

Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

Portable electrocardiograph for people with heart conditions

Julio A. Monzalve¹, Víctor F. Núñez², Darío I. Zapata³, Byron P. Corrales⁴, Luigi O. Freire⁵

RESUMEN:

En los últimos años las enfermedades cardiacas han incrementado de forma progresiva, en la actualidad los equipos de monitoreo médico se orientan a sistemas portátiles los cuales ayudan a prevenir ciertas afecciones cardíacas y con esto hasta la muerte, llevando así a un riguroso monitoreo, análisis y control remoto de los signos vitales verificando si estos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el médico. El presente trabajo muestra el diseño y construcción de un sistema portable que integra la adquisición de la señal de electrocardiograma (ECG) en tiempo real por medio de un módulo que amplifica las señales para procesarlas en un microcontrolador, llegando a presentar su frecuencia cardiaca, y su información en una pantalla Oled, al procesar la información y tener alguna anomalía en el sistema este emitirá mediante un módulo GSM un mensaje de texto a un familiar o centro ambulatorio con la posible enfermedad e información del paciente para ser oportunamente atendido brindándoles un apoyo inmediato. Además, el dispositivo cuenta con conexión a computador para monitorear el ritmo cardíaco y tener así una imagen en tiempo real del comportamiento del corazón. Del análisis se ha determinado que el sistema presenta una efectividad de alrededor del 90%.

Palabras claves: ECG, sistema portable, microcontrolador, monitoreo.

ABSTRACT:

In recent years, cardiac diseases have increased progressively, currently the medical monitoring equipment is oriented to portable systems which help prevent certain heart conditions and with this even death, thus leading to a rigorous monitoring, analysis and remote control of vital signs verifying whether these are within the parameters set by the doctor. The present work shows the design and construction of a portable system that integrates the acquisition of the electrocardiogram (ECG) signal in real time by means of a module that amplifies the signals to process them in a microcontroller, presenting the heart rate and its information on an Oled screen. When the information is processed and there is any abnormality in the system, the GSM module will send a text message to a relative or ambulatory centre with the possible illness and information about the patient to be attended in a timely manner, providing them with immediate support. In addition, the device has a computer connection to

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec

monitor the heart rhythm and thus have a real-time image of the behaviour of the heart. From the analysis it has been determined that the system has an effectiveness of around 90 %.

Keywords: *ECG, portable system, microcontroller, monitoring.*

Recibido 12 de marzo de 2021; revisión aceptada 13 de mayo de 2021

1. INTRODUCCIÓN

El electrocardiograma (ECG) está compuesto de una señal fisiológica indispensable del cuerpo humano, la cual contiene mucha información sobre el sistema patológico de la persona y en este caso del corazón, mostrando la estructura cardiaca y cardiovascular, con esto la información patológica y fisiológica.

La señal del corazón o ECG es una señal inestable que sale de un organismo vivo teniendo diferentes valores y rangos según el estado de la persona, siendo una señal débil es susceptible a interferencias del entorno externo y del cuerpo humano [1].

En monitoreo del ECG se incluye adquisición de señales, acondicionado a estos filtros analógicos, conversores AD los cuales están incorporados en el módulo de recepción y amplificación de señales, también consta de filtros digitales visualización dinámica del ECG y alerta de posibles enfermedades como: taquicardia, taquicardia sinusal, bradicardia, taquicardia paróxica, aleteo, fibrilación y paro cardiaco. El valor pico a pico de la señal ECG es aproximadamente de 1 mV [2], esto conlleva a que la adquisición de señales sea susceptible factores externos como la radiación electromagnética, la interferencia de la frecuencia de alimentación, la desviación de la línea de base del extremo frontal analógico, y la influencia de la interferencia del cuerpo humano. Los requisitos para los sensores y módulos de adquisición de señales son relativamente altos al recopilar señales ECG.

Las enfermedades cardiacas se han convertido en una de las más frecuentes en nuestros países de América del Sur, en nuestro país en un censo realizado en el año 2016 el porcentaje de mortalidad por afecciones cardiacas es del 16,5 % [3] , por ende, en nuestro país y en el mundo poniendo en peligro la vida y salud del ser humano.

Por tanto, esta investigación del diagnóstico de enfermedades y monitoreo del ECG basada en nuevos dispositivos y tecnologías se han convertido en uno de los puntos más importantes de la biomedicina y medicina, ya que un dispositivo convencional de ECG consta de un monitor o computador que no son inalámbricos convirtiéndose en voluminosos con esto elevando sus costos y no accesibles para personas que necesitan un monitoreo constante durante las 24 horas. En los últimos años las nuevas tecnologías han evidenciado el aumento de nuevos dispositivos portátiles haciendo de estos de gran importancia para la salud y bienestar del ser humano.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec

Objetivo

Diseñar un electrocardiógrafo portable para la detección y control de pacientes con problemas cardíacos, mediante el uso de dispositivos electrónicos, el cual garantice la emisión de señales de emergencia, en el caso de que se suscite.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo y diseño del proyecto se tomaron en cuentas las siguientes actividades:

- Estudio del sistema eléctrico del corazón
- Detección de enfermedades en el sistema cardiaco
- Formas de adquisición, ampliación y adecuación de señales
- Minimización de ruido.
- Acondicionamiento de señales.
- Procesamiento de señal adquirida.

Adquisición, Transmisión, parámetros, presentación, envío.

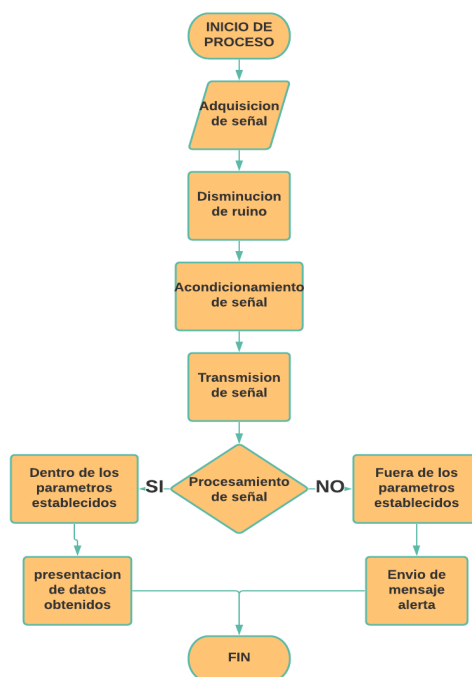


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema ECG.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

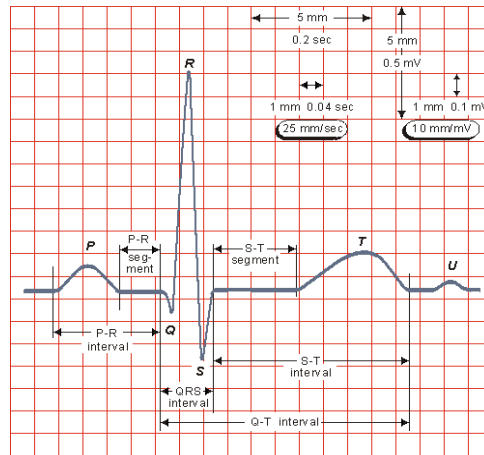


Figura 2. Señales de ECG (Electrocardiógrafo).

El corazón depende de descargas eléctricas controladas y ordenadas realizando la función de absorber y expulsar sangre realizando contracciones (sístole) y relajaciones (diástole) [3]. Este órgano empieza la descarga eléctrica en el nódulo aurículo ventricular dando comienzo a un fenómeno que se puede representar por ondas, las que se propusieron por Einthoven como las ondas de un electrocardiograma que son: onda P, Q, R, S, T y U [3]; las que forman los latidos del corazón y proporcionan información real y específica del estado y funcionamiento dando un registro eléctrico de la actividad del órgano. [4]

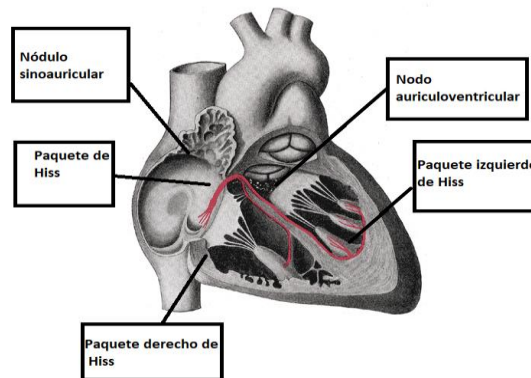


Figura 3. Diagrama eléctrico del corazón.

A. *Detección de enfermedades en el sistema cardiaco*

1. TRASTORNOS DEL RITMO CARDIACO

Se toma en cuenta algunas alteraciones del ritmo cardiaco o arritmias, producido por alteraciones en los latidos del corazón de una manera rápida, lenta o anormal. Estos pueden ser: Taquicardia, bradicardia, arritmia sinusal.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec

Revisar el formato de los márgenes en este párrafo está muy a la izquierda

1.1.Taquicardia: También conocida como frecuencia cardiaca rápida se determina cuando supera los 100 latidos/min en personas adultas. Algunas causas y efectos de la taquicardia es el aumento de la temperatura corporal (fiebre) y enfermedades tóxicas del corazón, la frecuencia cardiaca aumenta aproximadamente 18latidos/min por cada grado Celsius. [5]



Figura 4. Taquicardia.

1.2.Bradicardia: Conocida como frecuencia cardiaca lenta se define como menos de 60 latidos/min. La estimulación vagal causa bradicardia debido a que produce la liberación de acetilcolina en las terminaciones vagales del corazón, produciendo efectos tan potentes que incluso puede parar el corazón durante 5 a 10s. [6]

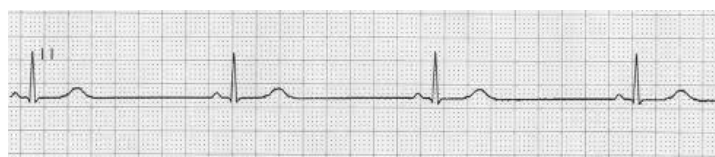


Figura 5. Bradicardia.

1.3.Arritmia Sinusal: Se puede producir por diversas enfermedades circulatorias que afectan principalmente a la intensidad de las señales de los nervios simpáticos y parasimpáticos que llegan al nódulo sinusal del corazón, basados en la respiración del paciente las señales de rebosamiento aumentan o disminuyen el número de impulsos que se transmiten a través de los nervios simpáticos y vagos del corazón [7].

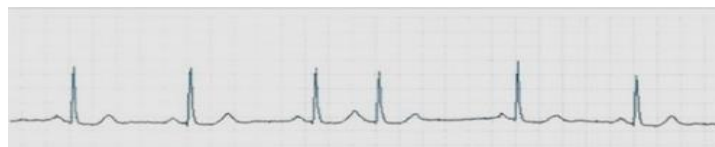


Figura 6. Arritmia Sinusal.

B. *Adquisición, ampliación y adecuación de señales*

La obtención de señales bioeléctricas se realiza con la ayuda de electrodos que se colocan en la parte del tórax del cuerpo la cual tiene una configuración tipo bipolar con derivación: I, II, III.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

Derivación I: Obtiene el voltaje desde el brazo derecho polo negativo hasta el brazo izquierdo polo positivo y mira el corazón desde el lado Izquierdo.

Derivación II: Obtiene el voltaje desde el brazo derecho polo negativo hasta la pierna izquierda polo positivo y mira el corazón desde la vista inferior Izquierda.

Derivación III: Obtiene el potencial eléctrico desde el brazo Izquierdo polo negativo hasta la pierna izquierda polo positivo y mira el corazón desde la vista inferior derecho.

Esta configuración ayuda a tener referencias de las ondas eléctricas del corazón para poder ser leídas por el amplificador de instrumentación AD8232 [6], el cual es diseñado especialmente para aplicaciones médicas, siendo utilizado para amplificar a un voltaje fácil de monitorear ya que estas señales eléctricas llegan a un voltaje máximo de 1mV, siendo señales muy pequeñas son muy sensibles al ruido haciendo que el módulo conste de filtros electrónicos para eliminar este problema. El amplificador de instrumentación permite tener un amplificador de tensión, y las ganancias pueden ser establecidas de forma muy precisa, eliminando el requerimiento de tener iguales impedancias en cada entrada.

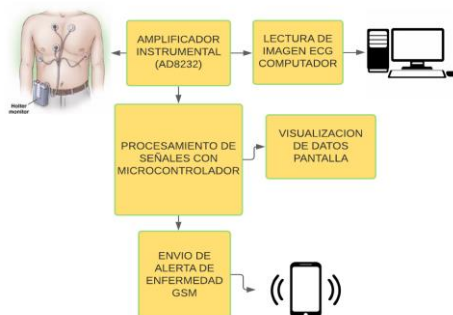


Figura 7. Monitoreo.

C. Minimización de ruido.

La frecuencia con la que trabaja y se obtiene del microcontrolador podemos encontrar señales parásitas o señales externas de ruido ya sea por la frecuencia de la fuente con la que se energiza, por el movimiento del paciente, por algún órgano interno de la persona o por un problema electromagnético en el sistema.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

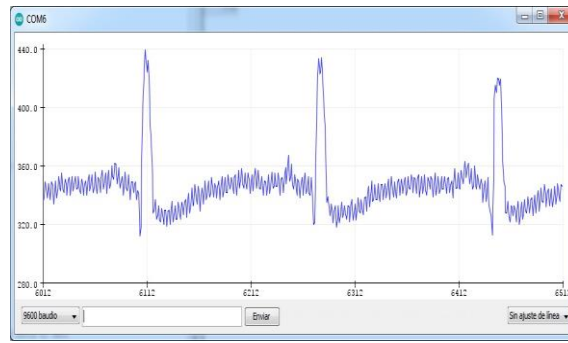


Figura 8. Recepción de Señal ECG con el Plotter del Arduino.

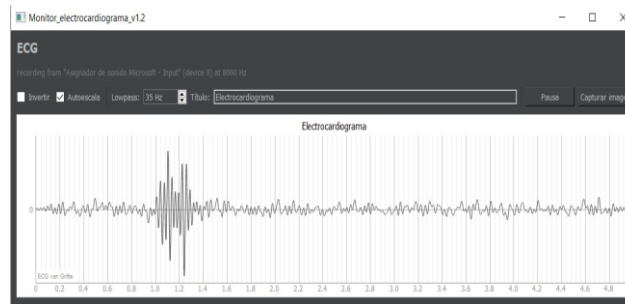


Figura 9. Recepción de Señal ECG con Phyton.

En la Figura 8 se muestra el ruido que se genera a la obtención de una señal no filtrada este ruido es ocasionado por la frecuencia de la fuente con la que se está trabajando y por algún órgano de la persona a la que se encuentra monitoreando.

Para la obtención de una gráfica real es necesario el diseño de filtros, los cuales permiten eliminar aquellas irregularidades los cuales dan resultados erróneos, por esta razón es necesario realizar filtros físicos y digitales como pasa bajo con una frecuencia de corte de 150 Hz, filtro pasa alto con frecuencia de 0,5 Hz[7].

Ecuación de diseño de filtros

$$R = \frac{1}{\pi f c C} \quad (1)$$

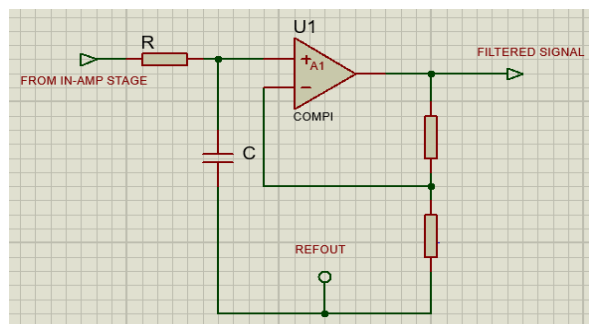


Figura 10. Filtro Pasa Abajo (150Hz)

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

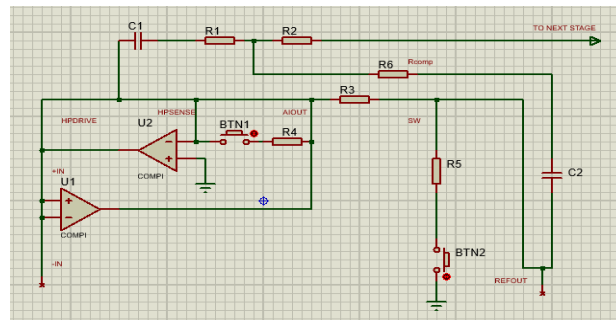


Figura 11. Filtro pasa alto (0,5Hz)

D. Minimización de ruido.

El convertidor ADC no hablar en primera persona permite transformar la señal recibida por el sistema analógico en niveles de tensión en los que puedan ser programados, los microcontroladores basados en Arduino poseen un conversor integrado ADC para los pines analógicos de la placa, en este proyecto se emplea el arduino UNO, este módulo posee 6 entradas analógicas. Las entradas analógicas del modelo Uno son las correspondientes a los pines de A0 a A5. Se caracterizan por leer valores de tensión de 0 a 5 Voltios con una resolución de 1024 (10 bits). Si dividimos 5 entre 1024 tenemos que ser capaz de detectar variaciones en el nivel de la señal de entrada de casi 5 mV. [8]



Figura 12. Adquisición de señal ECG con arduino Plotter.

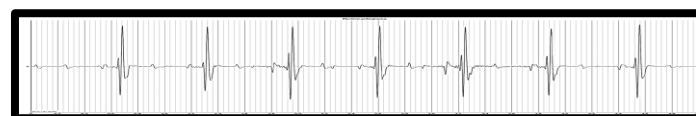


Figura 13. Adquisición de Señal ECG con Python.

E. Procesamiento de señal adquirida.

El monitoreo de las señales obtenidas por el sistema de monitoreo, son procesados y son representados en una pantalla Oled cada valor que va registrando el sistema conectado a un Arduino Uno, al igual que al ser conectado a un computador este también puede ser observado en una interfaz realizada en Python la cual permite ver la gráfica que forma los impulsos cardiacos de una persona como se muestra en la Figura 13, al ser procesados los datos obtenidos

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec

en el microcontrolador se puede determinar si la frecuencia cardiaca está dentro de los rangos establecidos se puede observar en la pantalla estos datos, a su vez si están fuera de los rangos permitidos este microcontrolador envía una señal a un módulo GSM el cual al estar conectado con un número telefónico envía un mensaje de texto indicando la afección cardiaca y los datos de la persona para alertar a un familiar o un centro ambulatorio.

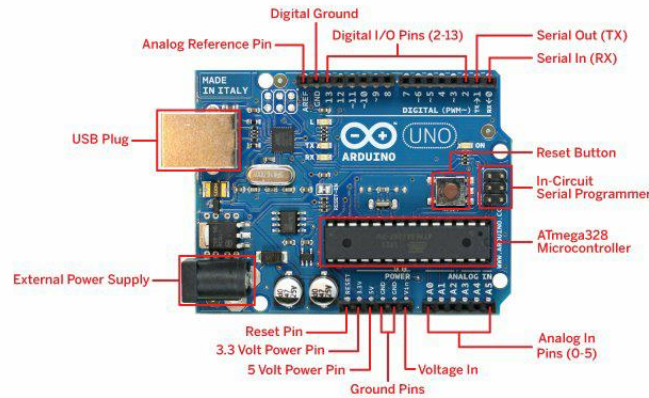


Figura 14. Microcontrolador Arduino UNO.



Figura 15. Modulo GSM para emisión de Alertas.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema que se desarrolló consta de dos partes indispensables:

- Recepción y amplificación de datos ECG
- Procesamiento y lectura de señales (Centro de Control)

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

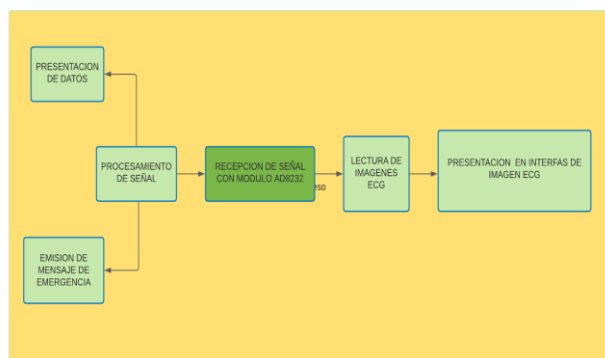


Figura 16. Sistema Desarrollado.

La figura 16 muestra el desarrollo y composición del sistema, donde la información del sistema cardiaco comienza en la colocación de los electrodos el cual pasa por el amplificador instrumental AD8232 el cual se encarga en aumentar la señal y frecuencia cardiaca, desde aquí ingresa al microcontrolador para procesar la señal la cual si está dentro de los parámetros establecidos la información se muestra en una pantalla ODEL, y si las señal está fuera del rango emite una señal al módulo GSM para que este pueda emitir una señal de alerta a un familiar o un centro ambulatorio.

En la segunda parte del sistema al pasar por el amplificador instrumental ingresa la señal por el puerto de audio del computador para que luego este por medio de una interfaz realizada en Python pueda ser observada y guardada en el computador con el nombre del paciente.

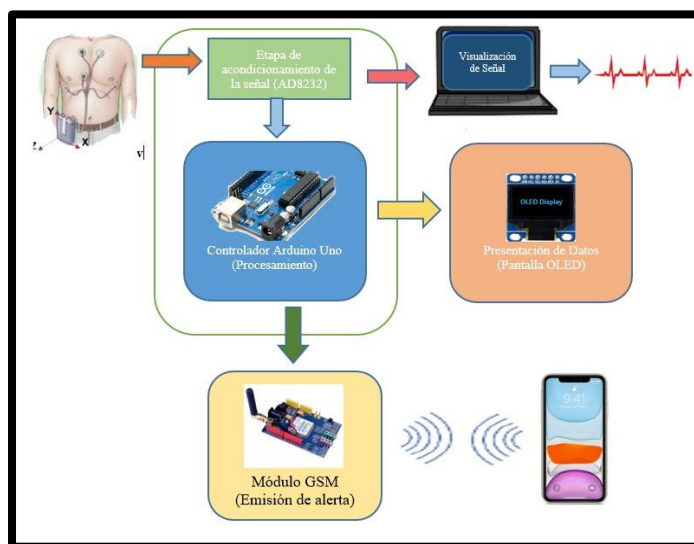


Figura 17. Esquema general de desarrollo.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

En la figura 17 se pueda observar el esquema general del dispositivo ilustrado con todo lo utilizado para su ejecución final, el cual tiene dos sistemas la lectura de datos y la gráfica del sistema ECG



Figura 18. Visualización de datos y gráfica.

En la Figura 18 se muestra la lectura en la pantalla OLED y en el computador la imagen del sistema cardiaco, indicándome la lectura en la que se encuentra mi pulso cardiaco.

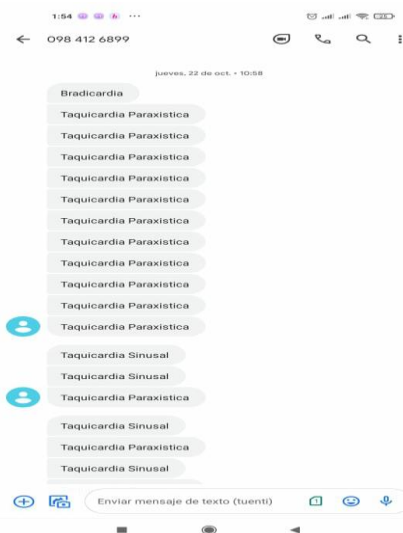


Figura 19. Recepción de mensaje de alerta.

En la figura 19 se visualiza el mensaje de alerta de la persona con afección cardiaca el cual indica la posible enfermedad con la que se encuentra este mensaje puede ser enviado a un familiar o centro ambulatorio.



Figura 20. Gráfica por interfaz de Python.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

Análisis general del funcionamiento

En las pruebas realizadas a un total de 80 personas en la ciudad de Latacunga Parroquia Eloy Alfaro entre edades de 50 a 65 años se tiene una respuesta aceptable del dispositivo el cual con los 80 resultados obtenidos analizamos 75 personas tuvieron un resultado favorable mientras que con 5 personas hubo errores en el mismo.



Figura 21. Estadística de Pruebas.

Mejorar la presentación del gráfico

En la figura 21 podemos observar el porcentaje de validez del dispositivo realizado el muestreo a mi población de 80 personas siendo este mi 100% obteniendo con ello 75 respuestas válidas sin errores dando un porcentaje del 94% y con 5 resultados erróneos en el dispositivo se obtiene un 6 % de error alcanzado.

En las comparaciones realizadas con un dispositivo que existe en el mercado podemos distinguir aspectos como:

- El dispositivo es de menor costo que los que existen en los mercados y más accesible para las personas.
- La precisión de la gráfica no es tan visible, pero si legible para un médico en comparación con un dispositivo que existe en el mercado.
- El dispositivo tiene un sistema de envío de mensajes de alerta para socorrer a la persona monitoreada en comparación con otros dispositivos que en su gran mayoría no contiene este sistema.
- El tamaño y la portabilidad del dispositivo es accesible para el paciente ya que se puede llevar a cualquier lugar y es de fácil colocación y en otros dispositivos no son portables.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas

4. CONCLUSIONES

- En la parte de medición de señales cardíacas del corazón se debe tener en cuenta la ubicación de cada una de las derivaciones dipolares D1, D2 y D3 ya que el AD8232 para generar la señal mide la diferencia de potencial en cada electrodo, tomando en referencia la ley de Einthoven, si la colocación es incorrecta el examen puede dar señales erróneas las cuales generarían un diagnóstico inadecuado.
- En la atenuación de señales parásitas al paso por el amplificador es de gran importancia, por lo mismo el módulo AD8232 se filtran las señales empleando los filtros pasa bajo y pasa alto con los que cuenta este amplificador de instrumentación, esto permite disminuir el ruido que van a generar distintos factores durante el examen. Se debe considerar que en la programación que se realice se debe tomar en cuenta filtros programables los que ayudan a la eliminación de señales parásitas en la salida del sistema.
- La creación del sistema de este tipo con señales muy débiles como las del corazón hacen que sean muy sensibles a señales parásitas las que influyen en la lectura de las mismas, estas señales se logran eliminar a través de filtros, esta vez utilizamos filtros digitales como el filtro Paso bajo, filtro FIR, el Butterworth, el media móvil hacienda que se pueda reducir en su mayoría las señales parásitas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Ademec, 'Dynamic ECG Analysis Manual' Peoples Medical Publishing House, Beijing, December 2012.
- [2] R. Boylestad, 'Theory of circuits and electronic de vices', México: Pearson Education, 2009.
- [3] «NodeMCU Documentation,» [En línea]. Available: [http://nodemcu.readthedocs.io/en/master/en/modules/adc/..](http://nodemcu.readthedocs.io/en/master/en/modules/adc/)
- [4] Y. Hall, 'Physiology Medicates', Madrid: Elsevier, 2014.
- [5] G. Hall, 'Fisiología Médica', Gea Consultoría, 2016, pp. 401-403.
- [6] «Devices Analog,» 28 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/data-sheets/AD8232.pdf>.
- [7] IEEE, «Draf Standard for Health informatics, » *IEEE*.
- [8] Devices, «Devices, farnell,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, julio.montalvo@utc.edu.ec
Electrocardiógrafo portable para personas con afecciones cardiacas