

DESIGN, CREATION AND APPLICATION OF AN ELECTROCARDIOGRAPH AS A STRATEGY TO MONITOR AND PREVENT THE PROGRESSION OF HEART-RELATED DISEASES IN THE POPULATION OF SAMAQUENSE

Ramírez Lina María
liinita.vargas@gmail.com

Sequera Sara Judith
sequeraruizsarajudith@gmail.com

Proyecto de grado Colegio Sagrado Corazón de Jesús, Samacá

Recibido. Marzo del 2022 Revisado. Mayo del 2022 Aceptado. Julio del 2022

Abstract.

In this document, the design and manufacture of a medical device are shown, which consists of a prototype that has some of the characteristics that electrocardiographs have for conventional tests. This with the objective of being applied to Samacá town, contributing to the health sector.

In order to verify its functioning, tests were carried out on a group of volunteers, who, in their clinical history, presented cardiac comorbidity and had a recent electrocardiogram examination. With the latter it was possible to carry out the analysis and the corresponding comparison.

The results obtained will allow a characterization of a sector of the population and, with it, the generation of a campaign that invites citizens to monitor this type of measures and to worry about the state of their health.

Keywords. Examination analysis, Heart, Device design, Electrocardiogram.

DISEÑO, CREACIÓN Y APLICACIÓN DE UN ELECTROCARDIÓGRAFO COMO ESTRATEGIA PARA MONITOREAR Y PREVENIR EL AVANCE DE ENFERMEDADES RELACIONADAS AL CORAZÓN EN LA POBLACIÓN SAMAQUENSE

Resumen.

En el presente documento se muestra el diseño y la elaboración de un dispositivo médico, que consiste en un prototipo que cuenta con algunas de las características que poseen los electrocardiógrafos para pruebas convencionales, con el objetivo de ser aplicado a la población, contribuyendo en el sector salud del municipio.

Con el objeto de comprobar su funcionamiento, se realizaron pruebas de funcionamiento en un grupo de voluntarios, quienes, en su historia clínica, además de presentar una comorbilidad cardíaca, cuentan con un examen de electrocardiograma reciente, con el cual fue posible realizar el análisis y la comparación correspondiente.

Los resultados obtenidos permitirán una caracterización de un sector de la población y con ello la generación de una campaña que invite a la ciudadanía a monitorear este tipo de medidas y a preocuparse por el estado de su salud.

Palabras clave. Análisis del examen, Corazón, Diseño del dispositivo, Electrocardiograma.

NOMENCLATURA

ECK/ECG – Electrocardiografía.

lpm – Latidos por minuto.

Mbps – Megabit por segundo.

Kbps – Kilobit por segundo.

INTRODUCCIÓN.

La mayor causa de defunción del mundo es la cardiopatía isquémica. Según la OMS, es responsable del 16% del total de muertes para el año 2019 [1]. Además, tal y como afirman especialistas, en el municipio de Samacá se presenta una alta incidencia en padecimientos relacionadas y, en los últimos años, se atribuyen como principal causa de mortalidad [2]. Por lo anterior, se da lugar al desarrollo de un dispositivo que permita la detección temprana de enfermedades, llegando a zonas alejadas y buscando beneficiar a la población del municipio.

En las diversas investigaciones analizadas, donde se diseñan y desarrollan dispositivos aplicados al sistema biomédico de electrocardiografía, es elegido el diseño que, además de permitir la amplificación gráfica de los impulsos eléctricos que emite el corazón, emplea una aplicación Android conectada a dispositivos que poseen la red inalámbrica Bluetooth y así visualizar estos datos en tiempo real.

El electrocardiograma llamado también ECG, es una de las técnicas de diagnóstico más utilizadas debido a que es una prueba sencilla que proporciona gran cantidad de datos a la hora del diagnóstico. Es por esto por lo que, al aplicarlo en un grupo de voluntarios de la comunidad samaquense, se obtuvieron datos, los cuales fueron analizados por métodos estadísticos.

MARCO TEÓRICO.

A continuación, se muestra cómo se organizaron las diferentes secciones del marco teórico. En el apartado A, B y C, se definen términos que comprenden la caracterización de la disciplina a la cual pertenece el proyecto, conceptos relevantes y consideraciones que sustentan y permiten interpretar la investigación. En el apartado D, se define el funcionamiento técnico que cumple el dispositivo y el proceso general que se requiere para llevar a cabo un examen exitoso. En el apartado E, se mencionan algunas de las afecciones médicas que pueden ser detectadas con un examen de ECG y de qué trata cada una de ellas. Por último, el apartado F contiene la especificación de cada uno de los componentes electrónicos requeridos en el desarrollo del dispositivo.

a. CORAZÓN [3]

El corazón es un órgano muscular hueco localizado en el tórax por detrás del esternón y delante del esófago, la aorta y la columna vertebral. A ambos lados de él están los pulmones. El corazón descansa sobre el diafragma, músculo que separa las cavidades torácica y abdominal. Se encuentra dentro de una bolsa denominada pericardio. La bolsa pericárdica tiene dos hojas: una interna sobre la superficie cardíaca y otra externa que está fijada a los grandes vasos que salen del corazón. Entre ambas hojas existe una escasa cantidad de líquido para evitar su roce cuando late. La superficie más externa del pericardio está fijada a las estructuras próximas mediante ligamentos. Así, está unido por éstos al diafragma, la columna vertebral y la pleura de ambos pulmones.

- MORFOLOGÍA EXTERNA

El corazón tiene forma de cono invertido con la punta (ápex) dirigida hacia la izquierda. En la parte inferior o base se encuentran los vasos sanguíneos; los cuales cumplen la función de transportar la sangre en todo el cuerpo. Los vasos sanguíneos encargados de llevar la sangre al corazón se denominan venas y los encargados de sacarla, arterias. Las venas cavas, recogen la sangre y la lleva hasta la aurícula derecha, y las venas pulmonares transportan sangre oxigenada hasta desembocar en la aurícula izquierda del corazón.

En la superficie cardiaca está presente la grasa por la que avanzan tanto venas como arterias que irrigan el corazón, es decir, arterias coronarias que llevan sangre al músculo cardiaco y venas coronarias que la sacan.

El peso del corazón varía según la edad, el tamaño y el propio peso de la persona. Así, se considera que el corazón en los hombres pesa el 0,45% del peso corporal, y en el caso de las mujeres, el 0,40% del peso corporal.

- *MORFOLOGIA INTERNA*

El interior del corazón está formado por cuatro cavidades: dos en el lado derecho y dos en el izquierdo. Las cavidades situadas en la parte superior se denominan aurículas, y las dispuestas en la parte inferior, ventrículos. En condiciones normales, las cavidades derechas no se comunican con las izquierdas, pues se hallan divididas por un tabique muscular, denominado tabique interauricular, que separa ambas aurículas; el tabique que distancia ambos ventrículos se llama interventricular.

- Corazón derecho

El corazón derecho consta de una aurícula en la parte superior y un ventrículo en la inferior. A la aurícula derecha llega la sangre venosa (no oxigenada) a través de las venas cavas y a su vez esta se comunica con el ventrículo por medio de una válvula, la tricúspide, sin permitir el paso en sentido contrario.

- Corazón izquierdo

Como sucede en el corazón derecho, en la parte superior se encuentra la aurícula izquierda, en la que desembocan cuatro venas pulmonares encargadas de llevar la sangre oxigenada desde los pulmones al corazón. La aurícula por medio de la válvula mitral se comunica con el ventrículo, permitiendo el paso de sangre; sin embargo, no ocurre en sentido contrario.

- *SISTEMA DE CONDUCCIÓN*

El miocardio, también llamado músculo cardiaco, genera los impulsos eléctricos que hace que se contraigan las aurículas y ventrículos, marcando el ritmo cardiaco. Estos impulsos a su vez estimulan las fibras cardiacas que realizan la actividad eléctrica y rítmica que necesita el corazón para latir, los potenciales de acción se deben producir en una secuencia específica y con un intervalo de tiempo adecuado para un correcto funcionamiento en el bombeo de la sangre. El sistema de conducción se compone de los nodos sinusal y auriculoventricular y del haz de His, que se divide en dos; derecha e izquierda. Estos, están constituidos por pequeños

cúmulo de células especializadas capaces de iniciar impulsos eléctricos. El nodo sinusal, es el marcapasos dominante generador de los impulsos eléctricos que se extienden por las aurículas hasta el nodo auroventricular. [4]

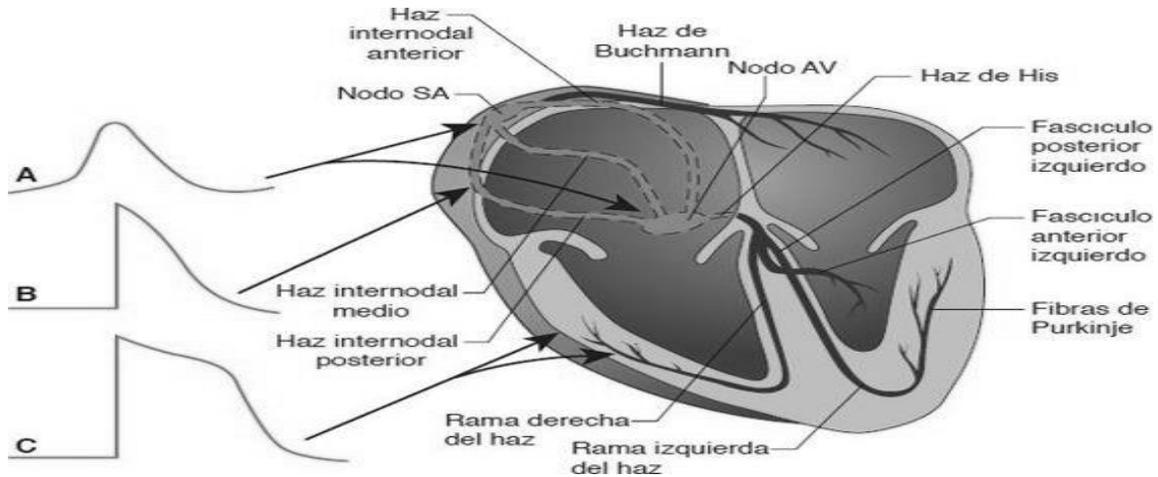


Figura 1. Sistema de conducción eléctrica de corazón [5]

b. ELECTROCARDIOGRAMA

El ECG es un gráfico en el que se estudian las variaciones de voltaje en relación con el tiempo. Consiste en registrar en un formato especialmente adaptado, la actividad de la corriente eléctrica que se está desarrollando en el corazón durante un tiempo determinado.

También puede ser registrada y visualizada de manera continua en un monitor similar a una pantalla de televisión (en este caso decimos que el paciente se encuentra monitorizado). Esta última opción se utiliza fundamentalmente en unidades de transporte sanitario medicalizadas y en unidades coronarias o de cuidados intensivos.

La actividad eléctrica del corazón recogida en el ECG se observa en forma de un trazado que presenta diferentes deflexiones (ondas del ECG) que corresponden con el recorrido de los impulsos eléctricos a través de las diferentes estructuras del corazón. Para realizar el examen se requiere de un electrocardiógrafo y parches de ECG que actúan como sensores sobre la piel, y un sistema de cables que transmiten las microcorrientes recogidas por los parches al electrocardiógrafo, el cual se encargará de amplificarlas. [6]

- *ELECTROCARDIOGRAFO*

El electrocardiograma es un dispositivo diseñado para mostrar la dirección y magnitud de las corrientes eléctricas producidas por el corazón. Debido a que la corriente fluye en múltiples direcciones del músculo cardíaco, este aparato obtiene la resultante de todos los vectores que se generan en un momento dado mediante el uso de electrodos colocados en diferentes partes del cuerpo sobre la piel. [7]

c. ONDA ELÉCTRICA CARDIACA

Las ondas de electrocardiograma son las distintas curvaturas que se presentan en los trazos hacia arriba o abajo según el potencial de acción producto de las repeticiones presentes en los latidos cardiacos.

En un ECG normal y sin ninguna alteración se presentan una serie de ondas que alternan con la línea basal. Realizando la lectura de izquierda a derecha, se distinguen la onda P, el segmento P-R, el complejo QRS, el segmento ST y finalmente la onda T.

Las ondas eléctricas se miden en el eje vertical como altura y profundidad que se expresan en voltaje, y el horizontal se trata de la longitud (duración).

- ONDA P

Aparece en la primera deflexión hacia arriba del ECG. Su forma parece una U y V invertida, suele tener una duración de dos cuadros vistos de manera horizontal. Representa el momento en que las aurículas se están contrayendo y enviando sangre a los ventrículos.

- SEGMENTO P-R

Es el tramo horizontal ubicado sobre la línea basal (isoelectrica) al final de la Onda P e inicio de la siguiente deflexión del examen. Durante este periodo, las aurículas terminan de vaciarse y se produce una desaceleración relativa en la transmisión de la corriente eléctrica, todo esto ocurre justo antes del inicio de la contracción de los ventrículos.

- COMPLEJO QRS

Corresponde al momento en que los ventrículos se contraen y expulsan el contenido sanguíneo. Este complejo consta de las ondas Q, R y S. La onda Q no siempre está presente en la gráfica; sin embargo, se identifica por ser la primera deflexión negativa presente después del segmento P-R. Toda la deflexión positiva que aparece justo después del segmento P-R corresponde a la onda R. El hecho de que el segmento no vaya precedido de una onda Q, no resulta algo patológico, de hecho, en condiciones normales la onda Q debe ser de tamaño pequeño. La onda S se observa a continuación de directa de la onda R y comienza en su fase

decreciente, para luego, hacerse negativa. En conjunto, el complejo formado no debe exceder una duración de más de dos cuadros.

- *SEGMENTO ST*

Es el trazado de la línea basal que se encuentra al final de la onda S y el comienzo de la onda T. Su elevación o descenso en relación con la línea basal puede significar insuficiencia en el riego del corazón.

- *ONDA T*

Se inscribe a continuación del segmento ST. Esta onda consiste en una deflexión normalmente positiva (por encima de la línea basal). Su altura suele estar entre dos y cuatro cuadros pequeños y su duración no excede los tres. La onda T representa el momento en que el corazón se encuentra en un periodo de relajación, una vez que la sangre que se hallaba en los ventrículos es expulsada. [6]

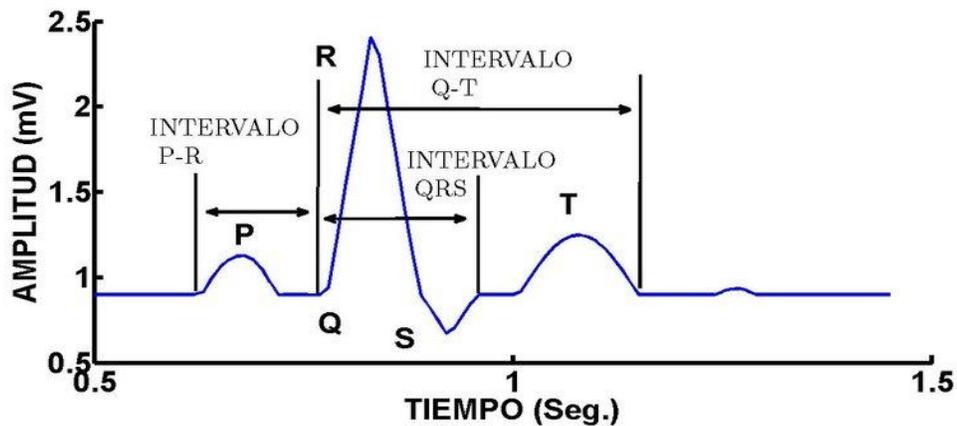


Figura 2. Componentes del electrocardiograma normal de la actividad eléctrica del corazón [8]

a. *ADQUISICIÓN DE LAS SEÑALES DEL ECG.*

Debido de que la señal obtenida a partir de las derivaciones es de una diferencia de potencial (voltaje) muy bajo, en el orden de los mV. Además, se debe tener extrema precaución en la primera etapa de adquisición de las señales bioeléctricas, ya que es muy fácil de que se presenten ruidos o interferencias no deseadas junto con la señal muestreada. El sistema de adquisición desarrollado emplea electrodos adhesivos), similares a los utilizados en equipos de electrocardiógrafos.

Como se mencionó anteriormente, la señal obtenida es de muy bajo potencial eléctrico, es por ello por lo que se requiere ser amplificada al nivel de los volts. [9]

- PROCESO PARA REALIZAR EL ECG

Realizar un ECG es un procedimiento sencillo. Se necesitan un electrocardiógrafo, parches de ECG.

El paciente se coloca boca arriba sobre una camilla. La postura ideal es completamente horizontal, se le colocan los electrodos que correspondan según el modelo del electrocardiógrafo, formando cada una de las derivaciones. Una vez que el paciente se encuentre tumbado con los electrodos puestos que conectan al ECG con su parche correspondiente, se puede comenzar el registro, cuya duración aproximada es de 10 segundos.

Es importante tener en cuenta que desde el momento en que el operador indica que va a comenzar el registro, el paciente debe moverse lo menos posible, ya que incluso el temblor muscular fino (por ejemplo, por frío o intranquilidad) puede interferir con la señal del registro, y en el caso de resultar excesivamente distorsionada será preciso repetir el ECG. Así mismo, el contacto entre los parches y la piel del enfermo debe ser lo más estrecho posible y, en este sentido, al realizar un ECG hay que evitar la utilización previa de cremas o lociones que interfieran en dicho contacto.

Existen otras formas de realizar un ECG aparte de la convencional; es decir, en reposo. Fundamentalmente son dos; el ECG de esfuerzo (también llamado prueba de esfuerzo) y el Holter-ECG.

El ECG de esfuerzo consiste en caminar por una cinta sin fin o pedalear en una bicicleta especialmente adaptada (cicloergómetro), mientras el médico valora el ECG realizado durante el ejercicio, así como si el paciente presenta algún tipo de molestia o dolor durante la prueba.

En el Holter-ECG, se registra el ECG del paciente mediante un sistema de grabación especialmente diseñado durante un tiempo aproximado de 24 horas; posteriormente, es analizado por un software específico.

- Ubicación de los electrodos

La ubicación estratégica de los electrodos según el diseño elaborado es de dos maneras distintas; la primera resulta de ubicar dos de los electrodos en las extremidades superiores y uno en la extremidad inferior derecha. Y la segunda forma es la ubicación de los electrodos en el tórax del paciente; dos en la parte derecha y uno en la izquierda. [6]

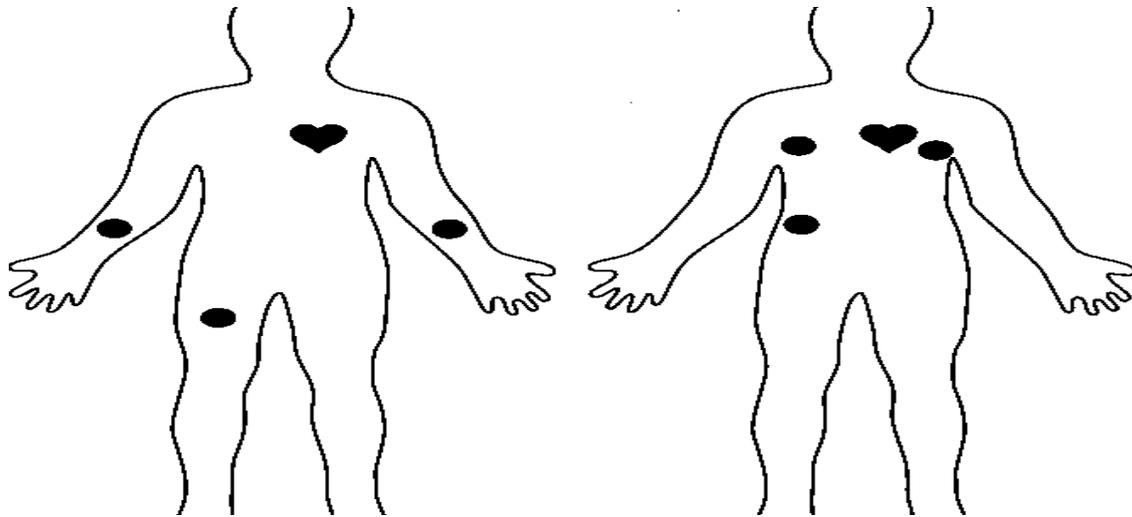


Figura 3. Ubicación de los electrodos, teniendo en cuenta el diseño construido. [10]

b. ALTERACIONES MÉDICAS

El electrocardiograma es una prueba médica que registra la actividad eléctrica del corazón y por medio de la cual se pueden evidenciar alteraciones en el ritmo cardíaco o cardiopatías. Las enfermedades cardiacas incluyen gran variedad de anomalías que afectan al corazón, las siguientes son algunas que pueden ser detectadas y monitoreadas por medio de un examen de electrocardiograma.

- ARRITMIA

Las alteraciones de ritmo cardíaco (arritmias cardíacas) ocurren cuando los impulsos eléctricos que coordinan los latidos cardíacos no funcionan adecuadamente, lo que hace que el corazón lata demasiado rápido, demasiado lento o de manera irregular.

- Taquicardia

Se trata de un ritmo sinusal normal, pero con una frecuencia cardíaca mayor de la normal, oscila entre 100-160 lpm.

- Bradicardia

Se puede desarrollar por una alteración en la formación del impulso o nodo sinusal, produciéndose un ritmo con frecuencia cardíaca inferior a 60 lpm. [11]

- ENFERMEDAD DE LAS ARTERIAS CORONARIAS

La enfermedad de las arterias coronarias se desarrolla cuando los principales vasos sanguíneos que irrigan el corazón se dañan. Generalmente, los depósitos que contienen colesterol (placas) en las arterias coronarias y la inflamación son los responsables de la enfermedad de las arterias coronarias o cardiopatías isquémicas. [12]

- ENFERMEDAD CARDÍACA CONGÉNITA

La enfermedad cardíaca congénita consiste en uno o más problemas con la estructura de corazón que existe desde el nacimiento, pueden ser hereditarias y están asociadas con muchos síndromes genéticos. Estos defectos pueden cambiar la forma en que la sangre fluye a través del corazón. [13]

- ENFERMEDAD DE LAS VÁLVULAS CARDIACAS

En la enfermedad de las válvulas cardíacas, una o más válvulas del corazón no funcionan adecuadamente. El corazón tiene cuatro válvulas que mantienen el flujo de sangre en la dirección correcta. En algunos casos, una o más válvulas no se abren ni se cierran de forma correcta. Esto puede alterar el flujo de sangre que pasa desde el corazón hacia el resto del cuerpo. [14]

- INFECCIÓN CARDÍACA

La endocarditis es una infección del revestimiento interno del corazón (endocardio). Generalmente ocurre cuando las bacterias u otros gérmenes entran en el torrente sanguíneo y se desplazan al corazón. Si no se trata, la endocarditis puede dañar o destruir las válvulas del corazón o desencadenar un accidente cerebrovascular. [15]

- PARO CARDÍACO

El paro cardíaco repentino es la pérdida súbita e inesperada de la función cardíaca, la respiración y la conciencia, a menudo a causa de una arritmia. Un paro cardíaco repentino es una emergencia médica. Si no se trata de inmediato, provoca la muerte cardíaca súbita. [16]

c. COMPONENTE ELECTRÓNICO

Para diseñar y desarrollar el electrocardiógrafo como dispositivo biomédico, se requiere de una lista de materiales y componentes electrónicos que permiten no solo crear el diseño, sino desarrollarlo y aplicarlo en la población del municipio de Samacá, con el objetivo principal de atender las necesidades sociales en el sector salud, aprovechando de forma positiva el avance tecnológico actual. Es por esto por lo que, a continuación, se describen fundamentos teóricos esenciales en la comprensión del desarrollo del proyecto, además de la tesis y montaje para este instrumento.

- BLUETOOTH

El bluetooth es una especificación tecnológica para redes inalámbricas que permiten la transmisión de voz y datos entre los distintos dispositivos mediante una radiofrecuencia de 2,4 GHz. Su diseño fue pensado en tres objetivos principales; tamaño reducido, mínimo consumo de energía y economía. Bluetooth sigue las especificaciones IEEE 802.15.1. Esta tecnología trabaja entre las frecuencias 2400-2483, 5 MHz de la banda ISM (industria, científica y médica), la cual está disponible a nivel mundial y no necesita licencia. Desde su creación y hasta la actualidad cuenta con tres versiones disponibles.

- Versión 1.1.

Establece una velocidad de transmisión de hasta 723, kbps.

- Versión 1.2.

Establece una velocidad de transmisión de hasta 1 Mbps, además mejora la resistencia permitiendo Bluetooth y Wifi simultáneamente.

- Versión 2.0.

Aumento en la velocidad alcanzando los 3 Mbps.

- SISTEMA OPERATIVO

Un sistema operativo es un programa (software) que se inicia al encender el móvil y se encarga de gestionar los recursos del sistema informático, tanto de hardware como software permitiendo así la comunicación entre los usuarios y el ordenador.

- SISTEMA OPERATIVO ANDROID.

Es el sistema operativo de Google empleado por HTC, LG, Motorola, Samsung, Redmi, entre otros dispositivos. Android es un sistema operativo de código abierto, gratis y basado en Linux, permite buscar e instalar aplicaciones que requiera el dispositivo y sincroniza automáticamente con las redes de conexión. [17]

- ARDUINO

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software de fácil manejo. Las placas Arduino pueden leer entradas y convertirlo en salida; además, es posible dar instrucciones al microcontrolador enviando un conjunto de códigos, haciendo uso del lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software arduino, basado en Processing. Todas las placas de arduino son completamente de código abierto, lo que permite a los usuarios construirlas de forma independiente y eventualmente adaptarlas a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto y el lenguaje es posible expandirlo a bibliotecas de C++.

- Arduino Uno

Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P (hoja de datos). Tiene 14 pines tanto entrada como salida; de los cuales 6 se pueden usar como salida digital. 6 entradas analógicas, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente se debe conectar a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar, como lo muestra la figura 4.

"Uno" significa uno en italiano y fue elegido para marcar el lanzamiento de Arduino Software (IDE) 1.0. La placa Uno y la versión 1.0 del software Arduino (IDE) fueron las versiones de referencia de Arduino, ahora evolucionadas a versiones más recientes. [18]

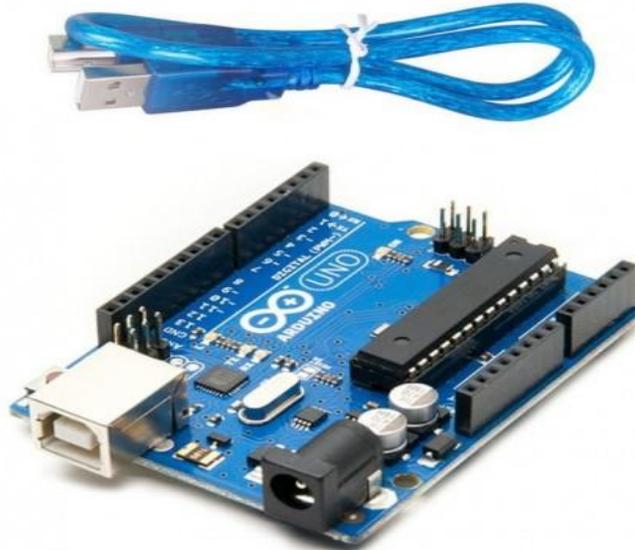


Figura 4. Placa de Arduino Uno. [19]

- MÓDULO DE BLUETOOTH HC-05

El HC-05 es un módulo que permite la comunicación entre dos microcontroladores como Arduino o la comunicación con cualquier dispositivo con funcionalidad Bluetooth, como el caso de un teléfono, tableta o computadora portátil. El HC-05 tiene dos modos de funcionamiento, uno es el modo de datos en el que puede enviar y recibir datos de otros dispositivos Bluetooth y el otro es el modo de comando AT donde se puede cambiar la configuración predeterminada del dispositivo. Ver figura 5 del módulo de Bluetooth. [20]

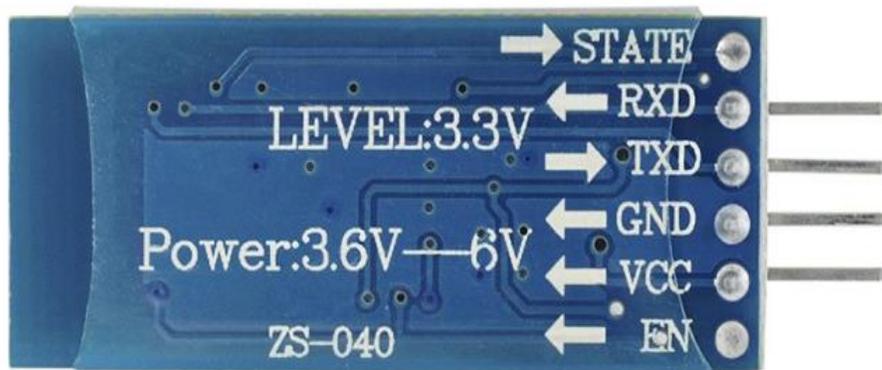


Figura 5. Módulo de Bluetooth HC-05. [21]

- SENSOR DE ECG AD8 232

El monitor de frecuencia cardíaca de un solo cable y referencia AD8 232 Sparkfun, es una placa usada para medir la actividad eléctrica del corazón. Esta actividad puede ser registrada por medio de un examen de electrocardiograma y emitirse como una lectura analógica. Este monitor está diseñado para obtener señales claras en los intervalos PR y QT, amplificar y filtrar pequeñas señales de biopotencial en presencia de condiciones ruidosas, creadas por el movimiento o la colocación de los electrodos. El monitor de frecuencia cardíaca AD8232 rompe nueve conexiones del IC a las que puede soldar pines, cables u otros conectores. SDN, LO +, LO-, OUTPUT, 3.3V, GND proporcionan pines esenciales para operar este monitor con un Arduino u otra placa de desarrollo. El sensor de electrocardiograma o monitor de frecuencia cardíaca corresponde a la figura 6. [22]

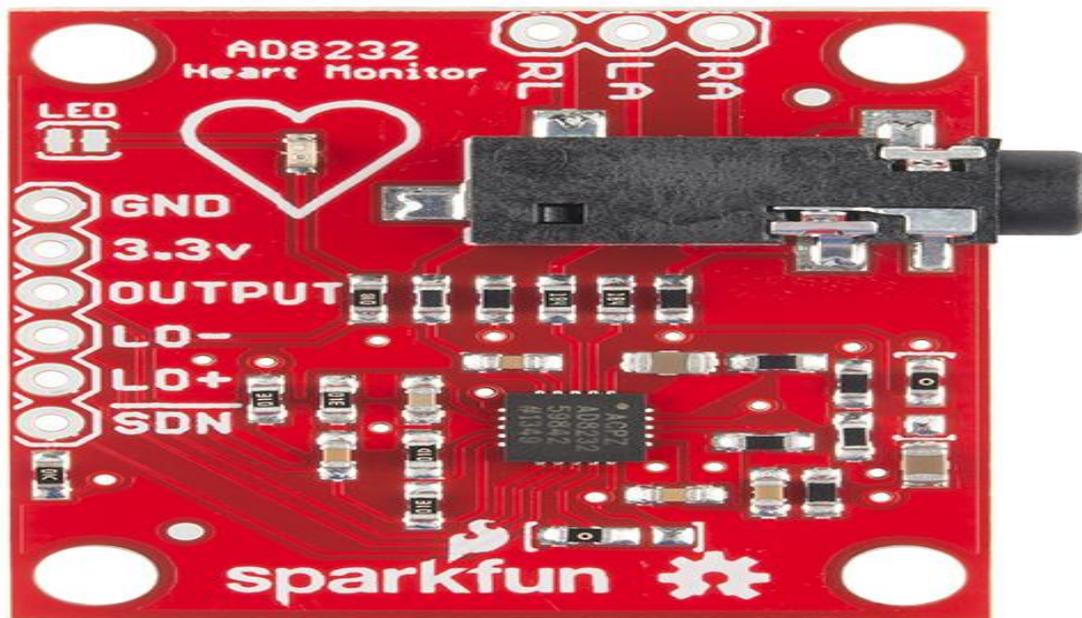


Figura 6. Heart Monitor AD8 232 – sensor de electrocardiograma. [23]

- BATERIA DE LITIO 1200 mAh

Las baterías de polímero de iones de litio son delgadas, ligeras y poderosas. La salida oscila entre 4.2V cuando está completamente cargado a 3.7V. Esta batería tiene una capacidad de 1200mAh para un total de alrededor de 4,5 Wh, datos que, además, se especifican en el producto como se ve en la figura 7. [24]

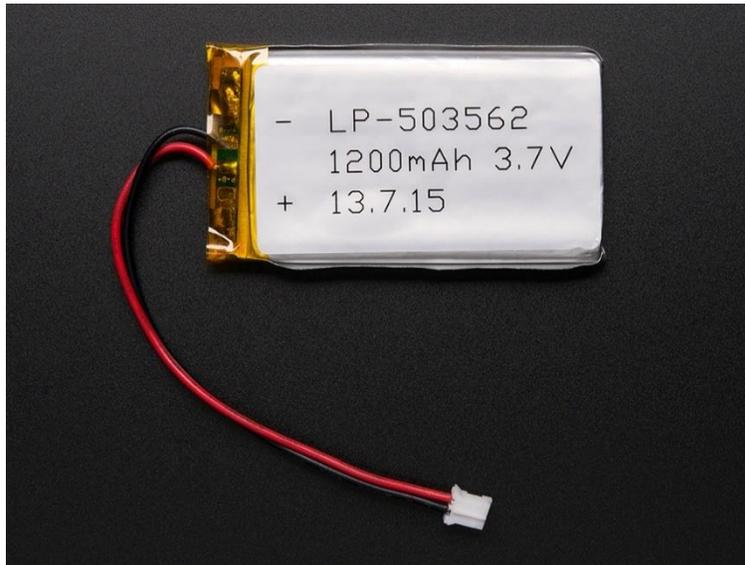


Figura 7. Batería de litio 1200 mAh. [25]

- ELECTRODOS ADHESIVOS CON BROCHE

Los electrodos son sensores que se adhieren a la piel y se encargan de amplificar y transmitir las ondas cardíacas recogidas enviándolas por medio de un sistema de cables que capta y grafica microcorrientes.

Los electrodos con broche son de un solo uso, pre-gelificados y diseñados para mejorar el contacto de la piel y el electrodo evitando ruidos aleatorios. En estos electrodos el gel electrolítico está en contacto con el sensor y forma un puente conductivo con la piel. Un alto valor de iones negativos en el gel hace al electrodo más no-polarizable y disminuye la impedancia entre la piel y el electrodo. Son de forma redonda y cada uno de ellos posee el protector plástico, como se muestran en la figura 8. [26]



Figura 8. Electrodo adhesivo con broce. Fuente: (Autor, 2021)

- CABLES JUMPERS

Los cables Jumper o cables de conexión se emplean para ensamblar componentes unos a otros, en la protoboard o placa de Arduino; estos deben ser rígidos para que la conexión sea de forma adecuada. Existen tres tipos de cables Jumpers; el primero corresponde al conector MM, los segundos son de conector HH y finalmente el tercer tipo de conector para estos cables es MH. [27]



Figura 9. Tres diferentes tipos de cables Jumpers. [28]

- BAQUELITA PERFORADA O PLACA PARA SOLDAR

Las tarjetas electrónicas perforadas, baquelitas o placas fenólicas perforadas, permiten el prototipo de proyectos y circuitos electrónicos. La placa permite soldar solamente ciertos componentes y se debe tener en cuenta el material aislante en alguna de las caras de la baquelita. Son distintos los tipos existentes de estas placas; sin embargo, el modelo de la figura 10 es el empleado en este proyecto. [29]

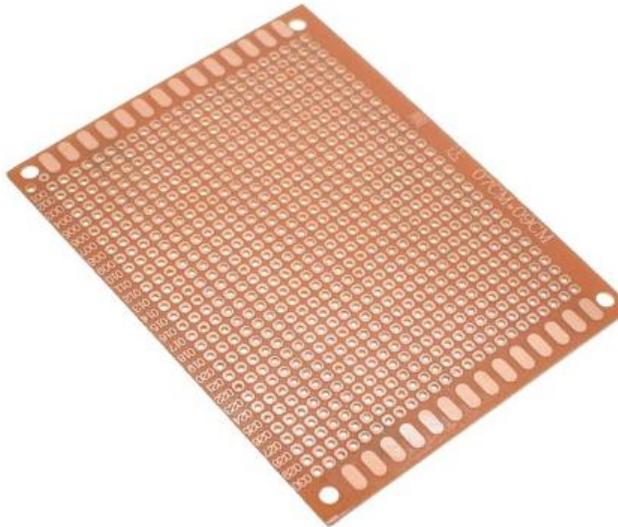


Figura 10. Baquelita o tarjeta electrónica perforada. [30]

- PROTOBOARD O PLACA DE PRUEBA

La protoboard o placa de prueba es una tabla rectangular de plástico con varios agujeros pequeños dentro de ella, como se muestra en la figura 11. Estos agujeros permiten insertar fácilmente componentes electrónicos para hacer prototipos o pruebas de circuitos. Las columnas generalmente de cinco orificios están internamente conectadas por una varilla de metal, pero no con los agujeros de forma horizontal o de columnas adyacentes. Las conexiones eléctricas de la placa protoboard corresponden a la figura 12.

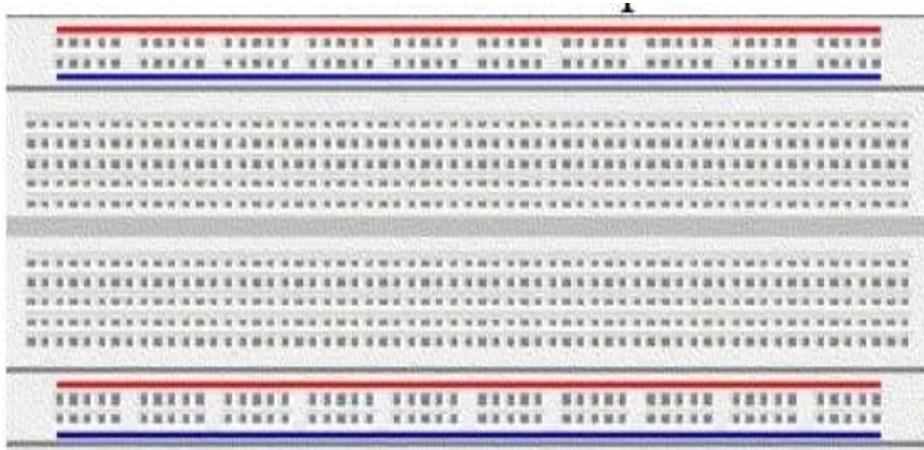


Figura 11. Protoboard o placa de prueba.

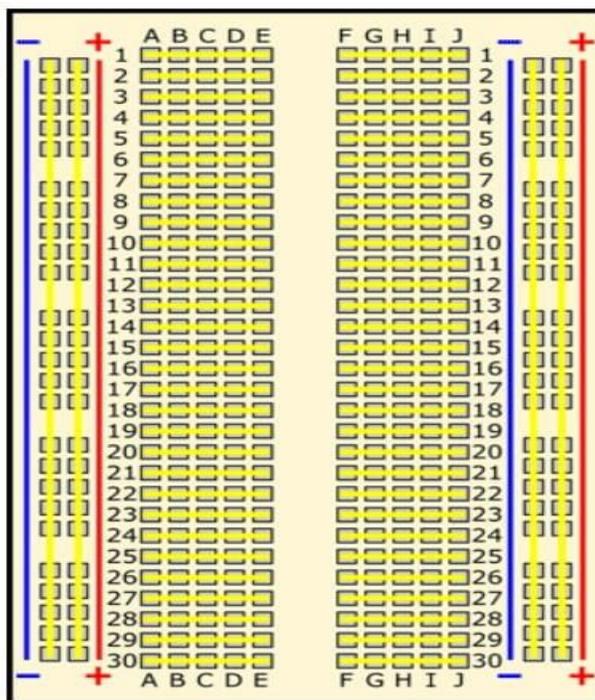


Figura 12. Conexión entre los agujeros de la protoboard, tanto para filas y columnas según corresponde. [31]

d. Metodología

Esta investigación se llevó a cabo en la comunidad del municipio de Samacá, dadas las problemáticas presentadas en el monitoreo de enfermedades del sistema cardiovascular en zonas alejadas y la necesidad que surge a raíz del aumento de cifras en las tasas de mortalidad y morbilidad.

El objetivo de realizar el diseño y la construcción del dispositivo de fácil manejo fue principalmente para atender las necesidades sociales ya mencionadas, obteniendo resultados factibles.

Se utilizó un diseño de investigación teórico y aplicado con el propósito de conocer los efectos que representa el electrocardiógrafo, dispositivo biomédico que brinda información para que médicos y especialistas determinen procesos posteriores. Además, la investigación se desarrolla en un entorno tecnológico con el fin de impulsar un impacto positivo en la vida cotidiana y el sector salud.

En primer lugar, se recurrió a una investigación documental y de referentes teóricos acerca de la disciplina en contexto, se identificaron y analizaron artículos de los tipos de electrocardiógrafos, enfermedades y afecciones relacionadas. Además, se contextualizó la problemática en la población en la que se desarrollaría el proyecto por medio de un podcast en el que participaron varios especialistas.

Una vez categorizada y definida esta primera parte, se procedió a realizar un compendio de datos e información para el diseño del proyecto. Se consultaron qué materiales son necesarios en la elaboración del dispositivo y se concretó los componentes del electrocardiógrafo, la estructura electrónica, diagrama electrónico y el diseño que de manera adecuada se adapta a las necesidades y asimismo características adicionales que resultarían óptimas y de mayor rendimiento para el dispositivo.

En esta siguiente etapa metodológica se procede al desarrollo y elaboración del dispositivo biomédico, teniendo en cuenta como base el diseño del proyecto *Electrocardiograma con Arduino* del canal de YouTube *ALSW*. La siguiente es la lista de componentes electrónicos y materiales requeridos en la realización del instrumento.

- *MATERIALES*

1. Arduino Uno
2. Módulo de Bluetooth HC-05
3. Sensor de electrocardiograma AD8 232
4. Batería de litio 1200 mAh
5. Electrodo adhesivos con cable
6. Cable Jumpers MH
7. Baquelita perforada o placa para soldar
8. Protoboard o placa de prueba

Para el ensamblaje inicial y simulación del diseño a elaborar, se empleó una protoboard o placa de prueba en la cual, se realizó la conexión correspondiente de componentes como el Arduino Uno a entradas y salidas analógicas, el sensor de electrocardiograma y los electrodos, luego, por medio de cable USB tipo A/B se procedió a conectar el arduino a un PC y de esta manera programar la placa con el código correspondiente. Posteriormente, se efectuaron pruebas para verificar el correcto funcionamiento del ensamblaje y código programado evidenciando la gráfica de frecuencia cardiaca. Habiendo comprobado esta parte, y con el diseño puesto en la protoboard, se conectó y configuro el módulo de bluetooth en la aplicación de un dispositivo Android para que esta vez la gráfica sea visualizada en la pantalla de dicho dispositivo y así, hacer el diseño mucho más compacto y fácil en el momento de trasladar. Finalmente, se agregaron las siguientes características para dar facilidad en el manejo del electrocardiógrafo; ensamblaje de la batería de litio como fuente permanente de energía, desmontaje del microcontrolador de la placa de arduino y montaje de todos los componentes en la baquelita perforada, soldando de manera permanente las conexiones.

Teniendo el electrocardiógrafo listo, la siguiente etapa metodológica consiste en la aplicación del proyecto en la comunidad samaquense como fase de prueba. Para esto, con los análisis previos y de manera voluntaria un grupo de 4 personas se vincularon al proyecto, accediendo a la realización del examen de ECG y suministrando el acceso a sus exámenes de electrocardiograma de dispositivos convencionales. Durante la toma del examen, se retiraron objetos que podrían generar interferencia en los resultados del examen. No obstante, factores externos y el movimiento de la persona mostraron en la gráfica fluctuaciones y alteraciones en algunos segmentos de las ondas, respecto al examen de comparación.

Los análisis de resultados involucrados en este método fueron; inicialmente, la comparación entre el examen del dispositivo convencional y el examen del dispositivo del proyecto para cada una de las personas. En seguida, el análisis teniendo en cuenta el entorno y posibles comorbilidades presentadas. Finalmente, se determinó una aproximación a la tasa de variación según lo observado en cada una de las gráficas y ciertas recomendaciones para tener en cuenta, para disminuir el ruido y la fluctuación en las gráficas.

El objetivo es establecer las diferencias entre los resultados de los exámenes de ECG y así, determinar el nivel de confiabilidad para el diseño desarrollado durante el proyecto.

e. Montaje

Para el desarrollo del electrocardiógrafo, en primer lugar, se definió un proyecto ya elaborado como modelo a seguir en el diseño y, enseguida el proceso de elaboración del dispositivo. En

este caso el proyecto guía corresponde al desarrollado por el canal de YouTube ALSW “*Electrocardiograma con arduino*”. Teniendo en cuenta lo anterior, se elaboró la siguiente lista de materiales y componentes electrónicos requeridos.

- *MATERIALES*

1. Arduino Uno
2. Módulo de Bluetooth HC-05
3. Sensor de electrocardiograma ADB 232
4. Batería de litio 1200 mAh
5. Electrodo adhesivos con cable
6. Cable Jumpers MH
7. Baquelita perforada o placa para soldar
8. Protoboard o placa de prueba

Una vez listo todo el material requerido se procede a la primera parte en la construcción del dispositivo, la cual corresponde al ensamblaje (hardware) del electrocardiógrafo.

- *HARDWARE*

El hardware corresponde al conjunto de componentes físicos que integran el dispositivo, es por esto se compone principalmente de la placa de *Arduino Uno* que obtiene los datos enviados por el *sensor de electrocardiograma ADB 232* y el *módulo de bluetooth HC-05* permitiendo la conexión con otros dispositivos que posean esta red inalámbrica, adicionalmente cables, placas de prueba y los electrodos que se adhieren a la piel.

En primer lugar, la placa de Arduino Uno se instaló en la protoboard para posteriormente realizar la conexión al sensor de electrocardiograma, el cual también fue puesto sobre la misma protoboard. Con ayuda de los cables Jumpers se conectaron el pin *GND* y *3,3V* del sensor a *negativo* y *positivo* de la protoboard, el pin *OUTPUT* del sensor a la entrada analógica *A0* de la placa de arduino, los pines *LO-* y *LO+* del sensor a los pines digitales *6* y *7* de la placa arduino siguiendo el orden. Luego, los pines de la placa de arduino *GND* y *3,3V* al *negativo* y *positivo* de la protoboard según corresponde, finalmente, el pin *AREF* del arduino al *positivo*

de la protoboard. Las conexiones mencionadas anteriormente entre la placa de arduino y el sensor se muestran en la figura 5.

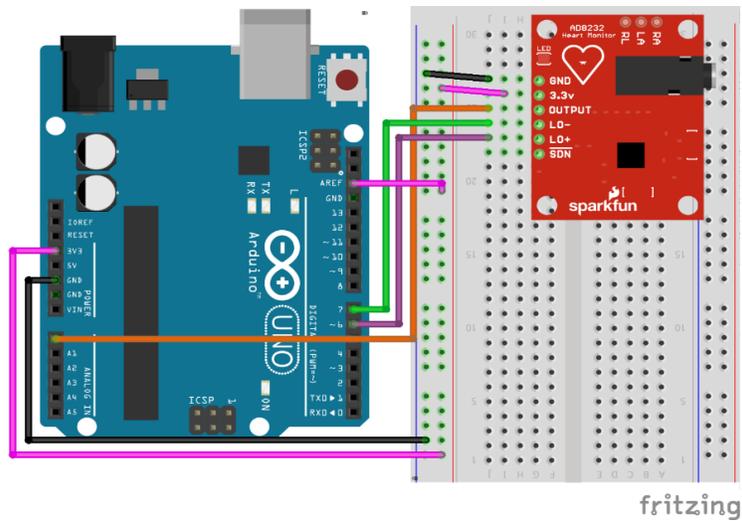


Figura 13. Conexión de la placa Arduino Uno y el sensor de electrocardiograma ADB 232. [32]

Con esta primera parte completa, se procede a realizar la conexión correspondiente del *módulo de Bluetooth HC-05* al montaje que ya se tiene, es decir, manteniendo las conexiones de la figura 5. El módulo está compuesto de 6 patillas, no obstante, se requiere solamente conectar la patilla *GND* y *VCC* al *negativo* y *positivo* de la placa de arduino, y las dos patillas seriales, las cuales son *RXD* y *TXD* a los pines digitales 2 y 3 de la placa de arduino, las dos patillas restantes no requieren de conexión, como se muestra en la figura 6.

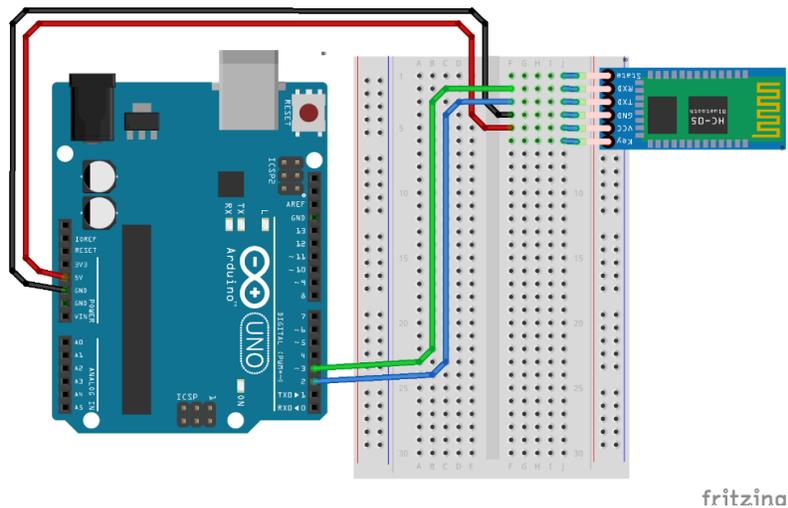


Figura 14. Conexión de la placa Arduino Uno y el módulo de Bluetooth HC-05. [33]

Por último, se ensambla el cable que contiene la placa de arduino al puerto USB y de esta misma forma a un computador, lo que permite realizar la programación (software) de estos componentes.

- SOFTWARE

Esta etapa está conformada por dos partes; la primera se denomina Software simple y corresponde a la fase experimental y prueba del correcto funcionamiento de las conexiones realizadas anteriormente, además de las gráficas iniciales que se muestran en el monitor del computador. La segunda parte o *Software aplicado* corresponde ya a la programación final que involucra el módulo de bluetooth y la aplicación instalada en un dispositivo Android.

- Software simple

Esta fase de programación requiere la conexión de la placa arduino al computador por medio del cable USB A/B y tener descargada la aplicación *Arduino* “ver anexo 1”. Una vez abierta la aplicación y conectada la placa, se encienden los leds incorporados lo que indica que está encendida, se reconoce inmediatamente el puerto y el tipo de arduino de la tarjeta. En la interfaz principal de la aplicación, se digita el código de programación que se muestra en la figura 7, a continuación, se verifica y sube el programa oprimiendo los dos botones de la barra superior izquierda. Es oportuno resaltar que el proyecto debe estar guardado en el dispositivo.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
PROGRAMACION_ARDUINO_ECG_2 $
int LOMas = 6;
int LOMenos = 7;
int SCorazon = A0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode (LOMas, INPUT);
  pinMode (LOMenos, INPUT);
}

void loop() {
  if ((digitalRead(LOMas) == 1) || (digitalRead(LOMenos) == 1)){
    Serial.println(1024/2);
  }
  else{
    Serial.println(analogRead(SCorazon));
  }
  delay (10);
}
```

Figura 15. Código Arduino de Electrocardiograma. Fuente: (Autor, 2021)

Para comprobar el correcto funcionamiento, en el puerto de conexión del sensor de electrocardiograma se conecta el cable de los electrodos y en la barra superior se busca la opción *Herramientas*, se despliega un menú de opciones y se elige *Serial Plotter*, en seguida se abre una ventana emergente e inicia a mostrar ondas en una gráfica de 9600 baudios de velocidad. En la figura 8 se puede observar un ejemplo de la gráfica emitida en el monitor.

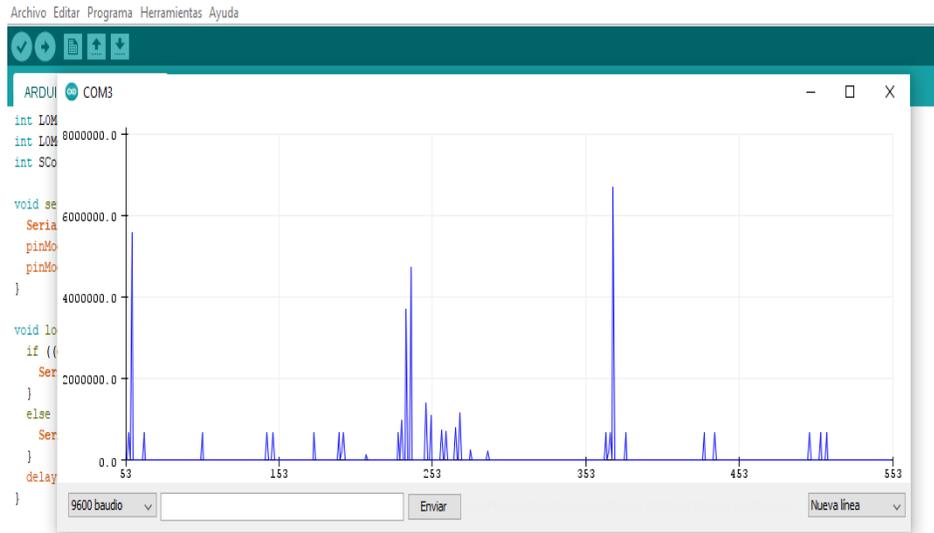
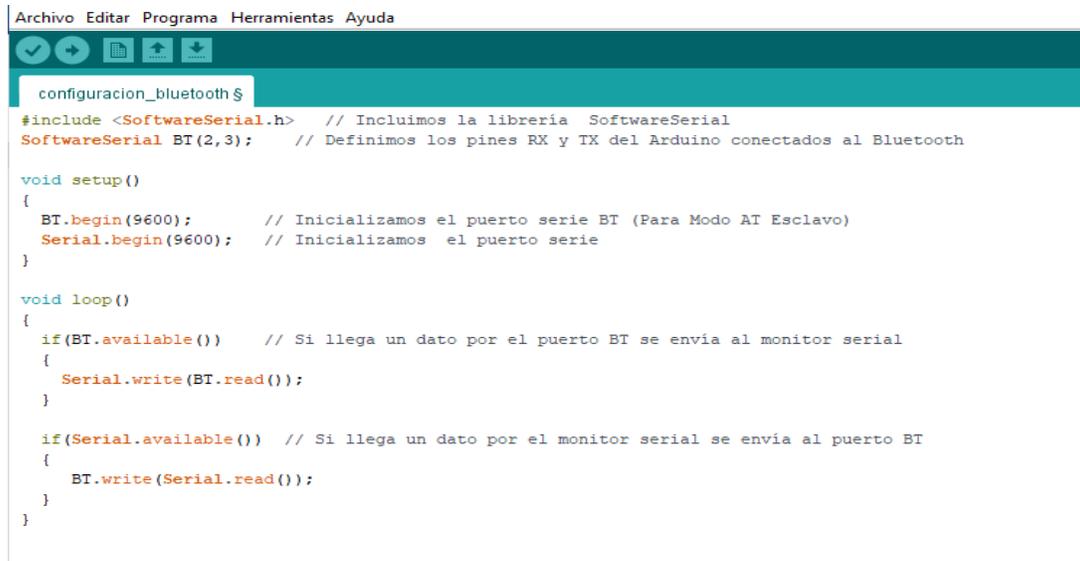


Figura 16. Ejemplo de gráfica obtenida con el código Arduino Simple. Fuente: (Autor, 2021)

- Software aplicado

Una vez obtenida la gráfica de ejemplo en que se evidencia el funcionamiento del sensor (figura 8). Se procede a la configuración del módulo de bluetooth como esclavo mediante los comandos AT y cambiar las predeterminaciones del módulo, así la información es enviada por el dispositivo emisor e impresa por el receptor.

Para la configuración del módulo de bluetooth HC-05, en la aplicación arduino se digita el código de la figura 9. Una vez compilada y subida esta programación, en la barra superior, *Herramientas*, seleccionar *Monitor Serial* y digitar *AT*, se debe recibir el mensaje *OK* como respuesta a la conexión del módulo. Posteriormente, se realizan las siguientes configuraciones como nombre, velocidad de conexión, contraseña de acceso y modo establecido de conexión.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
configuracion_bluetooth $
#include <SoftwareSerial.h> // Incluimos la libreria SoftwareSerial
SoftwareSerial BT(2,3); // Definimos los pines RX y TX del Arduino conectados al Bluetooth

void setup()
{
  BT.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie BT (Para Modo AT Esclavo)
  Serial.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie
}

void loop()
{
  if(BT.available()) // Si llega un dato por el puerto BT se envia al monitor serial
  {
    Serial.write(BT.read());
  }

  if(Serial.available()) // Si llega un dato por el monitor serial se envia al puerto BT
  {
    BT.write(Serial.read());
  }
}
```

Figura 17. Código Configuración del módulo HC-05. Fuente: (Autor, 2021)

Por defecto el nombre del módulo es HC-05; sin embargo, es posible modificarlo.

Enviar: ¿AT+NAME?

Recibir: +NAME: HC-05

Enviar: AT+NAME=ECG

Recibir: OK

Se debe conocer la configuración del módulo y si es necesario modificarla para que cumpla la función de esclavo.

Enviar: ¿AT+ROLE?

Recibir: +ROLE=0 (si es esclavo) +ROLE=1 (si es maestro)

Enviar: AT+ROLE=0

Recibir: OK

La velocidad de conexión debe ser de 9.600 baudios y por defecto el dispositivo viene configurado de esta manera.

Enviar: ¿AT+UART?

Recibir: +UART=9600,0,0

La contraseña de acceso es posible modificarla o simplemente conocerla para que sea posible emparejar los dispositivos.

Enviar: ¿AT+PSWD?

Recibir: +PSWD=0000 (según la contraseña del dispositivo).

Enviar: AT+PSWD=1234 (contraseña de elección, máx. 4 caracteres)

Recibir: OK

Posterior a la configuración del módulo, se debe comprobar el funcionamiento en la recepción de información, mediante la aplicación *Bluetooth Terminal*. (Figura 10) Los mensajes que se envíen desde el monitor del dispositivo emisor debe mostrarse en la pantalla del dispositivo receptor y, ocurre lo mismo con los mensajes enviados en sentido contrario.

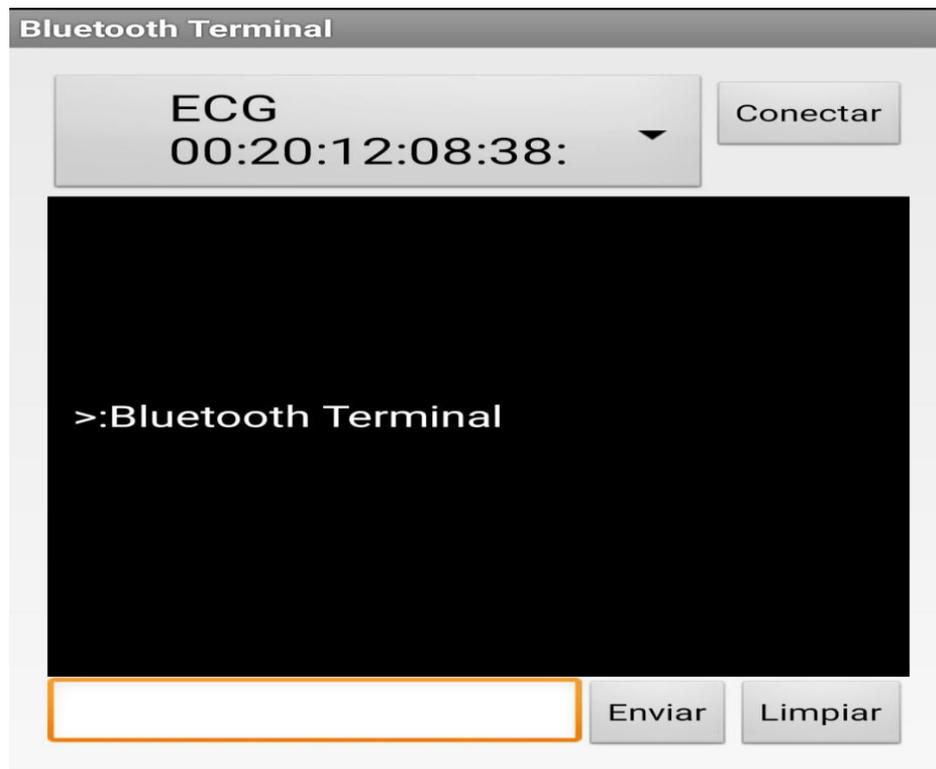


Figura 18. Aplicación Bluetooth Terminal. Fuente: (Autor, 2021)

Con el módulo funcionando de manera adecuada, se procede a la descarga de la aplicación *Bluetooth Graphics* disponible para Android. Se empareja y conecta el dispositivo móvil con el

módulo de bluetooth, y se accede a la aplicación. Una vez iniciado el examen de ECG, la información se mostrará tanto en la pantalla del computador como también, en la pantalla del dispositivo móvil Android, como se muestra en la figura 11.



Figura 19. Gráfica en la pantalla del dispositivo móvil. Fuente: (Autor, 2021).

- *ULTIMACIÓN DE DETALLES*

De manera opcional se puede optar por agregar las siguientes características. La primera, corresponden al ensamblaje de la batería de litio como fuente permanente de energía, conectando el polo positivo a la placa de Arduino y de igual manera el polo a tierra, según corresponda. No obstante, la conexión por medio del cable USB A/B al computador funciona como fuente de energía.

Para facilitar el manejo del dispositivo diseñado es posible desmontar el microcontrolador de la placa de arduino y realizar el montaje de todos los componentes en la baquelita perforada, soldando de manera permanente las conexiones.

f. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Samacá es un municipio ubicado en la provincia centro del departamento de Boyacá, la población está conformada por una cantidad aproximada de 21.203 habitantes, de los cuales el 30% corresponde a la población urbana; mientras que, el área rural se determina con un aproximado del 70% de la población. Cuenta con un sistema de salud integrado por IPS y el hospital municipal de primer nivel. En los últimos años, se mencionan factores de riesgo de salud pública determinados por la alta presencia de morbilidades y mortalidades relacionadas al sistema cardiovascular.

Los resultados obtenidos de los exámenes realizados al grupo de voluntarios de 4 personas fueron comparados con los exámenes de ECG del dispositivo comercial teniendo presente una diferencia de tiempo no mayor a 6 meses.

- **RESULTADOS**

Las gráficas que se expresan mediante la siguiente comparación de las gráficas (la primera corresponde a la obtenida del dispositivo del proyecto y la segunda de un examen convencional) además, la descripción de cada una de las personas voluntarias que se vincularon al proyecto.

Persona 1

Voluntaria, sexo femenino, 17 años, con antecedentes de *Diabetes Mellitus tipo I* diagnosticada desde los 6 años, *epilepsia generalizada* diagnosticada en el mes de abril de 2021 y *soplo cardíaco*. Estudiante de último año de bachiller, residente de la zona urbana del municipio de Samacá.

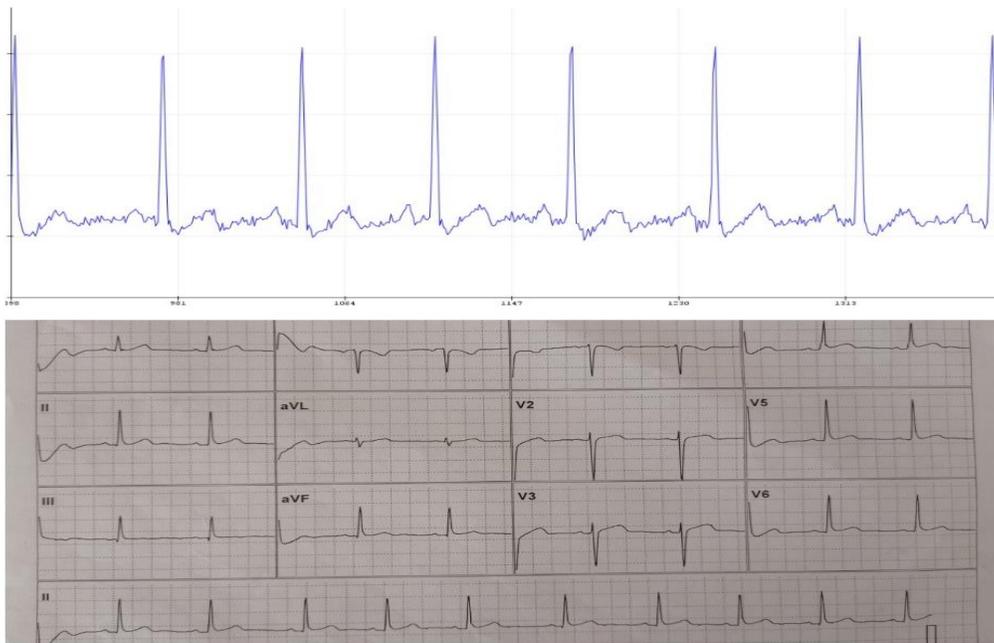


Figura 20. Exámenes de electrocardiograma, persona 1. Fuente: (Autor, 2021)

Persona 2

Voluntaria, sexo femenino, diagnosticada y tratada por cáncer de tiroides tipo IV, hipertensión y antecedentes familiares. Docente de primaria de una institución educativa privada, residente de la zona rural del municipio de Samacá.

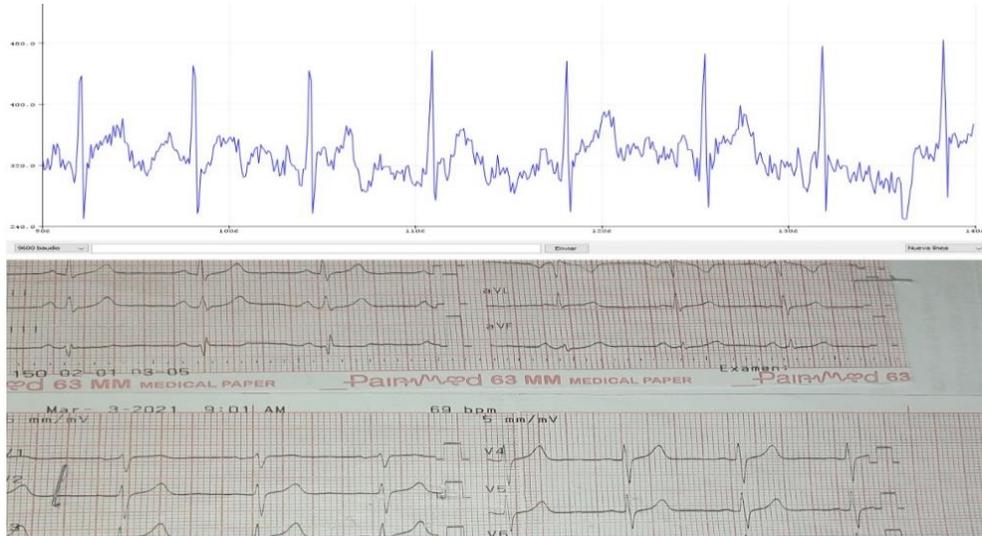


Figura 21. Exámenes de electrocardiograma, persona 2. Fuente: (Autor, 2021)

Persona 3

Voluntaria, sexo femenino, 15 años, con diagnóstico de principios de hipoglucemia. Estudiante de grado decimo, residente de la zona urbana del municipio de Samacá.



Figura 22. Exámenes de electrocardiograma, persona 3. Fuente: (Autor, 2021)

Persona 4

Voluntaria, sexo femenino, 16 años, estudiante de último año de bachiller, residente de la zona urbana del municipio de Samacá. Presenta factores de riesgo de Diabetes e hipertensión. No tiene antecedentes médicos de relevancia.



Figura 22. Exámenes de electrocardiograma, persona 4. Fuente: (Autor, 2021).

- ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis y comparación entre cada examen se realizó en la Onda DII o segunda derivación y se orientó la conversión de unidades a milivoltios por segundo. Los análisis obtenidos fueron aconsejados por profesionales de la salud.

De manera general, el funcionamiento del electrocardiógrafo diseñado en el proyecto cumple con las expectativas para una lectura del examen. En las gráficas se presentan todas las ondas, segmentos y complejos, la estructura y no muestra anomalías sobresalientes.

Se tuvo en cuenta una población de 4 personas con distintos entornos para un análisis global y como base fundamental para la generación de una campaña que invite a la ciudadanía a monitorear y cuidar de su estado de salud en el desarrollo de investigaciones posteriores.

El diseño de electrocardiógrafo no es de uso profesional y de diagnóstico definitivo dadas las variaciones y margen de error presentados en los análisis y comparación de las gráficas. Estas

variaciones se dieron principalmente en la fluctuación de los segmentos y la distorsión de la gráfica, la interferencia por factores externos y la falta de perfeccionamientos técnicos en el sensor. Estos últimos resultan de la distribución de unidades del eje x y y, pues no son más que la orientación de margen en cada eje. Para que un profesional de la salud pueda realizar una lectura optima debe contar con unidades definidas (milivoltios por segundo) y una base milimétrica de medición como en el examen convencional. Además, las diferencias presentadas en algunas de las ondas.

La persona 1 muestra un examen normal dentro del margen establecido, tiene cierta fluctuación y la onda R relativamente es de una altura mayor a la normal; sin embargo, no es posible tener certeza de lo anterior, teniendo en cuenta la falta de unidades.

La persona 2 presenta bastante interferencia y fluctuación en el examen, las ondas están bastante distorsionadas y no se mantiene estable la línea basal del examen, estas interferencias resultan de factores externos desconocidos. Teniendo en cuenta el entorno y antecedentes de la persona, el examen puede mostrar variaciones.

Los resultados obtenidos de la persona 3 son estables, con menos interferencia respecto los anteriores, pero la falta de unidades no permite una lectura clara. La onda R es alta respecto a las demás ondas y complejos.

Los análisis para la persona 4 son favorables en cuanto la tasa de variación y margen de error, son mínimos. La única diferencia notable está en la onda P, la cual debe mostrarse como una pequeña elevación antes de la onda R. En los resultados del examen obtenido del dispositivo diseñado se muestra como una doble elevación, la segunda es mínima, pero se requiere de calibración y análisis para un examen más concreto. La lectura para el electrocardiograma de esta persona es posible realizarla y analiza los respectivos datos manejando una estadística promedio según la comparación del examen convencional; aunque, las unidades son un factor indispensable. Del examen de ECG, se estimaron los siguientes resultados: ritmo sinusal, frecuencia cardiaca de 86 lpm, no se evidencia imagen de isquemia ni necrosis, las respuestas son regulares y no hay bloqueo de conducción.

g. Conclusiones.

Con base a los resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones que permiten visualizar el desarrollo y los hallazgos del proyecto.

El dispositivo diseñado cumple con los parámetros de obtención de pulsos eléctricos del corazón, ondas, segmentos e intervalos de comunicación. Es portátil, de fácil manejo y acceso. Presenta ciertas alteraciones en la comunicación y toma de datos debido a la

interferencia y fluctuación por factores externos, aun así, es posible realizar una lectura general del examen.

En el montaje y construcción del electrocardiógrafo, el diseño elaborado integra el software de procesamiento de señales y conexión de funciones inalámbricas, además de una aplicación disponible para el sistema operativo Android.

La aplicación del electrocardiógrafo en un grupo de 4 voluntarios de la comunidad del municipio de Samacá permitió una caracterización general del funcionamiento y variación de los resultados de cada uno de los dispositivos y, establecer recomendaciones y parámetros para tener en cuenta para el desarrollo de investigaciones posteriores.

Dadas las condiciones médicas relacionadas con cardiopatías en el municipio de Samacá, el desarrollo del dispositivo favorece e invita a un constante monitoreo de estos niveles fundamentales en la vida de las personas.

h. Recomendaciones.

Para las proyecciones y futuras investigaciones del proyecto, se recomienda tener en cuenta las siguientes especificaciones.

- La estabilidad del paciente al momento de iniciar y durante el procedimiento de la toma de datos es de suma importancia, debido a que cualquier interferencia generada por desconexión de los electrodos o movimientos del paciente, van a generar perturbaciones y datos erróneos.
- La interacción de elementos metálicos u objetos externos con la toma del examen, generan ruido y cierta distorsión en las ondas de la gráfica. Por lo tanto, es necesario alejar todos estos objetos y retirar las prendas de vestir que se requieran.
- Mantener conexiones directas como la energía y el cable de red durante la toma del examen altera de manera significativa la gráfica del resultado. Por lo anterior, resulta necesario desconectar estos cables.
- El sensor de ECG es poco específico en cuanto a la única derivación eléctrica amplificada. Sin embargo, se entiende que se trata de la segunda derivación (DII).
- Para una lectura óptima y adecuada de un examen de ECG, se requiere de las unidades establecidas tanto para el eje x y y, asimismo, la delimitación milimétrica que funciona como base en el análisis y la medición de la distancia que debe ser proporcional. Características faltantes en
- A pesar de que las gráficas obtenidas muestran las ondas y segmentos fundamentales, son estables, continuas y permiten una lectura superficial. Es necesario realizar un ajuste o calibración técnico al dispositivo, pues algunos intervalos de la gráfica no son precisos

Referencias.

- [1] Organización Mundial de la Salud. (9 de diciembre de 2020). Las 10 principales causas de defunción. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- [2] ESE Hospital Santa Marta de Samacá. (2019) Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de Samacá. Gobernación de Boyacá.
https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2019/asis_samaca_2019.pdf
- [3] Ballesteros, P. (2009). Anatomía del corazón. En López, A. y Macaya, C. (2009). Libro de la salud cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos y la Fundación BBVA (pp 35-40). Fundación bbva, ediciones Bilbao, España.
- [4] Vega, G. (2012). Diseño y construcción de un electrocardiógrafo de 12 derivaciones para el análisis de señales cardíacas [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica SalesianaH. Poor, An Introduction to Signal Detection and Estimation. New York: Springer-Verlag, 1985, Ch. 4.
- [5] Enfermería. top. (2020). Sistema de conducción del corazón y potenciales de acción [Imagen]. <https://enfermeria.top/apuntes/fisiopatologia/trastornos-frecuencia-cardiaca/sistema-conduccion/>
- [6] Azcona, L. (2009). El electrocardiograma. En López, A. y Macaya, C. (2009). Libro de la salud cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos y la Fundación BBVA (pp 49-56). Fundación bbva, ediciones Bilbao, España.
- [7] Uribe, W (2020). El origen de la electrocardiografía. William Uribe. <https://www.williamuribe.com/wp-content/uploads/2020/03/cap1-Introducci%C3%B3n-al-EKG.pdf>
- [8] ResearchGate. (2014). Componentes del electrocardiograma normal de la actividad eléctrica del corazón [Imagen]. https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Electrocardiograma-normal-de-la-actividad-electrica-del-corazon-La-onda-P-es_fig3_275044917
- [9] Álvarez, J., Díaz, C., Estrada, F., Félix, R., Maciel, M. y Ochoa, A. (2010). Sistema de Adquisición y Procesamiento de Señales Electrocardiográficas. Sistemas Cibernética e informática (vol.7), 1- 15.
- [10] ResearchGate. (2017). Electrodes placement [Imagen]. https://www.researchgate.net/figure/AD8232-electrodes-placement-AD8232-works-on-33-volts-3-The-ECG-sensor-AD8232-supplies_fig2_327273062

- [11] Mayo Clinic (s.f.). Arritmia cardíaca - Síntomas y causas. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/heart-arrhythmia/symptoms-causes/syc-20350668>
- [12] Mayo Clinic (s.f.). Enfermedad de las arterias coronarias - Síntomas y causas. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/coronary-artery-disease/symptoms-causes/syc-20350613>
- [13] Mayo Clinic (s.f.). Enfermedad cardíaca congénita en adultos - Síntomas y causas. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/adult-congenital-heart-disease/symptoms-causes/syc-20355456>
- [14] Mayo Clinic (s.f.). Enfermedad de las válvulas cardíacas - Síntomas y causas. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/heart-valve-disease/symptoms-causes/syc-20353727>
- [15] Mayo Clinic (s.f.). Endocarditis- Síntomas y causas. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/endocarditis/symptoms-causes/syc-20352576>
- [16] Mayo Clinic (s.f.). Paro cardíaco repentino - Síntomas y causas. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/sudden-cardiac-arrest/symptoms-causes/syc-20350634>
- [17] Montero, E. (2019). Desarrollo de la Etapa de Comunicación de un Electrocardiógrafo de Tres Derivaciones y la Aplicación para Visualización y Monitoreo Remoto Mediante Dispositivos Móviles. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Israel]. Repositorio Institucional de la Univesidad Tecnológica Israel]
- [18] Seneviratne, P. (2017). Arduino, Ethernet, and WiFi.En Building Arduino PLCs (pp. 23-55). Apress.
- [19] Bigtronica. (2021). Arduino Uno R3. [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.bigtronica.com/sistemas-arduino/tarjetas-arduino/8-arduino-uno-r3-5053212000080.html>
- [20] Components101. (s.f.). HC-05 - Bluetooth Module. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>
- [21] Cuellar electronica. (s.f.). Modulo Transceptor Bluetooth HC05. [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.eymelectronica.com/inicio/66-modulo-transceptor-bluetooth-hc05.html>
- [22] SparkFun Electronics. (s.f.). SparkFun Single Lead Heart Rate Monitor - AD8232. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.sparkfun.com/products/12650>

- [23] SparkFun Electronics. (s.f.). SparkFun Single Lead Heart Rate Monitor - AD8232. [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://www.sparkfun.com/products/12650>
- [24] ElectroniLab. (s.f.). Batería LiPo de 1200 mAh 3.7 V. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://electronilab.co/tienda/bateria-lipo-de-1200-mah-3-7-v/>
- [25] ElectroniLab. (s.f.). Batería LiPo de 1200 mAh 3.7 V. [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://electronilab.co/tienda/bateria-lipo-de-1200-mah-3-7-v/>
- [26] Goicoechea, A. (2014). Diseño de un canal de instrumentación para un sistema electrocardiograma y un pulsioxímetro. [Tesis de pregrado, Universidad de Navarra]. Repositorio Universidad de Navarra.
- [27] Carrillo, M. (2021). Introducción de Arduino. Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4, 9(17), 4-8.
- [28] Mlstatic. (s.f.). Jumpers. [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_917223-MCO41609283409_052020-F.webp
- [29] AV Electronics. (s.f.). Baquelita Perforada 5x7cm. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://avelectronics.cc/producto/baquelita-perforada-5x7cm/>
- [30] MaxElectrónica. (s.f.). Placa PCB Baquelita Perforada 1 Faz Tamaño 7x9cm para Prototipo [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://maxelectronica.cl/pcb/592-placa-pcb-baquelita-perforada-1-faz-tamano-7x9cm-para-prototipo.html>
- [31] Descubrearduino.com. (s.f.). Protoboard, ¿Qué es y cómo se usa? [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://descubrearduino.com/protoboard/>
- [32] Github. (2021). Conexión del arduino con el Sensor. [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de https://github.com/alswnet/NocheProgramacion/blob/master/series/bluetooth_con_arduino/001_Como_conectar_bluetooth_a_arduino/Diagrama/ArduinoMasBluetooth_bb.png
- [33] Github. (2021). Conexión de la placa Arduino Uno y el módulo de Bluetooth HC-05. [Imagen]. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de https://github.com/alswnet/NocheProgramacion/blob/master/series/bluetooth_con_arduino/001_Como_conectar_bluetooth_a_arduino/Diagrama/ArduinoMasBluetooth_bb.png

Anexo.

Enlace de descarga libre de la aplicación Arduino <https://www.filehorse.com/es/descargar-arduino>.