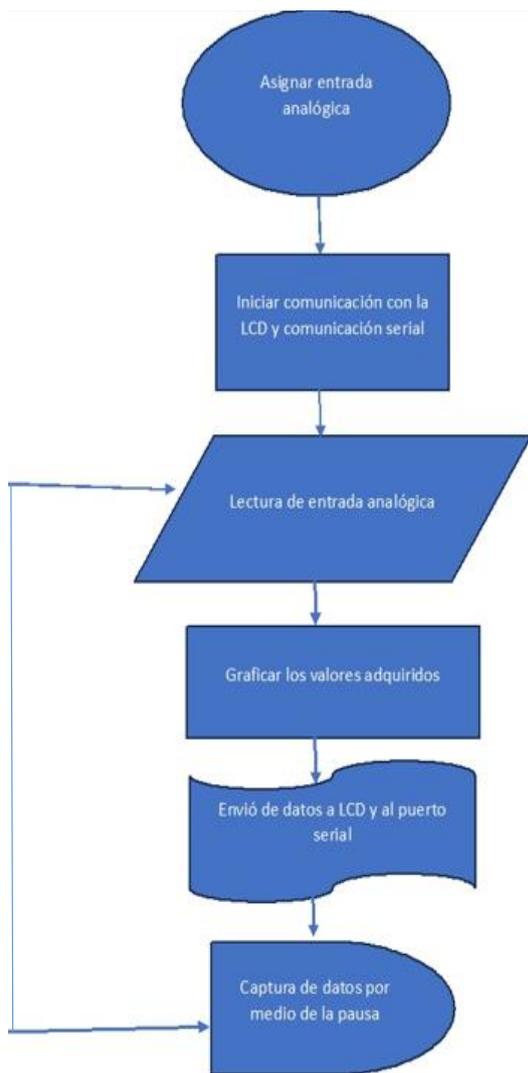


Fig. 7. Diagrama de flujo para captura de datos por medio de la pausa.

III. RESULTADOS

A continuación, se describen una serie de pasos que debe seguirse para colocar los electrodos del sistema propuesto y puesta en marcha del sistema; es importante informar al paciente sobre la técnica que se le va a realizar, acerca de su sencillez, que es indolora y no invasiva. La habitación deberá estar a temperatura agradable pues el temblor muscular podría interferir en la señal eléctrica. Además, hay que indicar al paciente que se desnude el torso y se desprenda de los objetos metálicos para evitar interferencias.

Colocación de los electrodos

1.- Limpiar la piel, y si fuera necesario, rasurar el vello de las zonas donde van a ser colocados los electrodos para asegurar una correcta adhesión. También utilizar un material conductor tipo gel o fluido para favorecer la transmisión de la señal.

2.- Colocar los electrodos de manera correcta, uno del lado izquierdo del pecho, otro del lado derecho del pecho y el otro en la parte baja del abdomen inferior derecha como se muestra en la Figura 10. Conectando adecuadamente los electrodos en la piel se recogerán los impulsos eléctricos generados por el corazón y los transmitirá al microcontrolador.

3.- Una vez colocados los electrodos el sistema debe ser energizado con 12 volts y 500 miliamperios de corriente directa como máximo. Para este caso se utiliza un puerto USB de la computadora para alimentar el sistema.

4.- Cuando se tenga el sistema energizado se debe seleccionar del IDE de Arduino la pestaña de herramientas, seguido seleccionar *serial plotter*, es importante seleccionar la velocidad de 115200 baudios, con eso será posible visualizar la gráfica.

5.- Cuando se tenga la forma de onda esperada en el serial plotter del IDE de Arduino, es posible utilizar el botón de pausa para visualizar a detalle la morfología de la gráfica y los datos que la construyen, donde estos últimos serán vistos en la LCD.

Funcionalidad de pausa

Se implementó un botón de pausa para detener temporalmente la adquisición y visualización de la señal ECG como se observa en la Figura 12. Esto permite al usuario final pausar la lectura para un análisis de funcionalidad y de utilidad, si la forma de onda no es adecuada, se vuelve a reanudar la captura.

Resultados de adquisición

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos a partir de la adquisición y procesamiento de la señal eléctrica del corazón utilizando el sistema propuesto basado en el sensor AD8232 trabajando en conjunto con Arduino uno, los principales hallazgos incluyen:

- Detección de ondas: el sistema demostró tener la capacidad para detectar las ondas que construyen el ECG, lo que permite tener un monitoreo correcto.
- Amplitud y periodo de las ondas: Se registraron las amplitudes y los periodos de las ondas P, QRS y T detectadas, lo que proporciona información valiosa en la actividad eléctrica del corazón. Los datos

obtenidos se muestran en la Tabla 1, la cual detalla las amplitudes y los lapsos de tiempo.

Estos hallazgos respaldan la utilidad del sistema, lo que puede tener un impacto positivo en la atención y detección de anomalías. En la Figura 9, se muestra una captura de pantalla de la adquisición y visualización de las ondas P, QRS y T.

Resultados de procesamiento

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir del procesamiento realizado por Arduino para detectar y analizar las ondas P, QRS y T, Ver Figura 9. [13]

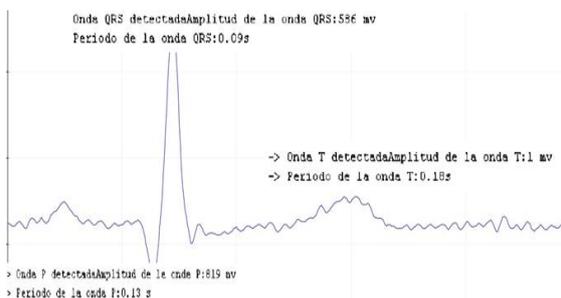


Fig. 9. Amplitudes y tiempos de duración de las ondas.

Detección de las ondas con sus amplitudes y tiempos de duración: Se observó que el algoritmo detectó correctamente la onda P en la señal ECG, lo que sugiere una representación de la despolarización de las aurículas. La amplitud media de la onda P fue de 1,763 milivolts y el periodo promedio fue de 0.10 segundos. [18], [19]

El algoritmo desarrollado detectó el complejo QRS lo que indica una identificación de la despolarización de los ventrículos. La amplitud media del complejo QRS fue de 9,151 milivolts y el periodo promedio fue de 0.18 segundos. El algoritmo detectó correctamente la onda T representando la repolarización de los ventrículos. La amplitud promedio de la onda T fue de 803 milivolts y el periodo promedio de 0.12 segundos, como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Detección de ondas con amplitudes y tiempos de duración.

Resultados desplegados hacia usuario final

En esta sección se presentan los resultados que se

Señal	Milivolts	Duración
Onda P	1,763 milivolts	0.10 Segundos
Complejo QRS	9,151 milivolts	0.18 Segundos
Onda T	803 milivolts	0.12 Segundos

muestran al usuario final a través de la pantalla LCD 20X04, como son interpretados y utilizados para el monitoreo y análisis de la actividad eléctrica del corazón. Donde primero debe estar conectado el sensor al Arduino y este debe ir

conectado a la computadora junto con los electrodos. Ver Figura 10.

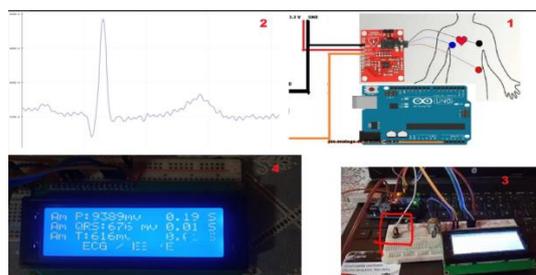


Fig. 10. Interfaz de usuario a través de una pantalla LCD 20X04.

Visualización de ondas

Los valores de las ondas P, QRS y T se visualizaron en la pantalla LCD 20X04 como se muestra en la Figura 11, lo que permite al usuario final ver la actividad eléctrica del corazón en una representación gráfica. Se implementó un sistema de etiquetas y valores para facilitar la interpretación de las ondas.

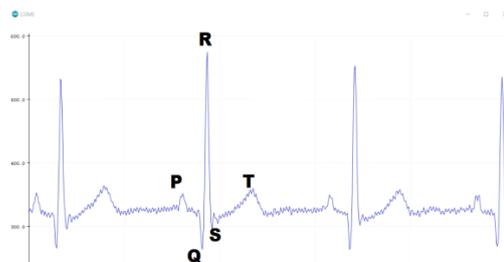


Fig. 11. Visualización gráfica de ondas.

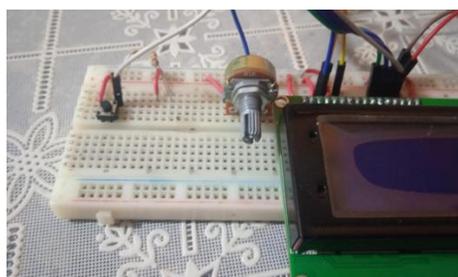


Fig. 12. Funcionalidad de pausa.

Interpretación de los resultados

Se proporcionaron etiquetas y valores junto a las ondas cardíacas en la pantalla LCD, lo que facilitó la interpretación de los resultados por parte del usuario final; incluso si no tenían un conocimiento profundo sobre la actividad eléctrica del corazón.

VI.CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema es capaz de adquirir y procesar una señal eléctrica del corazón mediante un microcontrolador, la adquisición se realizó a través de la programación de un algoritmo en Arduino uno. Para una facilidad de uso hacia el usuario final, se desarrolló una interfaz que permite visualizar los datos en una pantalla LCD. Para la parte gráfica, se empleó el entorno de desarrollo integrado de Arduino en una computadora con el fin de evitar sobrecargar los recursos del microcontrolador. La combinación de estos componentes permite una interacción directa con el usuario.

Los resultados obtenidos por el sistema propuesto confirman su capacidad para detectar las ondas que conforman el ECG, lo que facilita la supervisión de la señal. Además, se logró registrar las amplitudes y los intervalos de tiempo de las ondas P, QRS y T, lo cual ofrece información sobre la actividad eléctrica del corazón. El sistema puede mejorarse significativamente cambiando el microcontrolador por un procesador, el más adecuado sería una computadora de placa reducida Raspberry Pi 4. Este procesador utiliza un sistema operativo de Linux, el cual es más adecuado para trabajar con este tipo de señales y mejorar el procesamiento de la señal, su programación permite interactuar con sus pines digitales y protocolos de comunicación necesarios para lectura, adquisición y procesamiento. [11]

REFERENCIAS

- [1] L. Azcona. "Libro de la salud cardiovascular. Fundación BBVA. Pp. 49-56. 2009.
- [2] R. Cortés F., C. Monjaraz J, "ARDUINO-Aplicaciones en Robótica, Mecatrónica e Ingenierías", Alfaomega. Pp. 156-158. 2015.
- [3] Robert J, P. Raspberry pi LCD projects.15-21. 2013.
- [4] W. J.S. "Sensor Technology Handbook". Pp. 26,45,92,164,155. 2004.
- [5] D. Tenorio, "Generación de Señales ECG con Funciones de Fourier en un Microcontrolador de Arquitectura Arm32", Rev.C. L. I. Pp. 10-13. Abril 2023.
- [6] S. Hurtado Requena. "Diseño y montaje de un simulador" ECG. Universidad de Málaga. Pp. 10-24. 2017.
- [7] Martínez Gustavo. *Generador Portable de Señales Electrocardiográficas para Prueba Funcional en Monitores de Signos Vitales*. Instituto Mexicano del Seguro Social. Pp. 25-33. 2011.
- [8] J. C.Vergara Gil. "Desarrollo de un Simulador de Electrocardiografía con Propósito Académico". Universidad Autónoma de Occidente Santiago de Cali. Pp. 55-60. 2019.
- [9] W. Uribe Arango, M. Duque Ramírez, E. Medina Durango. "Electrocardiografía y Arritmias". Pp. 33-38. 2005.
- [10] A. ochoa, M. maciel, F. estrada, C. díaz, R. félix, J. álvarez. "Sistema de adquisición y procesamiento de señales electrocardiograficas" sistemas, cibernética e informática. Mexico, COL. 2010. Pp. 10-14.
- [11] C. Vidal Silva1, L. Pavesi Farriol. "Desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de señales electrocardiográficas". Rev. Fac. Ing.- Univ. Tarapaca, vol.13 no.1. Pp. 40-45. 2005.
- [12] C. E. Rose Gómez, M. T. S. Encinas González. Procesamiento del Electrocardiograma para la Detección de Cardiopatías. Mexico Sonora.
- [13] A. rodríguez, G. rodríguez, R.gonzález. "sistema para la adquisición y procesamiento de señales de ecg sobre windows". Memorias V congreso de la sociedad cubana de Bioingeniería. Habana, 2003. Pp. 1-4.
- [14] J. Schneider, M. Escalante, M. Díaz, "Módulo de Procesamiento de Señales Electrocardiográficas para un Sistema de Tele-monitoreo Vía Internet", M.S , Univ. Simón Bol. Caracas.
- [15] D. R. Salatino, A. Puglesi, M. S. Bernasconi. "Desarrollo de Software y Adecuación de Hardware para Adquisición y Procesamiento de Señales Electrocardiográficas y Vectocardiográficas", M.S, Fac. Ing. Univ. De cuyo, Arg.
- [16] L. Gómez Rivera, M. M. Labastida Roldán. "Extracción de eventos en electrocardiograma mediante el procesamiento de señales, utilizando el algoritmo MTEO", Research in Computing Science, Mexico, Tlax, 2020, pp. 137-142.
- [17] K. Rojas, C. Romero, P. Romero. " Modelo de procesamiento digital de señales cardiacas desarrollado en matlab", *Télématique*, vol. 12, no. 2, pp. 21-35, julio-diciembre, 2013.
- [18] C. Rodríguez Díaz, M. A. Gurrola Navarro, R. del Carmen Romo Vázquez "Detección de Ondas QRS del ECG usando la transformada de Wavelet Analógica", Pistas Educativas, no. 108, pp. 1290-1300, Octubre 2014.
- [19] H. A. Kairuiz, D. Dominguez, M. A. Mendoza. "Detección de latidos en la señal ECG de ratones de laboratorio", M.S, Univ. Cent. Villas, Cuba.