

2020

ELECTROCARDIOGRAMA BASADO EN LA PLATAFORMA DE ARDUINO

ROCO GUTIERREZ, NATALY JAZMIN

<https://hdl.handle.net/11673/49611>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

ELECTROCARDIOGRAMA BASADO EN LA PLATAFORMA DE ARDUINO

Trabajo de Titulación para optar al Título de
TÉCNICO UNIVERSITARIO EN ELECTRÓNICA

Alumno:

Nataly Jazmín Roco Gutiérrez

Profesor Guía:

Mag. Guelis Darío Montenegro Zamora

Profesor Correferente:

Mag. Loreto Elisa Marín Carcey

2020

RESUMEN

Keywords: Electrocardiograma, ECG, EKG, Arduino, equipo médico.

El presente trabajo se enfocará en el mercado de los electrocardiógrafos y la construcción de un equipo funcional ofreciendo algunas alternativas para mejorar la accesibilidad a estos mediante la construcción de uno con manufactura nacional. Se dará el contexto necesario para entender el funcionamiento del equipo desde la perspectiva fisiológica y como los impulsos que genera el corazón son leídos para convertirse en el ECG. Se verá la evolución del electrocardiógrafo a lo largo de la historia y se presentaran comparativas de distintos modelos disponibles en el mercado actual. Se presentarán distintas formas de construir un electrocardiógrafo o un equipo similar en funcionalidad. Finalmente se conocerán las razones por las cuales se eligió la alternativa para construir un modelo y los componentes a utilizar, tanto como sus principales características para implementar un prototipo que ponga en práctica el concepto de la solución propuesta.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A.SIGLAS

AV	:	Nodo auriculoventricular.
Avf	:	Derivación ubicada en la parte superior derecha.
aVL	:	Derivación ubicada en la parte superior izquierda.
aVR	:	Derivación de pie.
EKG o ECG	:	Electrocardiograma.
GND	:	Puntos del circuito que tiene potencial cero.
ICSP	:	In Circuit Serial Programming.
IDE	:	Entorno de desarrollo interactivo.
lpm	:	Latidos por minuto.
MINSAL	:	Ministerio de Salud de Chile es el Ministerio de Estado.
OUTPUT	:	Salida.
PWM	:	Modulación por ancho o de pulso.
QRS	:	Conjunto de ondas que representan la despolarización de los ventrículos.
RAM	:	Random Access Memory.
RDHH	:	Rama derecha del haz de hiz.
RIHH	:	Rama izquierda del haz de hiz.
RXD	:	Puerto llamado Receive Data.
SA	:	Nodo sinusal.
TXD	:	Puerto de Transmit Data.
Vcc	:	Alimentación positiva del circuito.
USB	:	Bus Universal en Serie.

B. SIMBOLOGÍA

bd	:	Baudio.
BPM	:	Pulsaciones por minuto.
C /C++	:	Lenguaje de programación
GHz	:	Gigahercio.
Hz	:	Hercio.
K	:	Kilo.
Km	:	Kilometro.
MB	:	Megabyte.
Mbps	:	Megabit por segundo.
Mhz	:	Megahercio.
mm	:	Milímetro.
ms	:	Milisegundo
°	:	Grados de arco.
seg	:	Segundo.
V	:	Voltio.
Na ⁺	:	Catión de sodio.
Ca ²⁺	:	Catión de calcio.
K ⁺	:	Catión de potasio.
Cl ⁻	:	Anión de cloro.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN	1
1. EVOLUCIÓN DEL ECG	3
1.1¿QUÉ ES UN ECG?	3
1.1.2. Electrofisiología del corazón	3
1.1.1 Historia	4
1.1.3. Electroodos	8
1.2 LECTURA DE UN ECG	9
1.2.1. Descripción de la onda cardiaca	10
1.2.2. Descripción de las ondas	11
1.2.3. Eje eléctrico	13
1.2.4. Derivaciones	13
1.2.5. Objetivos de la realización de un electrocardiograma	16
1.3. PARTES DE UN ELECTROCARDIÓGRAFO	18
1.4. EL MECARDO DEL ELECTROCARDIOGRAFO	19
1.4.1. Amazon	19
1.4.2. Ebay	22
1.4.3. Aliexpress	24
1.4.4. Solostocks.cl	25
1.5. SOLUCIONES	28

1.5.1. Sensor de pulso cardiaco	28
1.5.2. Electrocardiógrafo paso por paso	29
1.5.3. Electrocardiograma basado en Arduino	30
1.6. SOLUCIÓN ELEGIDA	31
1.7. COMPONENTES DEL PROYECTO	31
1.7.1. Modulo Bluetooth HC-05	31
1.7.2. Módulo ECG AD8232 Monitor Cardiaco	32
1.7.3. Arduino UNO	33
1.7.4. Teléfono Android	33
1.8. OBJETIVOS DE PROYECTO	34
1.8.1. Objetivo General	34
1.8.2. Objetivos Específicos	34
CAPÍTULO 2: FUNCIONES Y CONEXIÓN DE COMPONENTES	35
2. FUNCIONES Y CONEXIÓN DE COMPONENTES	36
2.1. CONEXIÓN ENTRE EL ARDUINO Y EL MODULO ECG AD8232	36
2.2. CONEXIÓN ENTRE EL MÓDULO BLUETOOTH HC-05 Y EL ARDUINO	37
2.3. DISEÑO DEL PROCESO	37
2.4. DISEÑO DEL PROGRAMA ENTRE EL MÓDULO ECG AD8232 Y ARDUINO	38
2.5. CONFIGURACIÓN DE MÓDULO BLUETOOTH	39
2.6. DISEÑO DEL PROGRAMA EN MIT APP INVENTOR	41
2.7. LOCALIZACIÓN DE LOS ELECTRODOS	43
2.8. VISTA FINAL DE LA MAQUETA	44
CAPÍTULO 3: RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN, CONSIDERACIONES Y COSTOS DE PROYECTO	46
3. RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN, CONSIDERACIONES Y COSTOS DE PROYECTO	47
3.1. DESARROLLO	48
3.1.1. Pruebas preliminares	48
3.2. PROBLEMAS EN EL DESARROLLO	54

3.3. COSTOS DEL PROYECTO	55
CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFIA	59
GLOSARIO	60
ANEXO	61
A. Programa Arduino UNO	61
B. Programa configuración bluetooth	62
A. Diseño programa en bloque	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1 Sistema de conducción eléctrico del corazón	4
Figura 1- 2 Electrómetro capilar Lippmann.....	5
Figura 1- 3 Galvanómetro de Einthoven	7
Figura 1- 4 Electrocardiógrafo portátil.....	7
Figura 1- 5 Electrodo: Captación de electrodo	8
Figura 1- 6 Papel ECG	9
Figura 1- 7 Ondas que componen el corazón	11
Figura 1- 8 Puntos de derivaciones	14
Figura 1- 9 Derivaciones precordiales	15
Figura 1- 10 Componentes ECG.....	17
Figura 1- 11 Esquema electrocardiógrafo	18
Figura 1- 12 Denshine electrocardiógrafo Digital Portátil de 6 Derivaciones con Software	20
Figura 1- 13 L&F Electrocardiógrafo PC-80B	21
Figura 1- 14 Nasiff CardioCard Holter electrocardiograma	22
Figura 1- 15 Monitor Portátil electrocardiograma ECG corazón PRINC 180B	23
Figura 1- 16 Monitor de ECG portátil con pantalla táctil EKG ECG	24
Figura 1- 17 CONTEC ECG EKG máquina portátil monitor de ritmo cardíaco.....	25
Figura 1- 18 Electrocardiógrafo Mortara modelo eli-150	26
Figura 1- 19 Holter de arritmia ECG ambulatorio de 3 canales	27
Figura 1- 20 Esquemático sensor pulso cardíaco	29
Figura 1- 21 Diagrama de bloques Electrocardiograma.....	30
Figura 1- 22 Módulo Bluetooth HC-05	32
Figura 1- 23 Módulo ECG AD232.....	32
Figura 1- 24 Placa Arduino UNO.....	33
Figura 1- 25 Referencia teléfono celular	34
Figura 2- 1 Conexión entre Arduino y módulo	36

Figura 2- 2 Conexión Arduino y bluetooth	37
Figura 2- 3 Esquema diseño inicial	38
Figura 2- 4 Proceso de la señal (en bloque)	39
Figura 2- 5 Consola AT	39
Figura 2- 6 Conexión para configurar bluetooth	40
Figura 2- 7 Interfaz App inventor	41
Figura 2- 8 Inicialización Bluetooth	41
Figura 2- 9 Inicialización variables globales	42
Figura 2- 10 Diseño del gráfico.....	42
Figura 2- 11 Posición electrodos	43
Figura 2- 12 Electrodo	44
Figura 2- 13 Vista frontal del prototipo.....	44
Figura 2- 14 Vista superior prototipo	45
Figura 3- 1 ECG Funcionando	48
Figura 3- 2 Desconexión de un electrodo	49
Figura 3- 3 ECG con calibrador de equipo.....	49
Figura 3- 4 Calibrador conectado a módulo.....	50
Figura 3- 5 ECG con fibrilaciones.....	50
Figura 3- 6 ECG con Baudio a 9600	51
Figura 3- 7 Señal única.....	51
Figura 3- 8 Módulo Bluetooth	52
Figura 3- 9 Pantalla de conexión dentro de la aplicación	52
Figura 3- 10 Conexión exitosa	53
Figura 3- 11 Vista del ECG en Android	53
Figura 3- 12 Módulo ESP32	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1 Especificaciones técnicas: Denshine electrocardiógrafo Digital Portátil de 6 Derivaciones con Software.....	20
Tabla 1- 2 Especificaciones técnicas: L&F Electrocardiógrafo PC-80B	21
Tabla 1- 3 Especificaciones técnicas: Nasiff CardioCard Holter electrocardiograma	22
Tabla 1- 4 Especificaciones técnicas PRINC 180B.....	23
Tabla 1- 5 Especificaciones técnicas Monitor de ECG portátil con pantalla táctil EKG ECG	24
Tabla 1- 6 Especificaciones técnicas CONTEC ECG EKG	25
Tabla 1- 7 Especificaciones técnicas electrocardiógrafo Mortara modelo eli-150.....	26
Tabla 1- 8 Especificaciones técnicas Holter De Arritmia ECG Ambulatorio De 3 Canales	27
Tabla 3- 1 Cotización materiales.....	55
Tabla 3- 2 Comparación entre el proyecto y los modelos existentes.....	56

INTRODUCCIÓN

El electrocardiograma (EKG o ECG) es una prueba diagnóstica que evalúa el ritmo y la función cardíaca a través de un registro de la actividad eléctrica del corazón desde la superficie corporal.

Es el instrumento principal de la electrofisiología cardíaca y tiene una función relevante en el diagnóstico de las enfermedades cardiovasculares, alteraciones metabólicas y la predisposición a una muerte súbita cardíaca.

Actualmente en Chile el desarrollo de la industria biomédica es muy bajo, el cual importa un 95.5% su equipamiento médico desde el extranjero, manejando así solo el servicio técnico de estos equipos, previo a un proceso de capacitación de la empresa encargada de construirlo.

La problemática es que en el Chile existen técnicos e ingenieros capacitados, existe la facilidad de poder acceder a gran parte de los componentes que utilizan estos equipos y se cuenta con la industria del cobre, entonces, ¿Por qué no se produce nacionalmente equipo médico? Y de esta manera se reduciría enormemente los precios de estos equipos y desde el comienzo serían fabricados con toda la reglamentación que el MINSAL pide para estos equipos.

Por lo que este trabajo de título está orientado a encontrar una manera eficiente de poder crear un ECG, de manera que facilite tanto el uso como la lectura de sus resultados para que sean más amigables con el usuario y que pueda ser una alternativa a los equipos del mercado actual.

CAPÍTULO 1: EVOLUCIÓN DEL ECG

1. EVOLUCIÓN DEL ECG

En este capítulo se conocerá la historia del ECG, en qué consiste el examen y las particularidades de la lectura de este examen. Luego se verán algunos ejemplos de los modelos que hoy circulan en el mercado, viendo sus respectivos valores y cómo estos interactúan con los usuarios.

Posteriormente se planteará la problemática que envuelve esta investigación. Se propondrán algunas soluciones posibles para la problemática mencionada, seleccionando una de ellas para ser llevada a cabo. Finalmente, se presentarán las características de los componentes a utilizar para desarrollar la prueba de concepto.

1.1¿QUÉ ES UN ECG?

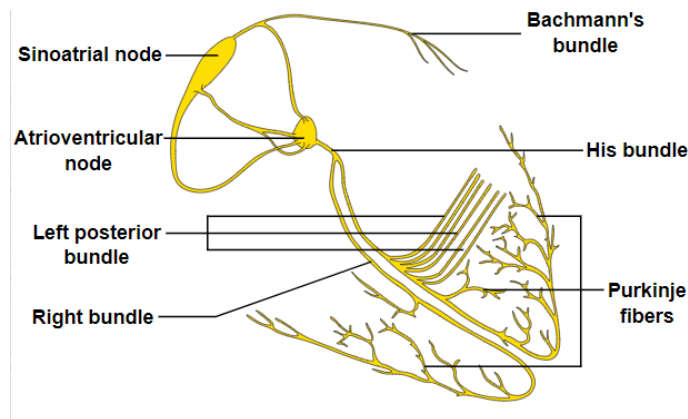
Un electrocardiograma (ECG) es el registro de la actividad gráfica del voltaje vs el tiempo del comportamiento del corazón, que se obtiene desde la superficie corporal en el pecho a través de un electrocardiógrafo en forma de cinta continua.

1.1.2. Electrofisiología del corazón

El sistema de conducción del corazón consiste en cinco tejidos especializados:

- Nodo Sinusal (Nodo SA): 60-100 lpm
- Nodo auriculoventricular (nodo AV): 45-50 lpm
- Haz de hiz: 40-45 lpm
- Rama izquierda de haz de hiz (RIHH) y rama derecha (RDHH): 40-45 lpm
- Fibras de Purkinje: 35-40 lpm,

En el corazón, las señales eléctricas se originan en la aurícula derecha, específicamente en el nodo sinusal llegando al nodo auriculoventricular, donde por el haz de his se transmiten por las ramas derechas e izquierda que a su vez se distribuyen por todo el corazón a través de las fibras de purkinje, dando lugar al latido cardiaco (ver figura 1-1).



Fuente: Madhero88 (original files) < [https:// ConductionsystemoftheheartwithouttheHeart.png](https://ConductionsystemoftheheartwithouttheHeart.png) > [extraído 03.09.2020]

Figura 1- 1 Sistema de conducción eléctrico del corazón

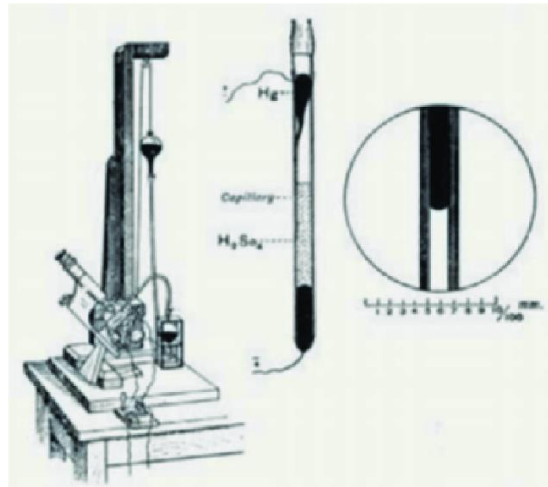
1.1.1 Historia

Los antecedentes más relevantes para la creación ECG tiene su origen entre los años 1842 hasta 1942 periodo donde se hicieron los cambios más relevantes del equipo, desde entonces se han ido perfeccionando sus componentes para evitar corrientes de fugas o lecturas erráticas.

A continuación, se presenta la cronología con los años y datos más importantes.

- 1842: El físico italiano Carlo Matteucci muestra cómo la corriente eléctrica acompaña a cada latido cardíaco.
- 1869-70: Alexander Muirhead del St Bartholomew's Hospital de Londres, dice haber registrado un electrocardiograma, pero esto es cuestionado.

- 1872: El físico francés Gabriel Lippmann inventa un electrómetro capilar (ver figura 1-2). Consistía en un tubo fino y de vidrio con una columna de mercurio bañada con ácido sulfúrico. El menisco del mercurio se mueve con las variaciones de los potenciales eléctricos y esto es observable a través del microscopio.



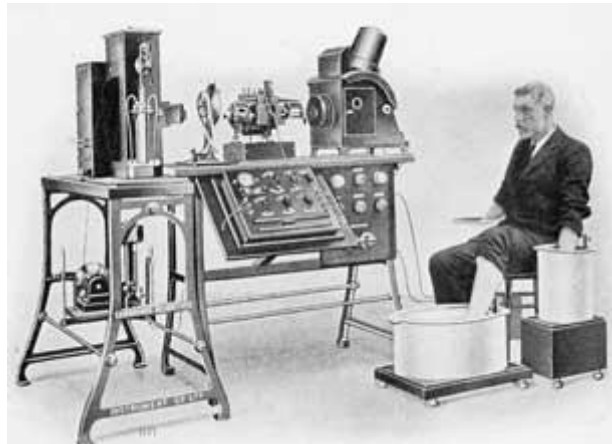
Fuente: Liliana Barragan. Bioamplificadores. Revista Colombiana de radiología https://www.researchgate.net/figure/Figura-16-Electrometro-capilar-construido-por-Lippmann-contaba-con-microscopio-para_fig8_271053621 [extraído 18.08.2020]

Figura 1- 2 Electrómetro capilar Lippmann

- 1878: El fisiólogo británico John Burden Sanderson y Frederick Page registran la corriente eléctrica del corazón con un electrómetro capilar y muestran cómo tiene dos fases posteriormente denominadas QRS y T.
- 1887: El fisiólogo británico Augustus D. Waller del St. Mary's Medical School de Londres, publica su primer electrocardiograma humano. Registro fue realizado a Thomas Goswell, técnico de laboratorio.
- 1890: GJ Burch, de Oxford, inventa una corrección aritmética para las fluctuaciones (tardías) observadas en el electrómetro. Permite que sean vistas las ondas reales del electrocardiograma, pero sólo después de este tedioso cálculo.
- 1891: El fisiólogo británico William Bayliss y Edward Starling del University College de Londres, perfeccionan el electrómetro capilar. Ellos conectan los terminales a la mano derecha y a la piel sobre la zona del latido del ápex y muestra unas «variaciones trifásicas

acompañando (mejor dicho, precediendo) a cada latido del corazón». Estas deflexiones fueron denominadas posteriormente onda P, complejo QRS y onda T.

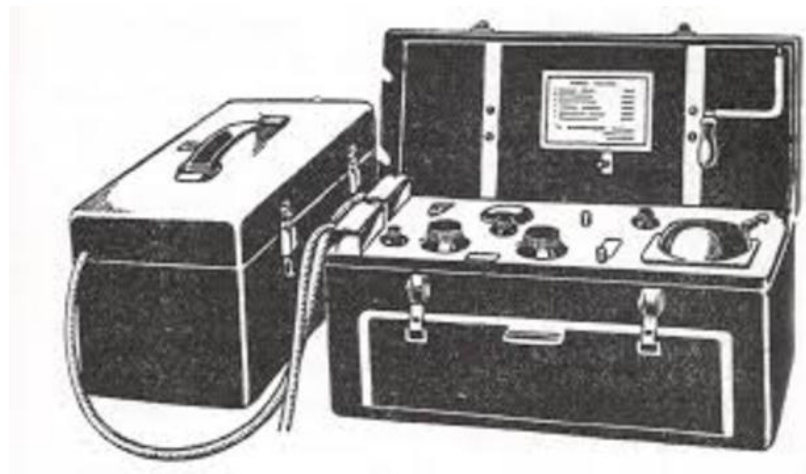
- 1893: Willem Einthoven introduce el término «electrocardiograma» en un encuentro de la Asociación Médica Holandesa.
- 1902: Einthoven publica el primer electrocardiograma recogido con un galvanómetro de cuerda.
- 1905: Einthoven comienza a transmitir electrocardiogramas desde su laboratorio al hospital situado a 1,5 Km de distancia, vía cable telefónico. El 22 de marzo de 1905 es registrado el primer electrocardiograma a distancia realizado a un hombre vigoroso y saludable.
- 1906: Einthoven publica por vez primera un texto con electrocardiogramas normales y patológicos registrados con un galvanómetro de hilo. Hipertrofia ventricular izquierda y derecha, hipertrofia auricular izquierda y derecha, onda U (por primera vez), complejos QRS mellados, latidos prematuros ventriculares, bigeminismo ventricular, flutter auricular y bloqueos cardíacos completos fueron descritos en el texto.
- 1912: Einthoven escribe a la Sociedad de Clínicos de Chelsea en Londres y describe un triángulo equilátero formado por las derivaciones estándar I, II y III; que posteriormente se conocerán como «triángulo de Einthoven».
- 1928: Ernstine y Levine informan del uso de tubos de vacío para amplificar el electrocardiograma, ampliando así el mecanismo de recogida del galvanómetro de cuerda convencional (ver figura 1-3).



Fuente: José L. Fresquet. [historiadelamedicina.org < https://www.historiadelamedicina.org/einthoven.html >](https://www.historiadelamedicina.org/einthoven.html) [extraído 03.09.2020]

Figura 1- 3 Galvanómetro de Einthoven

- 1928: La compañía de Frank Sanborn (más tarde adquirida por Hewlett Packard) transforma su electrocardiógrafo de sobremesa en el primer electrocardiógrafo portátil (ver figura 1-4), con un peso de 50 libras (23 kilos) y una potencia de batería autónoma de 6 voltios.



Fuente: Emanuel Peña. History < <https://www.timetoast.com/timelines/historia-del-encefalograma> > [extraído 18.08.2020]

Figura 1- 4 Electrocardiógrafo portátil

- 1942: Emanuel Goldberger aumenta el umbral de las derivaciones aVR, aVL y aVF, que junto a las 3 derivaciones de Einthoven (I, II y III) y a las 6 derivaciones precordiales

completan el electrocardiograma convencional de 12 derivaciones que actualmente se utilizan.

1.1.3. Electrodos

Los electrodos son los dispositivos sensitivos que captan la actividad eléctrica que ocurre bajo ellos, estos se pegan en la piel en zonas establecidas. Los registros de estos se basan en la dirección o vectores del voltaje captado (ver figura 1-5).



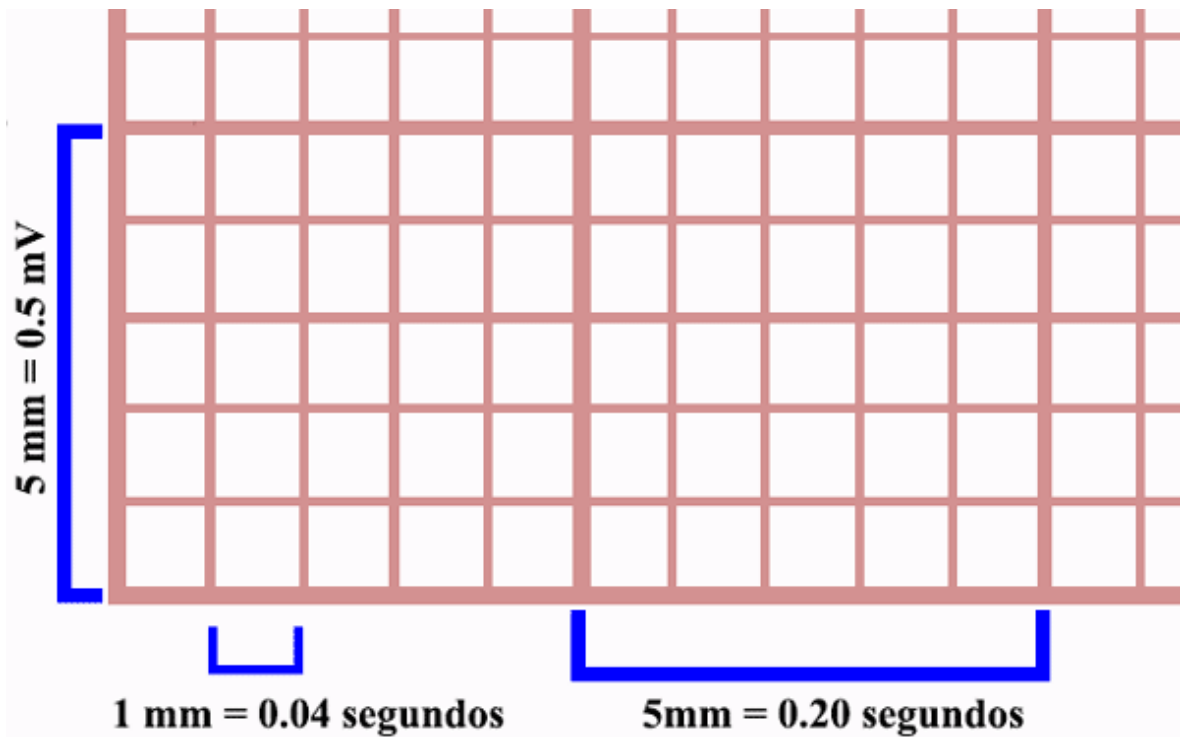
Fuente: Maximiliano Godoy. Catedra Angiografía y Hemodinamia UV [extraído 03.09.2020]

Figura 1- 5 Electrodos: Captación de electrodos

Los impulsos eléctricos se registran en forma de líneas o curvas en un papel milimetrado, las cuales traducen tanto en la contracción o relajación de las aurículas y ventrículos como de la dirección del voltaje en estos procesos. Esto se registra en papel ECG, el cual es un papel milimetrado, donde cada cuadro pequeño mide 1 mm y donde cada 5 cuadros pequeños hay una línea más gruesa que define un cuadro grande.

A su vez cada cuadro está estandarizado, el eje vertical mide la amplitud de la corriente eléctrica del corazón y se da en milivoltios, donde cada milímetro de altura del papel de ECG

equivale a 0.1 mV y cada cuadro grande 0.5 mV. Mientras el eje horizontal mide el tiempo, donde cada milímetro de ancho equivale a 0.04 s y un cuadrado grande equivale a 0.20 s. Por tanto, el conjunto del registro eléctrico en papel ECG es lo que se llama electrocardiograma (ver figura 1-6).



Fuente: Anónimo. Papel del Electrocardiograma < <https://www.my-ekg.com/generalidades-ekg/papel-ekg.html> > [extraído 03.09.2020]

Figura 1- 6 Papel ECG

1.2 LECTURA DE UN ECG

El ECG presenta como línea guía la denominada línea isoelectrica o línea basal, que puede identificarse fácilmente como la línea horizontal existente al prender el equipo. Los latidos cardíacos quedan representados en el ECG normal por las diferentes oscilaciones de la línea basal en forma de ángulos, segmentos, ondas e intervalos, constituyendo una imagen característica que se repite con una frecuencia regular a lo largo de la tira de papel del ECG. Cabe destacar que

entre latido y latido va discurriendo la línea base. Como se ha mencionado, el recorrido en sentido horizontal hace referencia al tiempo transcurrido, y la distancia en sentido vertical al voltaje que se está produciendo. El papel por el que discurre el registro de la línea se encuentra milimetrado. Para observar cómo transcurren los tiempos durante la actividad del corazón, basta con recordar que cinco cuadrados grandes en sentido horizontal equivalen exactamente a un seg. Un ECG normal, cada complejo consta de una serie de deflexiones (ondas del ECG) que se 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.

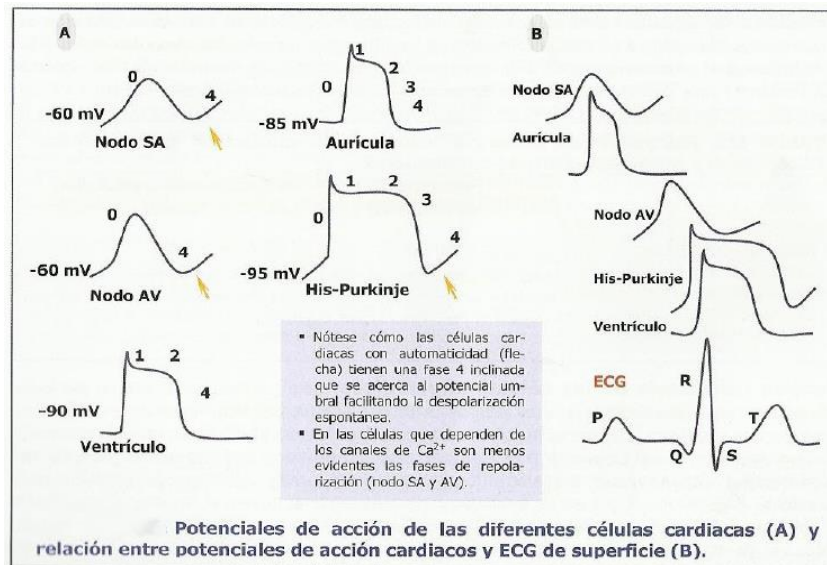
1.2.1. Descripción de la onda cardiaca

La onda es generada en la célula cardiaca. Esto se produce por la entrada de Na^+ o Ca^{2+} , esta se despolariza porque el potencial se hace menos negativo y cuando se produce salida de K^+ o entrada de Cl^- se facilita la repolarización porque el potencial de la membrana se hace negativo.

Hay otras células que tienen la capacidad de despolarizarse espontáneamente (llegan al potencial de umbral y se despolarizan sin necesidad de estímulo externo). Por ejemplo, las células de los nodos SA y AV pueden realizar esto.

El ECG es la suma de las diferentes ondas generadas por las distintas partes del corazón.

1.2.2. Descripción de las ondas



Fuente: Francisco Frayre, Cynthia Guerra, Jhoanna Juárez y otros. Potencial de acción cardíaco. UNAN <
<http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/fis/wp-content/uploads/2018/11/UT-II-Guia10.pdf>> [extraído 18.08.2020]

Figura 1- 7 Ondas que componen el corazón

En la figura 1-7 se ven las principales ondas generadas por el corazón a continuación se describirán.

La onda P es la primera deflexión hacia arriba que aparece en el ECG. Su forma recuerda a una mezcla entre una U y una V invertidas. Suele durar unos dos cuadrados pequeños (con duración se hace referencia al tiempo, por lo que se debe mirar el número de cuadrados en sentido horizontal). Representa el momento en que las aurículas se están contrayendo y enviando sangre hacia los ventrículos.

Segmento P-R es el tramo de la línea basal (línea isoelectrica) que se encuentra entre el final de la onda P y la siguiente deflexión —que puede ser hacia arriba (positiva) o hacia abajo (negativa)— del ECG. Durante este período, las aurículas terminan de vaciarse y se produce una relativa desaceleración en la transmisión de la corriente eléctrica a través del corazón, justo antes del inicio de la contracción de los ventrículos.

Complejo QRS corresponde con el momento en que los ventrículos se contraen y expulsan su contenido sanguíneo. Como su nombre indica, consta de las ondas Q, R y S. La onda Q no siempre está presente. Se identifica por ser la primera deflexión negativa presente después del segmento P-R. Toda deflexión positiva que aparezca después del segmento P-R corresponde ya a la onda R propiamente dicha y, el hecho de que no vaya precedida por una onda Q no es en absoluto patológico. De hecho, y siempre en relación con un ECG normal, las ondas Q deben ser de pequeño tamaño —no mayores que un cuadrado pequeño, tanto en longitud (duración) como en profundidad (voltaje)— y encontrarse presentes sólo en ciertas derivaciones. La onda R es muy variable en altura (no debe olvidarse que las mediciones en el eje vertical tanto en altura como en profundidad expresan voltaje), ya que puede llegar a medir desde medio cuadrado hasta incluso cuatro o cinco cuadrados grandes en el caso de personas jóvenes deportistas. La onda S se observa como continuación directa de la onda R y comienza a partir del punto en que esta última, en su fase decreciente, se hace negativa. En conjunto, el complejo formado por las ondas Q, R y S no debe exceder en duración más de dos cuadrados pequeños.

Segmento ST es el trazado de la línea basal que se encuentra entre el 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, especialmente si dichas oscilaciones coinciden con sintomatología característica que pueda expresar afectación en el aporte de oxígeno al corazón. En este sentido, su valor como herramienta diagnóstica resulta insustituible.

Onda T se inscribe a continuación del segmento ST. Consiste en una deflexión normalmente positiva (es decir, por encima de la línea basal) que asemeja el relieve de una montaña más o menos simétrica. Su altura suele estar entre dos y cuatro cuadrados pequeños y su duración no debe exceder los tres. La onda T representa el momento en que el corazón se encuentra en un período de relajación, una vez que ha expulsado la sangre que se hallaba en los ventrículos.

1.2.3. Eje eléctrico

El QRS tiene una serie de ondas que pueden ser positivas o negativas y esto viene definido por la dirección que tienen los vectores eléctricos del corazón. Cuando el vector se dirige hacia una derivación, el QRS será tanto más positivo cuanto más directamente se dirija el vector a dicha derivación. Y el QRS será más negativo cuanto más directamente se aleje el vector de esa derivación.

Los distintos vectores que se producen con la activación cardíaca dan lugar a un solo vector que se conoce como eje eléctrico del corazón y que se puede calcular con las derivaciones del plano frontal.

El eje normal se sitúa entre los 0° y los $+90^\circ$. Si se sitúa entre los 0° y los -90° decimos que está desviado a la izquierda y si se sitúa entre los $+90^\circ$ y los 180° estará desviado a la derecha. Entre -90° y 180° el eje se considera indeterminado.

Se posiciona la derivación (del plano frontal) en la cual el complejo QRS es isodifásico (parte positiva y negativa del complejo son iguales). El eje eléctrico será perpendicular a esta derivación. Con esto todavía se tendrá dos posibles sentidos hacia los que se dirija el eje.

Para conocer el sentido del eje hay que basarse en el QRS: el eje apuntará hacia la derivación en la que el QRS sea positivo.

1.2.4. Derivaciones

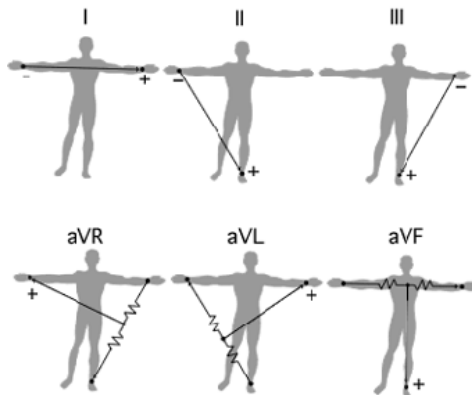
Las derivaciones son los puntos de la actividad eléctrica del corazón, adquiere en la superficie del cuerpo del paciente a través de electrodos, estos últimos registran las señales generados por la fuente cardíaca para su posterior visualización. Es importante recordar que para obtener una buena señal se debe ubicar de forma correcta los electrodos, para lo cual se consideran las leyes de Eithoven que establece el uso de las derivaciones, las mismas se clasifican en:

- 6 derivaciones estándar, que a su vez se divide en bipolares y unipolares o aumentadas

- 6 derivaciones precordiales

Cada una de estas registra una señal concreta del corazón.

Las derivaciones estándar bipolares que permite la medición del ciclo cardíaco registran la diferencia de tensión entre dos extremidades formando el triángulo de Eithoven, existiendo tres tipos de conexión entre estas según se observa en la figura 1-8.



Fuente: Adam Thompson. Health Education Community < <http://paramedicine101.blogspot.com/2009/09/electrocardiogram-part-ii.html> >
[extraído 20.08.2020]

Figura 1- 8 Puntos de derivaciones

- Derivación I.
Registra las variaciones entre el brazo derecho (polo negativo) y el brazo izquierdo (polo positivo).
- Derivación II
Registra la diferencia de potencia de los electrodos situados entre la pierna izquierda (polo positivo) y el brazo derecho (polo negativo).
- Derivación III
Registra la diferencia de potencia que existe entre la pierna izquierda (polo positivo) y el brazo izquierdo (polo negativo)

Las siguientes derivaciones son derivaciones estándar unipolares o aumentadas.

- Derivación aVR

Registra el potencial en el brazo derecho respecto a un punto nulo, el cual se obtiene uniendo los cables del brazo izquierdo y de la pierna izquierda.

- Derivación aVL

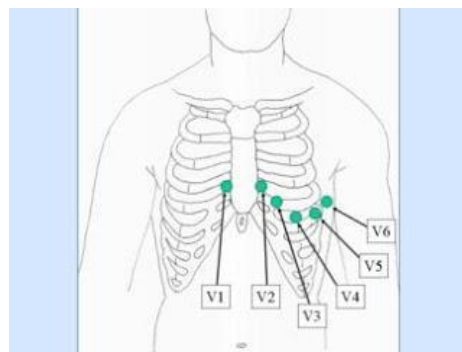
Registra el potencial en el brazo izquierdo con relación a una conexión hecha mediante la unión de los cables del brazo derecho y del pie izquierdo.

- Derivación aVF

Registra el potencial en el pie izquierdo respecto a la conexión hecha con la unión de los cables de los brazos derecho e izquierdo.

Por tanto, podemos decir que la derivación estándar permite conocer el comportamiento arriba abajo del corazón.

Por último, las derivaciones precordiales informan el comportamiento del vector en sentido anterior o posterior y de derecho a izquierdo, las cuales se ubican en la disposición de la figura 1-9.



Fuente: MPG. Apuntes auxiliar enfermería. < <https://apuntesauxiliarenfermeria.blogspot.com/2011/02/el-electrocardiograma.html> > [extraído 19.08.2020]

Figura 1- 9 Derivaciones precordiales

- Derivación V1: Cuarto espacio intercostal derecho, línea paraesternal derecha.
- Derivación V2: Cuarto espacio intercostal izquierdo, línea paraesternal izquierda.

- Derivación V3: Equidistante de V2 y V4.
- Derivación V4: Quinto espacio intercostal izquierdo, línea medio claviclar.
- Derivación V5: Quinto espacio intercostal izquierdo, línea anterior axilar.
- Derivación V6: Quinto espacio intercostal izquierdo, línea axilar media

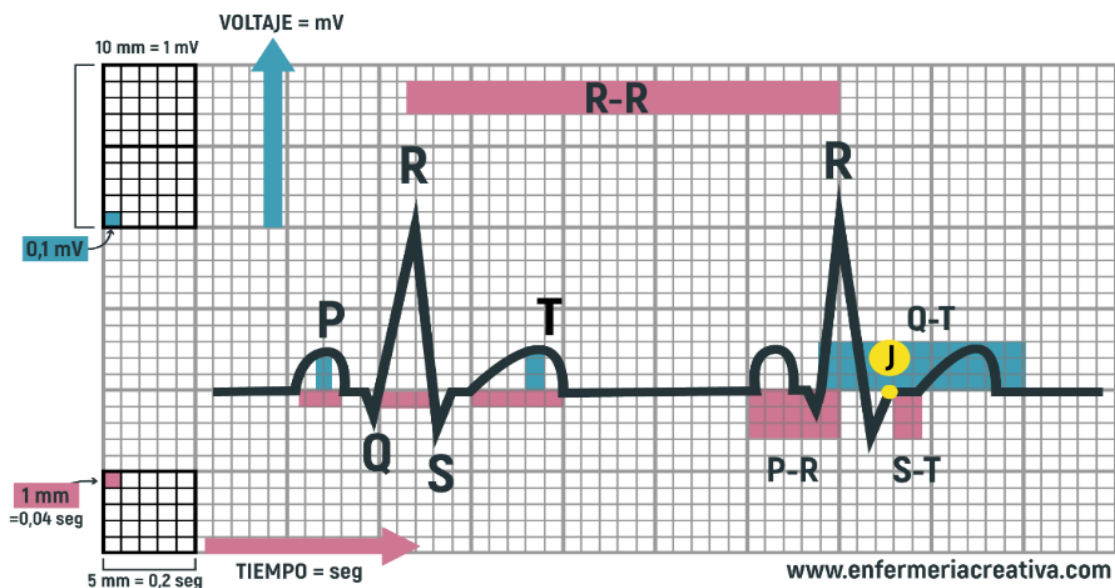
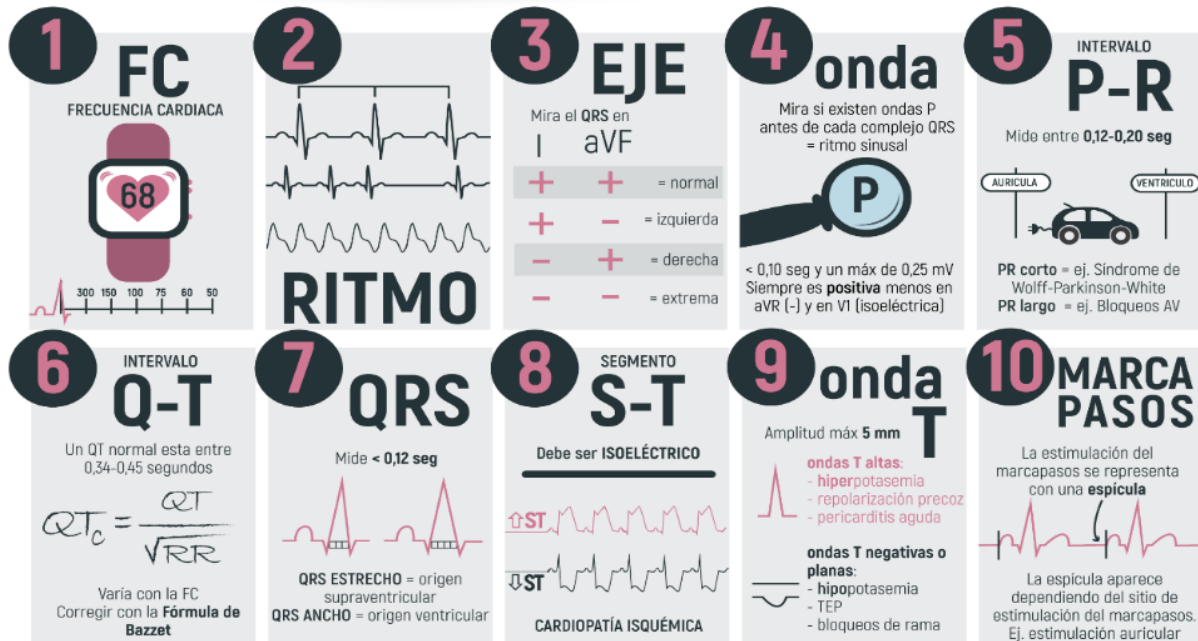
Por tanto, al colocar todas las derivaciones se puede observar el comportamiento tridimensional del vector cardíaco

1.2.5. Objetivos de la realización de un electrocardiograma

El ECG es una prueba diagnóstica asequible, segura y sencilla de realizar, que proporciona una gran cantidad de información con relación al estado del corazón. En la figura 1-10 se observan los componentes de un ECG, como se debe leer, su trazado característico y los cambios que se producen en el rango del patrón de normalidad del ECG que suelen asociarse con enfermedades cardíacas. Fundamentalmente, se utiliza para detectar trastornos del ritmo cardíaco (arritmias) y en el diagnóstico de las situaciones que cursan con un aporte insuficiente de sangre al corazón (infarto de miocardio y angina de pecho). El ECG permite diferenciar el ritmo normal del corazón (denominado ritmo sinusal), de cualquier tipo de taquicardia ritmos en los que el corazón late a una frecuencia anormalmente rápida (100-300 latidos por minuto).

— Cómo interpretar un ELECTROCARDIOGRAMA —

@Creative_Nurse

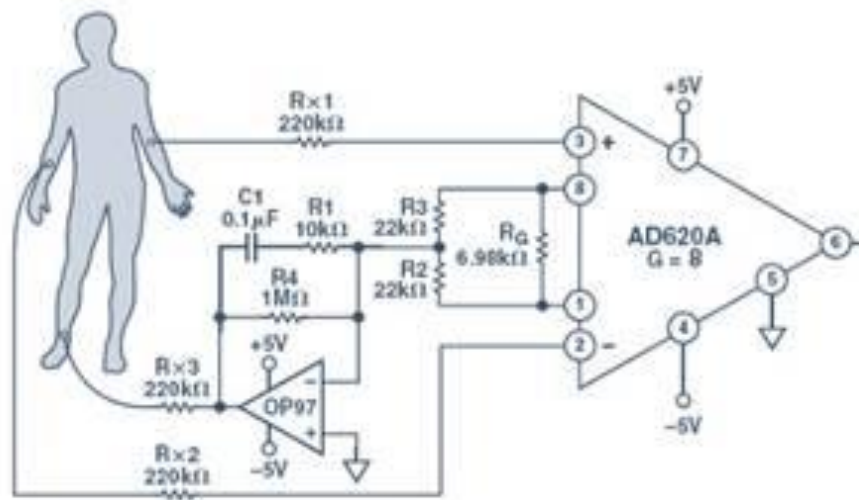


Fuentes: my-ekg.com y cardioteca.com

Fuente: Anónimo. Cardiacos.net <https://cardiacos.net/terminologia-del-electrocardiograma/> [extraído 20.08.2020]

Figura 1- 10 Componentes ECG

1.3. PARTES DE UN ELECTROCARDIÓGRAFO



Fuente: Anónimo. Material médico <<https://materialmedico.org/wp-content/uploads/2017/08/electrocardiografo-dise%C3%B1o.jpg>> [extraído 29.08.2020]

Figura 1- 11 Esquema electrocardiógrafo

En la figura 1-11 se observa el esquema de un electrocardiógrafo que se describirá a continuación:

- Circuito de protección: señal de calibración, preamplificador, circuito de aislamiento y amplificador manejador: estas cinco partes corresponden a un amplificador de biopotenciales.
- Circuito de pierna derecha: crea una tierra activa aislada de la tierra eléctrica del circuito en la pierna derecha del paciente, con el objetivo de reducir los voltajes que recibe, y en consiguiente aumentar su seguridad. Esto se consigue reduciendo la impedancia del electrodo de tierra.
- Selector de derivaciones: se trata de un módulo que se coloca de manera fácil a un sistema de amplificación de biopotenciales. El módulo pondera la contribución de cada electrodo a través de resistencias, logrando la derivación de interés.
- Sistema de memoria: se trata de una memoria donde se almacena la señal antes de imprimirse junto con los datos que se introducen manualmente a través de un

teclado digital. Se utiliza un convertidor analógico digital encargado de convertir la señal.

- Microcontrolador: este componente controla cada uno de los procedimientos que realiza el electrocardiógrafo. El profesional tiene varios modos de operación con procedimientos predeterminados. Un ejemplo sería poder registrar doce derivaciones con cuatro latidos en cada una o por segmentos de tiempo fijados.
- Registrador: es el encargado de imprimir la señal que captan los electrodos, es decir, el resultado del electrocardiograma. Para ello utiliza plumillas y papel térmico continuo o inyección de tinta.

1.4. EL MECARDO DEL ELECTROCARDIOGRAFO

Hoy en día no solo las tiendas especializadas en Chile ofrecen opciones de electrocardiógrafos, si no que gracias a la globalización y la apertura del mercado online que permite adquirir productos directos del país de origen, saltándose al intermediario y así aliviando un poco el coste del equipo.

Se realizará una comparación de las principales páginas web de compras como lo son Ebay, Amazon, Aliexpress versus una tienda especializada en Chile.

1.4.1. Amazon

Sobre Amazon, es una compañía estadounidense de comercio electrónico desde el año 1995, conocido por su buen sistema de despacho y seguimiento del producto.



Fuente: <https://www.amazon.es/Denshine-Electrocardiografo-Port%C3%A1til-Derivaciones-Software/dp/B086JVNLBH/ref=sr_1_13?dchild=1&keywords=electrocardiografo+portatil&qid=1587777177&sr=8-13>[extraído 01.05.2020]

Figura 1- 12 Denshine electrocardiógrafo Digital Portátil de 6 Derivaciones con Software

Descripción: El equipo de la figura 1-12 es un equipo de pantalla táctil, con retroiluminación led, con tecnología de aislamiento digital, filtro digital, tiene una memoria incorporada mini-SD con capacidad de guardar 1000 archivos. Este equipo no ha vendido ninguna unidad en el sitio.

Tabla 1- 1 Especificaciones técnicas: Denshine electrocardiógrafo Digital Portátil de 6 Derivaciones con Software

<i>Electrodos</i>	6
<i>Rango de medición ritmo cardiaco</i>	3BPM~9000BPM
<i>Protección</i>	contra desfibrilación y estimulación.
<i>Velocidad</i>	25 mm/ seg ~ 50mm/seg
<i>Valor</i>	\$547.440

Fuente: el autor.



Fuente: <[https:// www.amazon.es/Electrocardi%C3%B3grafo-Monitoreo-Detecci%C3%B3n-Grabadora-din%C3%A1mico/dp/B07ZK77N79/ref=sr_1_31?dchild=1&keywords=electrocardiografo+portatil&qid=1587777129&sr=8-31](https://www.amazon.es/Electrocardi%C3%B3grafo-Monitoreo-Detecci%C3%B3n-Grabadora-din%C3%A1mico/dp/B07ZK77N79/ref=sr_1_31?dchild=1&keywords=electrocardiografo+portatil&qid=1587777129&sr=8-31)>[Extraído 01.05.2020]

Figura 1- 13 L&F Electrocardiógrafo PC-80B

Descripción: El equipo de la figura 1-13 tiene la característica de apagarse automáticamente si en 35 seg si no detecta ninguna señal, realiza un ECG rápido y mediciones cada 30 seg, tiene una capacidad de almacenamiento de memoria de hasta 10 horas o 1200 registros.

Tabla 1- 2 Especificaciones técnicas: L&F Electrocardiógrafo PC-80B

<i>Electrodos</i>	3
<i>Rango de medición ritmo cardiaco</i>	30BPM~240BPM
<i>precisión</i>	+/- 2BPM
<i>Velocidad</i>	20 mm/ seg
<i>Protección</i>	contra descargas eléctricas
<i>Valor</i>	\$156.802

Fuente: el autor.

1.4.2. Ebay

Fue fundada en 1995 es una plataforma que permite a los usuarios publicar sus productos y ser vendidos en subasta o venta directa, a diferencia de Amazon el seguimiento del envío es deficiente y los productos llegan a destino desfasado.



Fuente: <<https://www.ebay.com/itm/Nasiff-CardioCard-PC-Based-Holter-ECG-System-Free-Computer-with-purchase/324100387761?hash=item4b75e373b1:g:SfwAAOSwD3deaXO1>> (Extraído 05.05.2020)

Figura 1- 14 Nasiff CardioCard Holter electrocardiograma

Descripción: El equipo de la figura 1-14 es un sistema de monitoreo basado en PC Nassiff CardioCard, tiene 5-7 y 12 derivaciones con detección de marcapasos, puede grabar lecturas de 24 a 96 horas.

Tabla 1- 3 Especificaciones técnicas: Nasiff CardioCard Holter electrocardiograma

<i>Electrodos</i>	12
<i>Rango de medición ritmo cardiaco</i>	3BPM~9000BPM
<i>Precisión</i>	+/- 1BPM
<i>Velocidad</i>	10 mm/ seg
<i>Protección</i>	contra desfibrilación
<i>Valor</i>	US\$2995.00

Fuente: el autor.



Fuente: < [https://www.ebay.com/itm/Handh](https://www.ebay.com/itm/Handheld-ECG-EKG-Heart-Monitor-PRINC180B-Portable-Electrocardiograph-Machine/173743382135?hash=item2873e99e77:g:K2gAAOSwPg9cPp3v)

eld-ECG-EKG-Heart-Monitor-PRINC180B-Portable-Electrocardiograph-Machine/173743382135? hash=item2873e99e 77: g: K2gAAOSwPg9cPp3v> (Extraído 06.05.2020)

Figura 1- 15 Monitor Portátil electrocardiograma ECG corazón PRINC 180B

Descripción: En la figura 1-15 se ve el dispositivo compacto este graba 30 seg de datos, es ligero y fácil de usar, almacena registros de hasta 300 x 30 seg con función de bloqueo para evitar la eliminación accidental.

Tabla 1- 4 Especificaciones técnicas PRINC 180B

<i>Electrodos</i>	3
<i>Rango de medición ritmo cardiaco</i>	30BPM~240BPM
<i>precisión</i>	+/- 2BPM
<i>Velocidad</i>	20 mm/ seg
<i>Protección</i>	contra descargas eléctricas
<i>Valor</i>	\$ 87.623

Fuente: el autor.

1.4.3. Aliexpress

Es una tienda en línea fundada en 2010 por pequeñas empresas de china, que ofrece productos para compradores internacionales, lo malo de esta opción al buscar electrocardiógrafos es que no se sabe si llegará, ya que el seguimiento de la compra es deficiente y no siempre es como dice la descripción del producto.



Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/1478902340.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.40657610vRgHv8&algo_pvid=0690d313-3734-4ebd-9113-ae227714f551&algo_expid=0690d313-3734-4ebd-9113-ae227714f551-12&btsid=0ab6d59515877781299461376e32e3&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_> (Extraído 06.05.2020)

Figura 1- 16 Monitor de ECG portátil con pantalla táctil EKG ECG

Tabla 1- 5 Especificaciones técnicas Monitor de ECG portátil con pantalla táctil EKG ECG

<i>Electrodos</i>	10
<i>Rango de medición ritmo cardiaco</i>	No especifica
<i>precisión</i>	No especifica
<i>Velocidad</i>	6.25,12.5,25,50 mm/ seg
<i>Protección</i>	No especifica
<i>Valor</i>	\$589.370

Fuente: el autor.



Fuente: < https://es.aliexpress.com/item/4000627282454.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.40657610vRgHv8&algo_pvid=0690d313-3734-4ebd-9113-ae227714f551&algo_expid=0690d313-3734-4ebd-9113-ae227714f551-0&btsid=0ab6d59515877781299461376e32e3&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_> (Extraído 07.05.2020)

Figura 1- 17 CONTEC ECG EKG máquina portátil monitor de ritmo cardíaco

Tabla 1- 6 Especificaciones técnicas CONTEC ECG EKG

<i>Electrodos</i>	2
<i>Rango de medición ritmo cardíaco</i>	No especifica
<i>Precisión</i>	No especifica
<i>Velocidad</i>	No especifica
<i>Protección</i>	No especifica
<i>Valor</i>	\$61.020

Fuente: el autor.

1.4.4. Solostocks.cl

Fundado en el año 2000 es el único portal español dirigido a compraventa online para empresas y profesionales líder en España y con una fuerte presencia internacional, principalmente en Europa y América Latina.

SoloStocks



Fuente: < <https://www.solostocks.cl/venta-productos/instrumental-medico-quirurgico/otros-productos-instrumental-medico/electrocardiografo-mortara-modelo-eli-150-2812608>>{Extraído 10.05.2020}

Figura 1- 18 Electrocardiógrafo Mortara modelo eli-150

Descripción: En la figura 1-18 tiene una conexión inalámbrica, pantalla LCD y es portátil.

Tabla 1- 7 Especificaciones técnicas electrocardiógrafo Mortara modelo eli-150

<i>Electrodos</i>	No especifica
<i>Rango de medición ritmo cardíaco</i>	No especifica
<i>Precisión</i>	No especifica
<i>Velocidad</i>	No especifica
<i>Protección</i>	No especifica
<i>Valor</i>	\$2.486.866

Fuente: el autor.



Fuente: < <https://www.solostocks.cl/venta-productos/instrumentos-diagnostico/monitores-presion-arterial/holter-de-arritmia-ecg-ambulatorio-de-3-canales-4032970>>(Extraído 10.05.2020)

Figura 1- 19 Holter de arritmia ECG ambulatorio de 3 canales

Descripción: El electrocardiógrafo de la figura 1-19 es uno de tres canales, tiene grabación continua de ECG de 24 horas.

Tabla 1- 8 Especificaciones técnicas Holter de arritmia ECG ambulatorio de 3 canales

<i>Electrodos</i>	No especifica
<i>Rango de medición ritmo cardiaco</i>	No especifica
<i>precisión</i>	No especifica
<i>Velocidad</i>	No especifica
<i>Protección</i>	No especifica
<i>Valor</i>	\$590.000

Fuente: el autor.

Se selecciona el más barato y el más costoso de cada página con esto se podrá ver que los precios de los equipos varia, en los extranjeros hay que añadirle los gastos de envío y el coste de aduana, pero aun así los precios son elevados y en Chile no muestran el precio de los equipos si no que hay que pedirlos en una cotización, por lo que no está claro que sea un valor fijo, sino que está sujeto a otras variables, el beneficio de comprarlo en Chile es que muchas de las tiendas de distribución tienen su propio centro de servicio técnico para el mantenimiento y el correcto funcionamiento de estos.

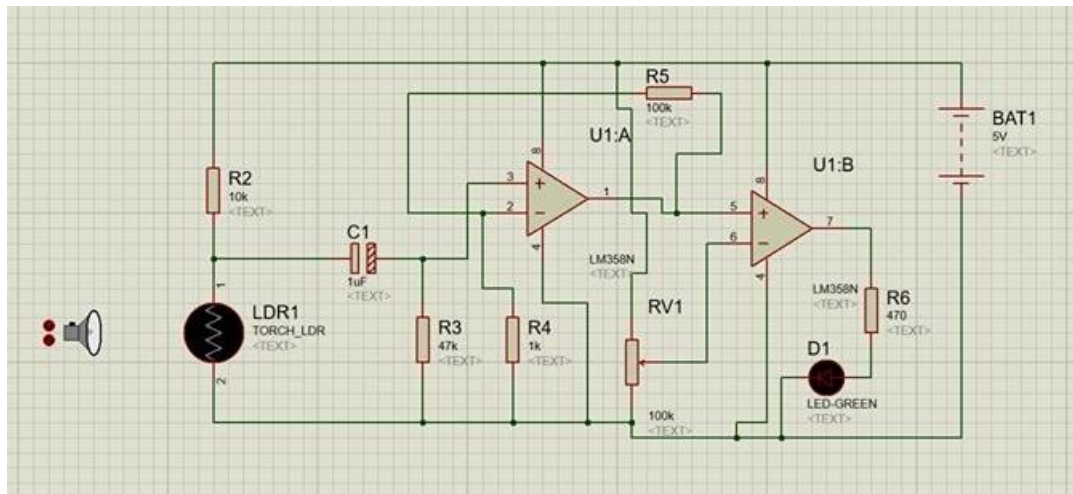
1.5. SOLUCIONES

La adquisición de los equipos médicos y la tecnología biomédica constituye dentro de las IPS uno de los procesos más complejos en cuanto a gestión, ya que se deben tener en cuenta diversos aspectos para obtener eficiencia y calidad en la prestación de sus servicios de salud, uno de estos factores es la relación costo-beneficio del equipo a adquirir. Por lo tanto, es necesario bajar la barrera del costo del equipo para que sea más accesible y beneficioso para la población, la investigación de poder recrear los componentes del electrocardiógrafo sería un primer paso, para esto se mostrarán a continuación algunas maneras de poder construir uno a bajo costo y luego se mostrará el modelo elegido.

1.5.1. Sensor de pulso cardiaco

El sensor de pulso cardiaco está basado en componentes electrónicos de fácil acceso y de bajo costo, para poder realizarlo se necesitan; resistencias, un capacitor, un circuito integrado lm358, un led infrarrojo, un receptor de infrarrojo, potenciómetro y un diodo led. Observar figura 1-20. El dedo se posiciona entre la fuente de luz y el LDR1, de esta manera se interpretará la diferencia de color en la sangre al saturarse con oxígeno, esta señal es enviada al circuito

integrado (LM358) el cual es un amplificador de señales y en su salida va el led indicador de los pulsos.

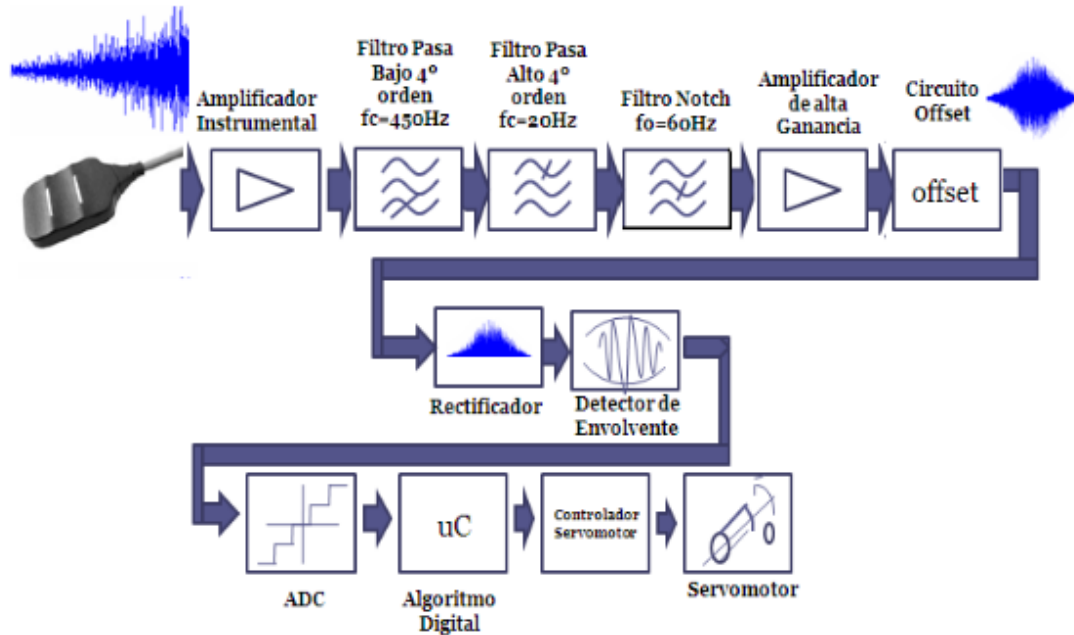


Fuente: David Ipiña Girón <http://ndaevdm.blogspot.com/> (Extraído 13.05.2020)

Figura 1- 20 Esquemático sensor pulso cardiaco

1.5.2. Electrocardiógrafo paso por paso

En la figura 1-21 se construye desde el sensor que va conectado con una serie de filtros unidos a un amplificador y rectificador de señal, usando un microcontrolador para la digitalización de la señal y finalmente una pantalla para poder mostrar la señal siguiendo el siguiente diagrama. Los componentes usados son; Resistencias, condensadores, TL084ACD, microcontrolador y una pantalla tendrá características y periféricos tales como el ADC y el puerto universal serial RS232, siendo la frecuencia de muestreo inferior a 500Hz.



Fuente: Carlos A. Alva, Wilfredo Reaño, Joel O. Castillo Diseño y Construcción de un Electrocardiógrafo de bajo costo
 <http://www.urp.edu.pe/pdf/ingenieria/electronica/cir-11_electrocardiografo_de_bajo_costo.pdf>(Extraído 13.05.2020)

Figura 1- 21 Diagrama de bloques Electrocardiograma

1.5.3. Electrocardiograma basado en Arduino

Utilizando un Arduino conectado al módulo sensor AD8232 para capturar la señal ya filtrada y nítida del pulso, para poder visualizar el ECG se utilizará un módulo bluetooth que permita conectar a un dispositivo móvil basado en Android como una tableta o un celular.

Para esto será necesario generar los programas en Arduino para la comunicación y en Android para poder ver el ECG en tiempo real.

1.6. SOLUCIÓN ELEGIDA

Estas opciones se investigaron para poder decidir qué proyecto era mejor para implementar en cuanto a término de costos, el objetivo del proyecto y eficiencia.

La primera solución fue descartada, ya que solo se podía ver el pulso en función del parpadeo de un led.

La segunda opción fue atractiva, pero seguía siendo la implementación de varias placas y de manera concatenada para llegar al resultado digital.

Es por esto que acorde a los avances tecnológicos actuales, se decidió usar un modelo basado en Arduino, esto debido a que este es compatible con una infinidad de sensores entre ellos un sensor AD8232, por lo que baja el costo de crear algunos filtros y el amplificador de solución número 1.5.2, ya que para construirlo, además de los componentes, se necesitarían muchas placas, la impresión del circuito y eso eleva los costos de producción, además, utilizando Arduino se hace mucho más rápido el procesamiento de la señal analógica a digital.

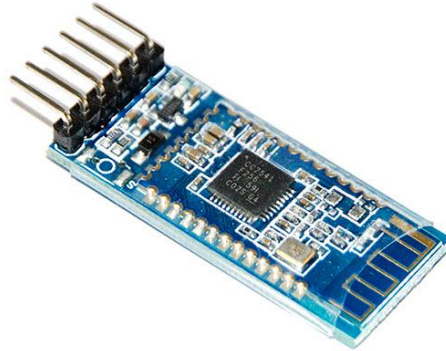
1.7. COMPONENTES DEL PROYECTO

Para este proyecto se necesitará adquirir una serie de componentes electrónicos, con la finalidad de poder construir el modelo seleccionado y así poder fabricar un electrocardiógrafo.

1.7.1. Modulo Bluetooth HC-05

El módulo bluetooth, de la figura 1-22, será usado para la comunicación entre el Arduino y el celular o tableta, donde se visualizará el programa que permite la lectura del ECG. Este módulo funciona en un rango de 3.6V~6V, tiene una configuración de tipo serial inalámbrica transparente, además, posee una modulación de 3Mbps con transceptor de radio y banda base de 2.4GHz.

Sus dimensiones son 27.0mm de alto de los cuales 18mm corresponden a pines de conexión, de ancho tiene 12.7mm de los cuales 10.5mm son pines de conexión.



Fuente: Hubot < <https://hubot.cl/product/modulo-bluetooth-hc-05-hc-06-jdy-30-sku-287-2/>>(Extraído 14.05.2020)

Figura 1- 22 Módulo Bluetooth HC-05

1.7.2. Módulo ECG AD8232 Monitor Cardíaco

Para poder tomar la muestra del pulso cardíaco se utilizará el módulo ECG AD8232 de Arduino que se ve en la figura 1-23, ya que es muy práctico debido a que es una tarjeta de bajo costo usada para medir la actividad eléctrica del corazón. Esta actividad eléctrica puede ser registrada como un electrocardiograma-ECG a una señal analógica.



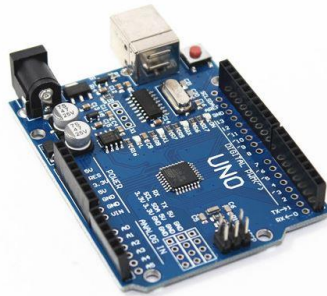
Fuente: Hubot < <https://hubot.cl/product/modulo-ecg-ad8232-monitor-cardiaco-sku-532/>> (Extraído 14.05.2020)

Figura 1- 23 Módulo ECG AD232

1.7.3. Arduino UNO

Es una placa de microcontrolador basado en el microchip ATmega328P, es la que se ve en la figura 1-24. La placa tiene 14 pines digitales de los cuales 6 pueden ser usados con PWM y 6 pines analógicos y programables con el Arduino IDE, un cristal de 16Mhz, conexión USB o con Jack de alimentación, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo. Para la alimentación tiene un rango de 7V~12V, tiene un voltaje de funcionamiento de 5V y posee una memoria flash de 32K.

El código de lenguaje que usa es del tipo C y C++, para poder utilizarlo usando el Arduino Software (IDE), se realizara un programa que permita la comunicación primero con el módulo bluetooth para así poder conectar a un dispositivo Android que permita visualizar el ECG.



Fuente: Hubot <<https://hubot.cl/product/arduino-compatible-uno-r3/>> (Extraído 14.05.2020)

Figura 1- 24 Placa Arduino UNO

1.7.4. Teléfono Android

Se usa un teléfono con sistema Android, para este proyecto se utilizará la versión 9, bluetooth versión 4 o superior y debe tener al menos 250 MB de memoria RAM para conectar de esta manera los datos que procesa el Arduino para ser visualizados en la pantalla de este mediante una aplicación que se desarrollará para cumplir con la correcta visualización del ECG y que permita que un usuario pueda verlo en tiempo real. La figura 1-25 es solo una referencia cualquier equipo Android que cumpla estas características puede ser vinculado.



Fuente: Aliexpress< https://http2.mlstatic.com/celular-xiaomi-redmi-note-6-pro-64gb-4ram-4g-lte-dual-global-D_NQ_NP_756553-MLM28364162105_102018-F.jpg> (Extraído 17.05.2020)

Figura 1- 25 Referencia teléfono celular

1.8. OBJETIVOS DE PROYECTO

A continuación, se procede a exponer el objetivo general de este proyecto de título como también los objetivos específicos del mismo.

1.8.1. Objetivo General

Desarrollar un electrocardiograma, basado en la plataforma Arduino.

1.8.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar componentes.
- Crear un programa en Arduino para la comunicación con el módulo bluetooth.
- Diseñar una aplicación Android para observar la señal cardíaca.
- Realizar estudio de costos del proyecto.

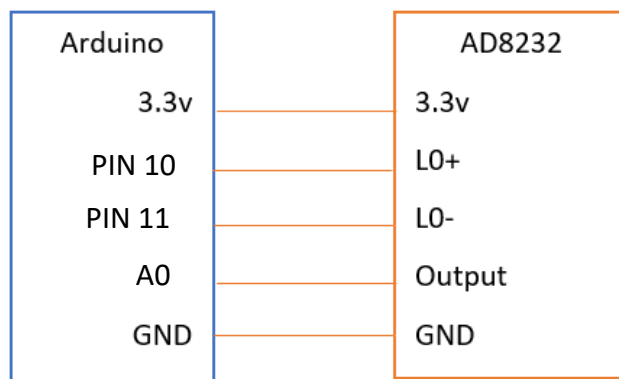
CAPÍTULO 2: FUNCIONES Y CONEXIÓN DE COMPONENTES

2. FUNCIONES Y CONEXIÓN DE COMPONENTES

Para el desarrollo de un prototipo funcional que pueda demostrar la idea de la propuesta escogida, se utilizaron los componentes mostrados en la sección 1.7 del primer capítulo.

2.1. CONEXIÓN ENTRE EL ARDUINO Y EL MODULO ECG AD8232

Al momento de conectar el sensor de pulso cardiaco a la tarjeta de Arduino se debe hablar sobre la función del sensor, este es un bloque de acondicionamiento de señales integrado que está diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales biopotenciales en la presencia de condiciones de ruido, tales como los que son creados por el movimiento o colocación de los electrodos a distancia.



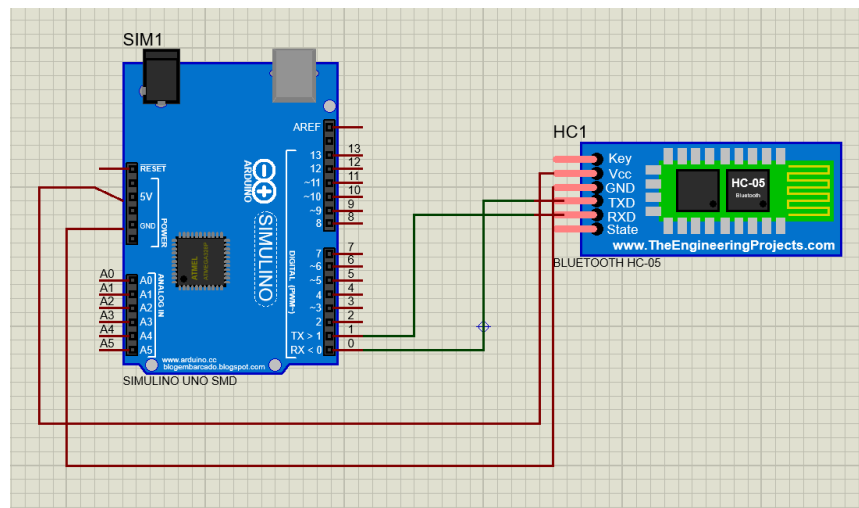
Fuente: el autor

Figura 2- 1 Conexión entre Arduino y módulo

Entonces como se ve en la figura 2-1 se conectará a la alimentación de 3.3V y a GND, para las conexiones de OUTPUT al pin A₀ de las entradas analógicas, L0- y L0 los pines 11 y 10. Además, los pines RA (Right Arm), LA (Left Arm) y RL (Right Leg) para conectarlos a los sensores.

2.2. CONEXIÓN ENTRE EL MÓDULO BLUETOOTH HC-05 Y EL ARDUINO

Como se ve la figura 2-2 el módulo bluetooth se alimentará mediante VCC y GND del módulo de Arduino posteriormente se conectará el TXD0 (pin de transmisión) y RXD0 (pin de recepción) a los opuestos de la placa Arduino (cada TXD a un RXD). Así quedarían las conexiones del módulo, con los pines de Arduino.

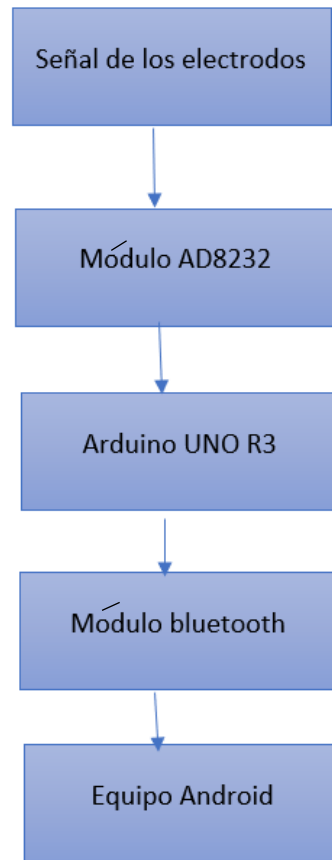


Fuente: el autor

Figura 2- 2 Conexión Arduino y bluetooth

2.3. DISEÑO DEL PROCESO

En la figura 2-3 muestra el esquema que se seguirá para la creación de los programas necesarios para monitorear la señal del ECG y poder visualizarla en el dispositivo Android, mediante una aplicación creada con la página de MIT app inventor, el desarrollo de esta se mostrará en la sección de anexos, al igual que el desarrollo de los programas creador con Arduino IDE.

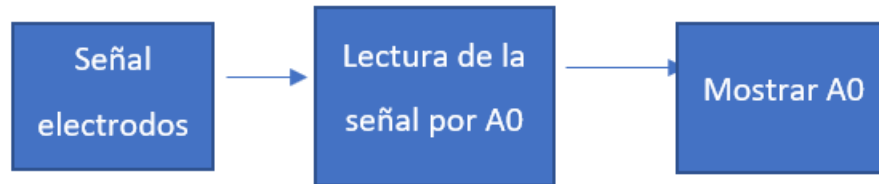


Fuente el autor

Figura 2- 3 Esquema diseño inicial

2.4. DISEÑO DEL PROGRAMA ENTRE EL MÓDULO ECG AD8232 Y ARDUINO

Se realizará un programa de comunicación simple (ver figura 2-4), en base a este diagrama se dará forma a la primera parte del programa.

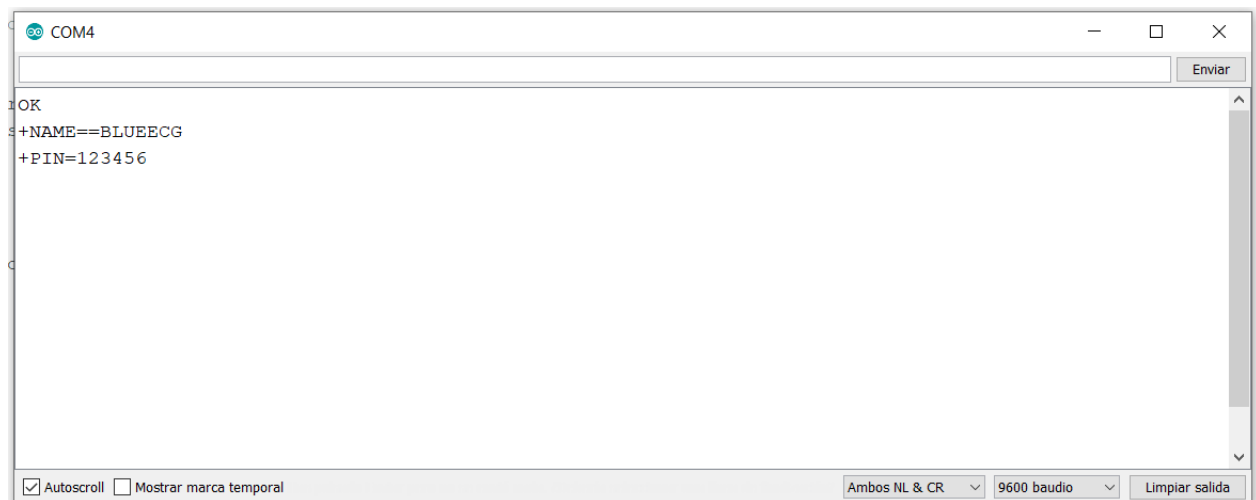


Fuente: el autor.

Figura 2- 4 Proceso de la señal (en bloque)

2.5. CONFIGURACIÓN DE MÓDULO BLUETOOTH

En este paso se procede a configurar el módulo bluetooth mediante los comandos AT en Arduino IDE, debido a que no venía con la configuración de fábrica de la contraseña "0000" o "1234"



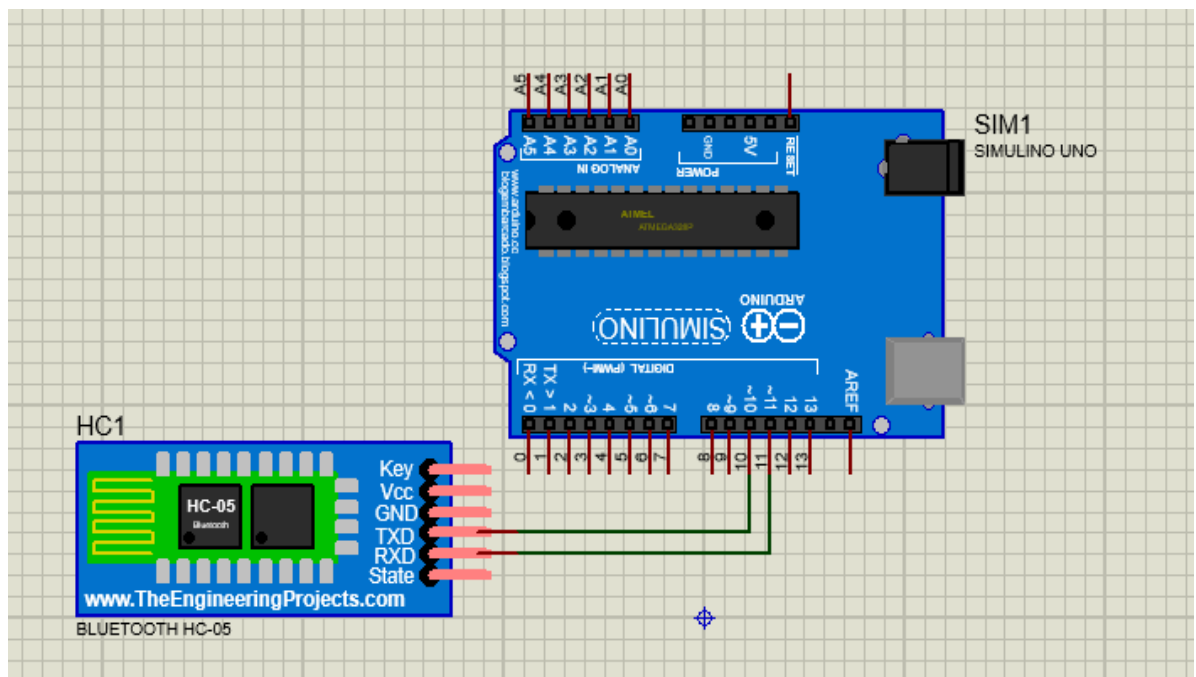
Fuente: El autor

Figura 2- 5 Consola AT

En la figura 2-5 se usan los comandos de la serie AT para verificar y cambiar los datos del bluetooth, primero se inicializa con el comando AT para verificar la comunicación con el

módulo HC-05, se recibe un OK señalando que hay comunicación, luego se asigna un nombre dispositivo con el comando AT+NAME y finalmente, se pregunta por la contraseña, ya que en la primera fase del desarrollo no conectaba con las contraseñas comunes, se puede ver entonces que la contraseña con el comando AT+PIN es "123456", es decir, la contraseña es más larga que los cuatro caracteres básicos que se suelen usar como contraseña de este tipo de dispositivo.

Cabe destacar una modificación que se realizó a la conexión del módulo bluetooth con el Arduino los pines 0 y 1 no se usaron para la comunicación serial, sino que se utilizaron los pines 10 y 11 fueron usados como TX y RX respectivamente como se ve en la figura 2-6, esta configuración de pines solo se utiliza para programar el módulo.



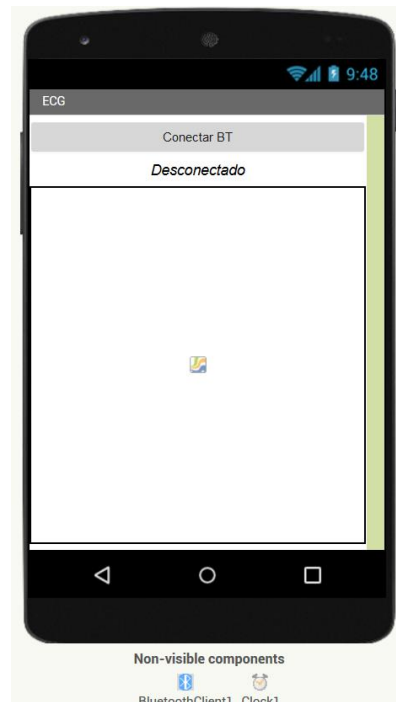
Fuente: el autor.

Figura 2- 6 Conexión para configurar bluetooth

2.6. DISEÑO DEL PROGRAMA EN MIT APP INVENTOR

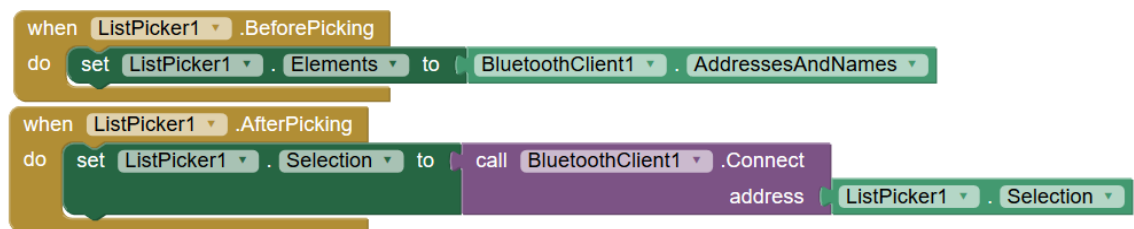
Se diseñará primero la interfaz del usuario, como se ve en la figura 2-7, y luego se realizará el código para poder conseguir que el ECG sea más interactivo y amigable con el usuario.

En la interfaz se agrega el nombre del programa “ECG”, un apartado para conectar y desconectar el bluetooth, la sección donde se graficará y el apartado para la visualización de BPM.



Fuente el autor

Figura 2- 7 Interfaz App inventor

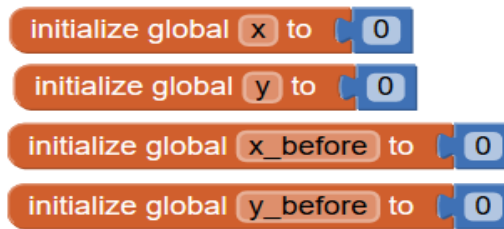


Fuente el autor

Figura 2- 8 Inicialización Bluetooth

En la figura 2-8, el primer bloque se habilitará el móvil como cliente de bluetooth y mostrará la lista de dispositivos compatibles, luego, al hacer clic se conectará al dispositivo bluetooth seleccionado. Para poder desconectar el dispositivo se añadió un botón de desconexión.

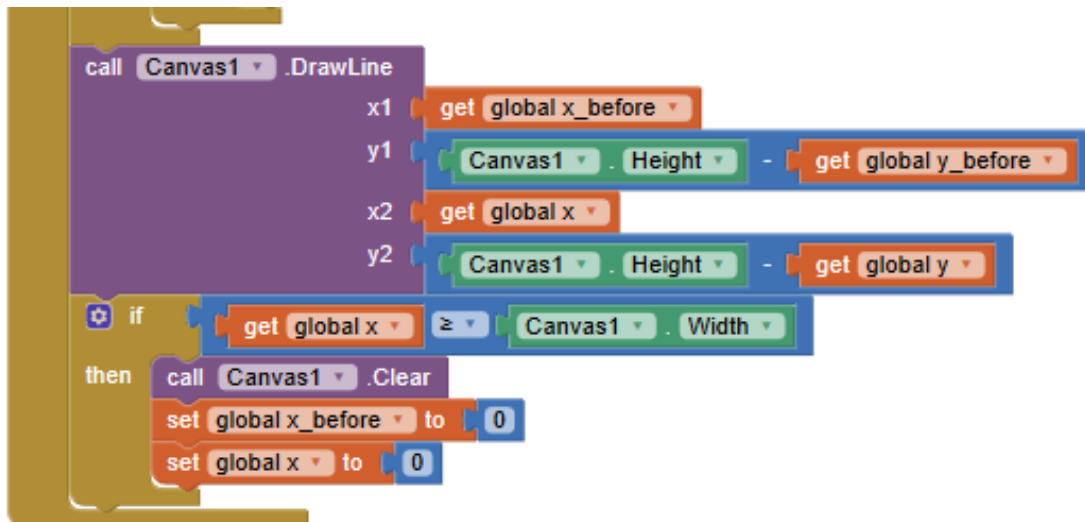
Después se inicializan las variables globales del sistema, figura 2-9.



Fuente: EL autor

Figura 2- 9 Inicialización variables globales

Luego mediante un Clock de 100 ms añadido, permite que la gráfica vaya en tiempo real y que al terminar de graficar se limpie la pantalla y comience a trazar desde el inicio, para ver el código completo ver el anexo.



Fuente el autor

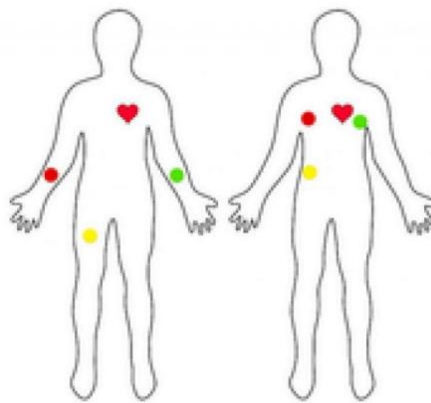
Figura 2- 10 Diseño del gráfico

A continuación, se definirá la función que permitirá ver la gráfica como se ve en la figura 2-10. Para ello, lo primero que se debe hacer es definir las variables X_0 e Y_0 , lo que se hace es añadir un +1 a la variable en cuestión para que la gráfica vaya avanzando por cada ciclo de reloj y le damos forma, controlando el ancho y el largo que tendrá esta. Pero en algún momento se llegará al final del espacio dedicado, por tanto, se debe tener en cuenta que hay que limpiar la pantalla cuando llegue al extremo derecho de la misma y volver a empezar. Eso es lo que se muestra en el bloque if, una vez que la variable X llegue al límite, se borrará todo lo graficado y comienza de nuevo, pero siguiendo con la misma tendencia.

2.7. LOCALIZACIÓN DE LOS ELECTRODOS

Para poder tomar el ECG con el prototipo es importante definir en qué posición estarán los electrodos en el cuerpo para realizar la medición como muestra la figura 2-11.

El modelo que se seguirá es el del lado derecho, porque es más práctico tener todos los electrodos en la zona del pecho, en lugar de destinar los electrodos a las extremidades.



Fuente: Starware <https://tienda.starware.com.ar/wp-content/uploads/2020/01/sensor-ritmo-cardiaco-arduino-ad8232-ecg-1675-1083.jpg> (Extraído 18.05.2020)

Figura 2- 11 Posición electrodos

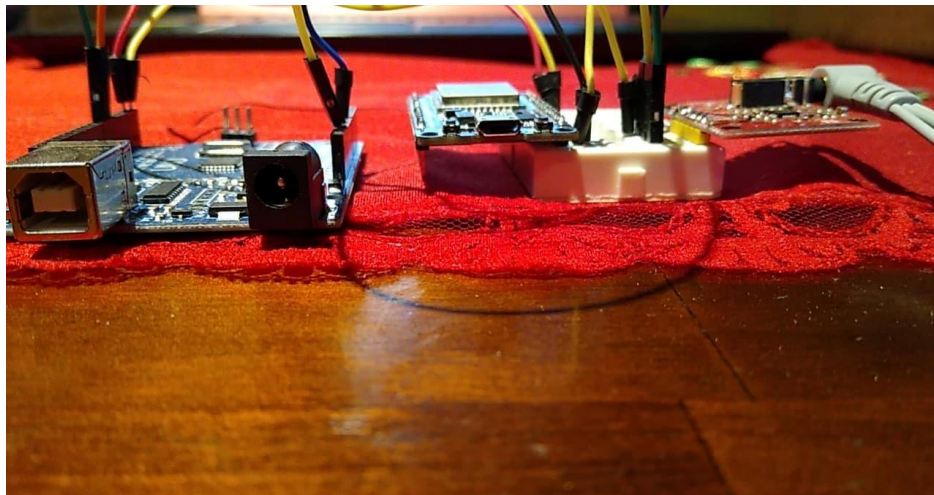
Se decide usar el electrodo de 3M N° CAT 2228 como se muestra en la figura 2-12, ya que está recomendado para el monitoreo electrocardiográfico donde los electrodos estándares son usados, tales como: Salas de cirugía, unidad de cuidados intensivos y unidades de cuidado coronario. Salas de Urgencias, telemetría, holter y cateterismos. Eco-cardiograma.



Fuente: 3M <https://www.3m.com.co/3M/es_CO/inicio/todos-los-productos-3m/~/%3M-Electrodos/?N=5002385+3293187380&preselect=8707795+8707798+8711096+8711111+3293786499&rt=rud>(Extraído 20.05.2020)

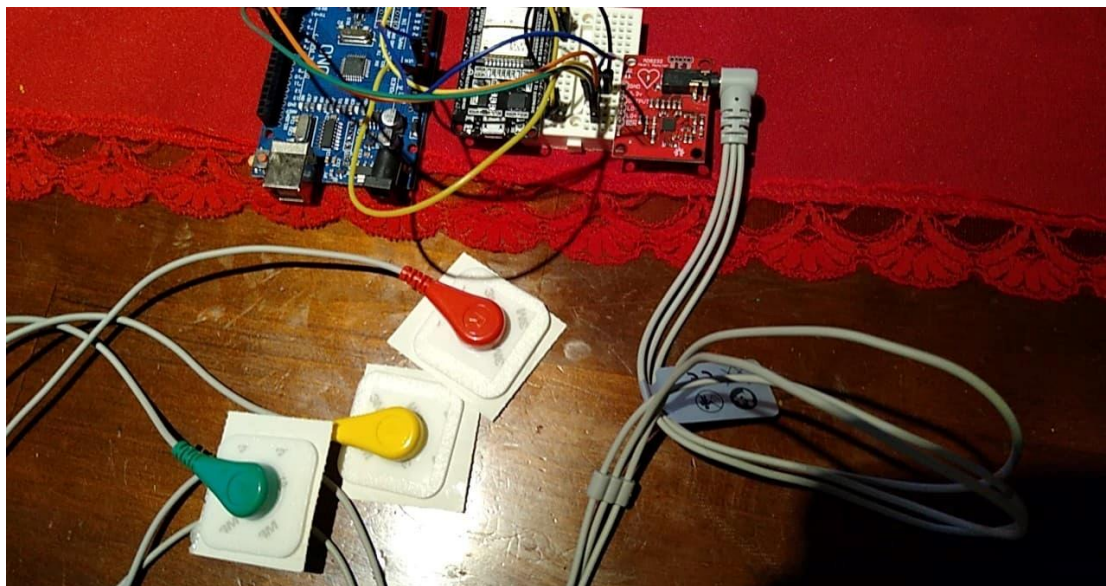
Figura 2- 12 Electrodo

2.8. VISTA FINAL DE LA MAQUETA



Fuente: El autor

Figura 2- 13 Vista frontal del prototipo



Fuente: El autor

Figura 2- 14 Vista superior prototipo

CAPÍTULO 3: RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN, CONSIDERACIONES Y COSTOS DE PROYECTO

3. RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN, CONSIDERACIONES Y COSTOS DE PROYECTO

A lo largo de este documento se han explicado diversos tópicos referentes al proyecto realizado. Se comenzó planteando tres ideas generales en respuesta a una problemática determinada, para luego elegir una de ellas y desarrollarla en profundidad. Para la realización de la solución, se debió diseñar e implementar un prototipo, el cual demostrará el funcionamiento de esta. Los detalles del diseño e implementación de la prueba de concepto, tales como las conexiones y programación realizadas, fueron estipulados en el capítulo 2.

En este capítulo se especificarán los resultados del armado e implementación del prototipo antes mencionado, aclarando si el funcionamiento de las partes o subsistemas del proyecto funcionaron según lo esperado o no. Luego se comentarán algunas consideraciones realizadas para adaptar la solución escogida al prototipo. En ellas se mencionará que componentes fueron eliminados y que subsistemas no fueron implementados en la prueba de concepto, debido a complicaciones y/o dificultades en la aplicación práctica de estos.

Finalmente se detallarán los costos asociados a la realización de este trabajo de título tales como los valores asociados a los componentes utilizados y los costos enlazados a recursos humanos ya sea, valor aproximado de la mano de obra y las horas de dedicación. También se precisarán los materiales adquiridos para la construcción de la maqueta donde fue montado el hardware de proyecto y los valores de estos.

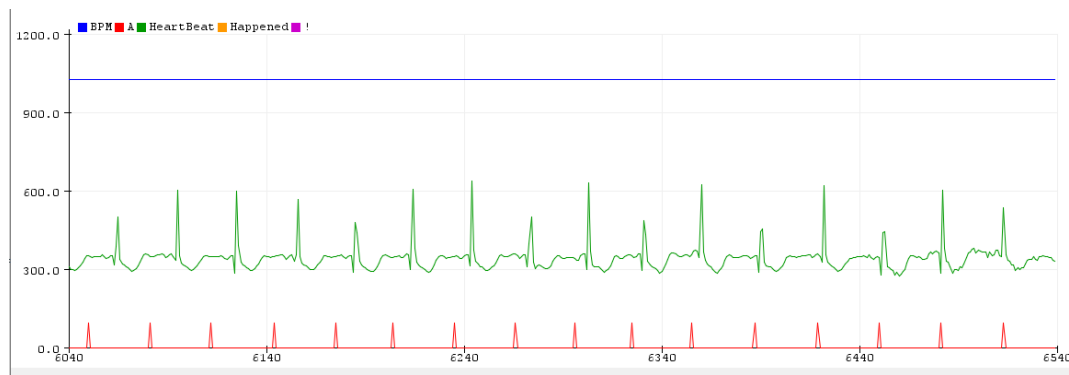
3.1. DESARROLLO

En esta sección se relatará el funcionamiento final del modelo, los problemas en su desarrollo y la comparación final entre los costos de mercado con los costos de producción del modelo y los equipos existentes en el mercado.

3.1.1. Pruebas preliminares

A continuación, se mostrarán algunas pruebas realizadas por partes en el desarrollo del prototipo.

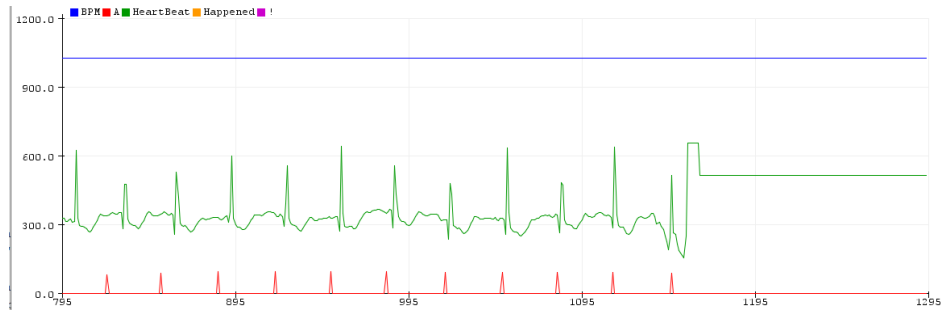
A continuación, la respuesta del módulo AD8232



Fuente: el autor.

Figura 3- 1 ECG Funcionando

En serial plotter de la figura 3-2 se puede visualizar el ritmo cardiaco cuando están los 3 electrodos conectados, estas son imágenes de un paciente en estado de reposo, la señal verde es la lectura del ECG, la señal roja y azul son resultado de la librería PlaygroundSensor que se utilizó en el comienzo para el cálculo del BPM ,esto se debe a que la interrupción de esta librería hacia uso de Processing, que es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java. La librería usaba este lenguaje para crear un entorno de visualización de datos mucho más atractivo visualmente y esto se refleja en el Monitor Serial del IDE como las líneas roja y azul.



Fuente: el autor.

Figura 3- 2 Desconexión de un electrodo

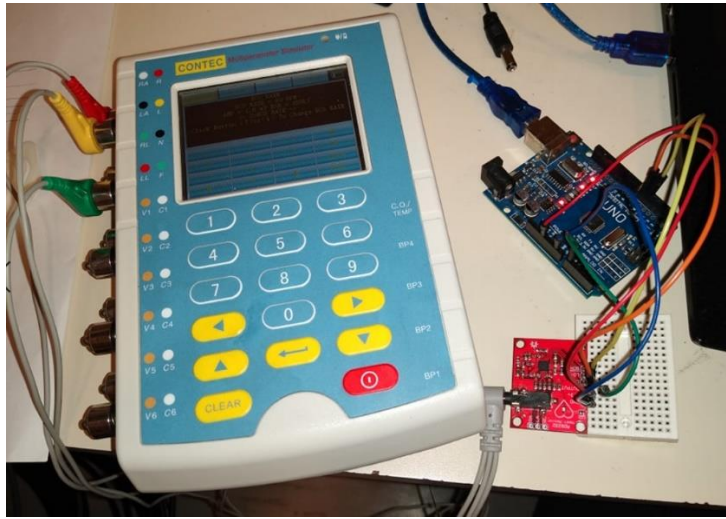
En la figura 3-3 se ve lo que ocurre cuando un electrodo es desconectado, se pierde el ritmo y se asienta en una línea recta.

En la figura 3-4 se presenta la señal utilizando una máquina de simulación de paciente para calibrar equipos médicos, como la mostrada en la figura 3-5 con esta se pudo obtener una señal limpia en el ECG.



Fuente: el autor.

Figura 3- 3 ECG con calibrador de equipo



Fuente: el autor.

Figura 3- 4 Calibrador conectado a módulo

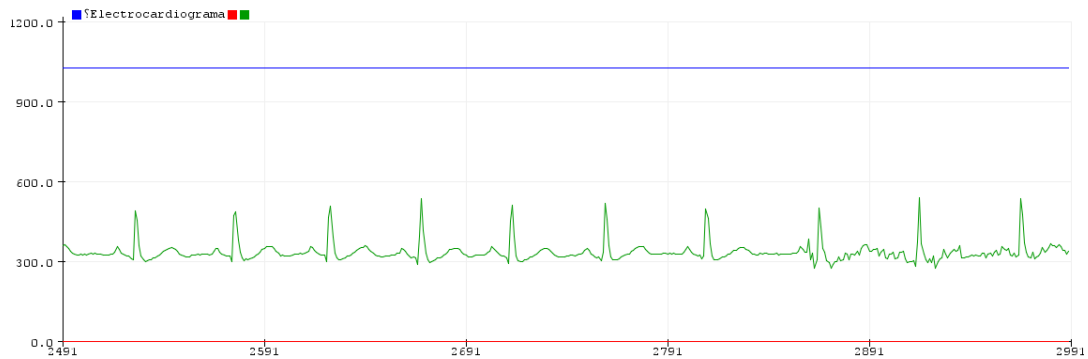
En la figura 3-6 se ve el ECG de un paciente que no estaba totalmente en reposo por lo que su imagen salió con fibrilaciones, esto es porque para que el módulo capture bien, hay un tiempo de asentamiento de la señal para que se pueda ver como en la figura 3-3.



Fuente: el autor.

Figura 3- 5 ECG con fibrilaciones

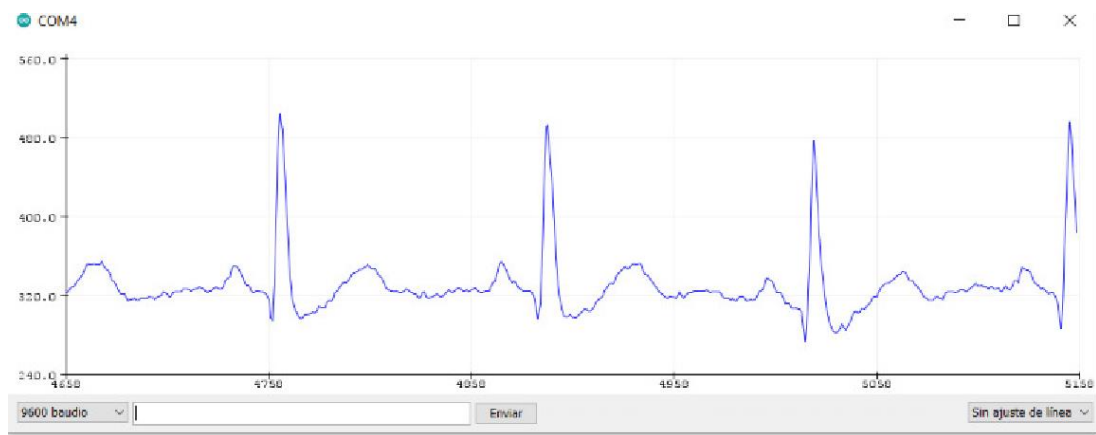
En la figura 3-7 se realizó un cambio en el código del programa de 115000 baudios a 9600, se ve la imagen más clara las fibrilaciones del final por el pulso generado al mover la mano para tomar la foto, es por esto que se pide estar en reposo cuando se toma el ECG, ya que pequeños movimientos generan pulsos que provocan fibrilaciones.



Fuente: el autor.

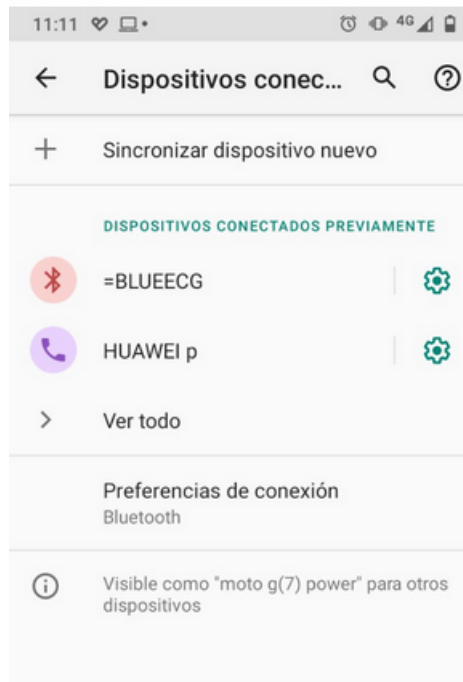
Figura 3- 6 ECG con Baudio a 9600

En la figura 3-8 que se obtuvo después de realizar la corrección del programa del IDE quitando la librería playgroundSensor se presenta la señal salió en un paciente con pequeñas fibrilaciones, pero ya se mostraba la señal limpia.



Fuente: el autor.

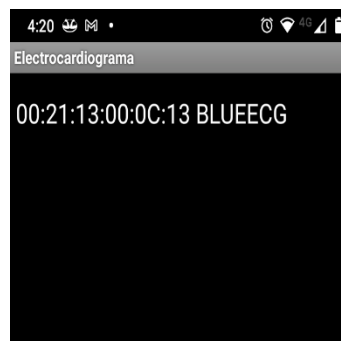
Figura 3- 7 Señal única



Fuente: el autor.

Figura 3- 8 Módulo Bluetooth

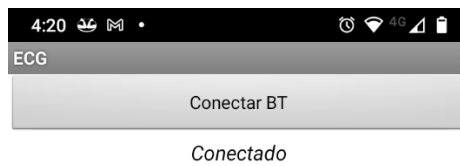
En la figura 3-9 se observa que el módulo configurado es reconocido por el dispositivo Android, hay que enlazar primero en dispositivos el bluetooth y luego hacer la conexión nuevamente dentro de la aplicación.



Fuente: el autor.

Figura 3- 9 Pantalla de conexión dentro de la aplicación

De esta manera se logra la conexión entre la aplicación y el dispositivo si los pasos realizados han sido exitosos entonces se vera como en la figura 3-10 la pantalla.



Fuente: el autor.

Figura 3- 10 Conexión exitosa

Una vez establecida la conexión el programa se ejecutará inmediatamente, comenzando el trazado del ECG en la pantalla del dispositivo Android.



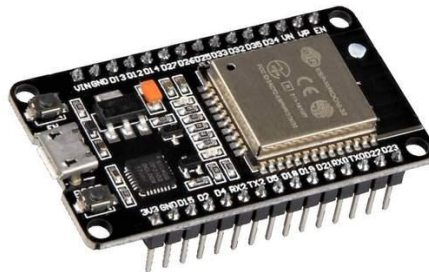
Fuente: el autor

Figura 3- 11 Vista del ECG en Android

En la primera prueba se logra ver que al conectar el módulo bluetooth al dispositivo este genera una señal de ruido que afecta la señal de ECG ya que al poner la misma señal en el monitor serial esta sale limpia y con su forma característica. Para filtrar la señal se añadió a la salida del módulo AD8232 un conector de audio de este modo la señal sale más limpia en la pantalla.

3.2. PROBLEMAS EN EL DESARROLLO

En el desarrollo de la maqueta se presentó un problema frecuente, este correspondía a que los módulos adquiridos no funcionan como se esperaba, debido a esto se intentó cambiar en un principio del módulo HC-05 por un ESP32, ver en la figura 3-10, que haría la función de bluetooth ya que se pensaba que el módulo bluetooth no era compatible con el teléfono Android, pero al probar el ESP32 como remplazo se tuvo un nuevo problema, la aplicación creada no respondía como se esperaba, para evitar hacer cambios en la aplicación se adquirió nuevamente otro modulo HC-05 ya que no se había comprobado si era falla del módulo o incompatibilidad, la última se descartó ya que en la ficha técnica del HC-05 este decía ser compatible con la versión de bluetooth del teléfono.



Fuente: <<https://sumador.com/collections/boards-de-desarrollo-programadores/products/modulo-esp32>>

Figura 3- 12 Módulo ESP32

Al cambiar el módulo por uno nuevo y reconfigurarlo este fue vinculado no solo con el teléfono, sino que también pudo ser reconocido por la aplicación, dejando en claro que fue una falla del primer módulo por lo que se descartó completamente rehacer la aplicación para que funcionara con el bluetooth del ESP32.

La falla de componentes no ocurrió solo una vez, la primera tarjeta de Arduino que se adquirió tampoco funciono, ya que al ingresar el programa este tomaba cualquier cosa como

entrada y mostraba eso en la salida, no cumpliendo con el programa cargado, por lo que también tuvo que ser reemplazada por una nueva.

Los tiempos de adquisición también afectaron al desarrollo del proyecto ya que las tiendas locales no se encontraban disponibles y todos los componentes se adquirieron a través del despacho por lo que tuvo un comienzo tardío.

La sensibilidad de módulo AD8232 también fue un problema ya que con cualquier movimiento este mostraba una lectura errática en la señal del ECG, esto se corrigió parcialmente con un conector de audio conectado a la entrada de los electrodos con el módulo.

3.3. COSTOS DEL PROYECTO

A continuación, se realizará una lista de los materiales y la cotización de estos de manera individual para poder conocer el costo total de la solución elegida.

Tabla 3- 1 Cotización materiales

<i>Componentes</i>	Valor
<i>Arduino UNO</i>	\$17.000
<i>Módulo Esp32</i>	\$7.000
<i>Módulo ECG AD8232</i>	\$17.600
<i>Soporte pilas 4xAA</i>	\$2.300
<i>Módulo bluetooth HC-03</i>	\$5.990
<i>Trabajo x hora técnico</i>	\$4.500
<i>Total</i>	\$85.890

Fuente: el autor.

En la tabla 3-2 se muestra la comparación entre el equipo más costoso, el más económico y el prototipo, la diferencia entre el más costoso y el prototipo es de \$2.523.134 y la diferencia

con el más económico es de \$25.870, se puede apreciar que la diferencia entre el prototipo y el equipo más económico encontrado en nuestro estudio de mercado no es tan grande.

Tabla 3- 2 Comparación entre el proyecto y los modelos existentes

<i>Equipo</i>	Mas costoso	Mas económico	Prototipo
<i>Valor</i>	\$ 2.573.024	\$60.020	\$85.890

Fuente: el autor.

Y si se toma en consideración que solo se tomó una muestra, puede que hayan valores cercanos al prototipo, un costo que no fue mencionado en la tabla son los electrodos, ya que estos vienen en una bolsa de 50 unidades y solo se utilizan 3 por prueba, así es que se pensó que el costo sería \$156 pesos por electrodo y este costo va a variar según la frecuencia y si es usado para monitoreo continuo, un electrodo puede permanecer conectado indefinidamente, ya que el pegamento se adhiere bien a la piel, el problema es que al despegarlo pierde adherencia y por esto se recomienda cambiar.

Lo ideal es que el paciente esté seco cuando se realiza el procedimiento, pero en una prueba realizada se vio que el electrodo capta la señal si hay niveles bajos de humedad en la piel y sin que la parte de conexión del electrodo sea afectada.

CONCLUSIONES

Al comienzo de este trabajo se planteó la problemática del costo del equipo médico, específicamente del electrocardiógrafo. Como se presentó en el Capítulo 1, en la comparación de distintos distribuidores y/o intermediarios para adquirir un equipo, existen diferencias abismales entre el de menor y mayor costo, siendo un factor determinante en el precio las características técnicas, en su mayoría los de mayor costo suelen ser más completos, siendo por este motivo los más solicitados por personal médico capacitado, en comparación con los equipos más accesibles, son menos robustos. Otro factor importante es la cantidad de derivaciones que procesan cada uno, ya que algunos solo usan dos electrodos, mientras otros pueden procesar hasta 12 derivaciones afectando la precisión y la información que entrega el ECG.

Como solución a la problemática del costo se planteó la solución de producir un equipo utilizando componentes ya acondicionados, es decir estos ya tenían el procesador y los filtros necesarios, esto porque, cuando se maneja el costo de un equipo los materiales y el tiempo que toma el producirlo, también afecta su valor.

Como ya se expuso la idea de este proyecto era recrear un electrocardiógrafo de fácil uso y bajo costo, en primer lugar no se pudo llegar a producir la idea original que era un lector de señal cardiaca junto con la monitorización de los BPM en tiempo real, solo se logró mostrar la señal cardiaca, en segundo lugar esta señal debía ser reproducida por un dispositivo portátil, es decir, que no estuviera la interfaz adosada directamente, para esto se optó por utilizar la comunicación serial del bluetooth y mostrar así la señal en un dispositivo Android, ya que la plataforma usada para crear la aplicación es solo compatible con este sistema operativo. En este punto del proyecto se manejaron opciones de cómo lograr esta comunicación, como se describe en el Capítulo 3 en el apartado 3.1.

Finalmente se logró reproducir en el dispositivo la imagen de la señal que se obtuvo en las pruebas con el monitor serial de IDE. Esta señal lograda es sensible a los movimientos del paciente, ya que cada movimiento producía una señal con fibrilaciones, debido a esto el equipo debe utilizarse por una segunda persona, ya que el paciente debe estar en reposo para evitar la fibrilación de la señal.

En cuanto al cálculo del BPM como era en un principio, este se intentó implementar directamente en el IDE, pero esto provocó que la señal cardiaca transmitida por comunicación serial se intercalara con la lectura del BPM, mostrándose la lectura entre los datos de la señal cardiaca.

Con esto se puede concluir que el equipo producido en este proyecto es muy sensible a los impulsos eléctricos generados por el movimiento, para mejorar esto se pudo haber utilizado filtros externos al módulo que lee la señal cardiaca con el pin de recepción en el Arduino, para así dar más estabilidad. Por lo que no resulta ser apto para dar diagnóstico clínico y debe ser usado para tener una idea de cómo funciona la actividad cardiaca.

Producir un electrocardiógrafo es delicado, porque se trata de recibir la señal cardiaca, ese impulso eléctrico que se lee a través de los electrodos debe ser manejado adecuadamente para evitar ECG poco fiables que podrían causar que un paciente en un mismo examen presentara, por error, un registro de un infarto sin haber tenido uno.

BIBLIOGRAFIA

ENFERMERIA EN CARDIOLOGIA. Enfermería en Cardiología N.º 22. [En línea]. 2011
<<https://www.enfermeriaencardiologia.com/wpcontent/uploads/22histelectro.pdf>> [consulta: 20 de abril de 2020]

FUNDACION BBVA. Capítulo 4 El electrocardiograma. [En línea]. 2009
<https://www.fbbva.es/microsites/salud_cardio/mult/fbbva_libroCorazon_cap4.pdf> [consulta: 20 de abril de 2020]

INFOMED RED DE SALUD DE CUBA. El Electrocardiograma componentes valores normales y semiología de sus perturbaciones. [En línea]
<http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/pdvedado/franco_03.pdf> [consultado: 21 de abril de 2020]

REPOSITORIO. Desarrollo de una interfaz de visualización en matlab para señales ECG utilizando el sistema Arduino almacenadas en un sitio web. [En línea]. 2018
<<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10850/1/T-UCSG-POS-MTEL-103.pdf>>
[consulta: 13 de mayo de 2020]

ORESTI BANOS. Dispositivo wearable de Electromiografía aplicado al ámbito de la salud.
<http://orestibanos.com/mentoring/2019_Thesis_IgnacioArenas.pdf> [En línea]. 2019
[consultado: 29 de mayo de 2020]

DALCAME. Electrocardiografía (ECG). [En línea]. 2005
<<http://dalcame.com/ecg.html#.XvqGBOd7IPY>> [consultado: 10 de junio 2020]

GLOSARIO

Biopotenciales: Es un potencial eléctrico que puede medirse entre dos puntos en células vivientes, tejidos y organismos y que es consecuencia de algunos de sus procesos bioquímicos

Bigeminismo: es una de las arritmias cardíacas más frecuentes. Consiste en un latido prematuro con respecto al normal, que se presenta de forma regular intercalada entre dos latidos sinusales

Derivación: se refiere a la medida del voltaje entre dos electrodos.

Electrofisiología: es el estudio de las propiedades eléctricas de células y tejidos biológicos.

Flutter auricular: es una taquicardia generalmente rítmica de QRS estrecho, producida por una macro-re-entrada en la aurícula.

Hipertrofia ventricular: es una enfermedad que consiste en un aumento del grosor del músculo cardíaco (miocardio) que conforma la pared ventricular.

Hipertrofia auricular: es una cardiomegalia que se refiere a un aumento en el tamaño de las células musculares del corazón.

Isodifásico: que tiene dos corrientes eléctricas alternas iguales.

Repolarización: la recuperación de la carga iónica natural por parte de una célula.

Ritmo sinusal: describe el latido normal del corazón.

Software: logicial al soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.

ANEXO**A. Programa Arduino UNO**

```

/*****
Señal Electrocardiograma
*****/

#define LO_pos 10    // Configuración para detección de derivaciones LO +
#define LO_neg 11    // Configuración para detección de derivaciones LO -

void setup() {

    Serial.begin(9600); // Inicializar comunicacion serial a 9600 B
    pinMode(LO_pos, INPUT); // Pin configurado como entrada digital
    pinMode(LO_neg, INPUT); // Pin configurado como entrada digital
}

void loop() {

    if ((digitalRead(LO_pos) == 1) || (digitalRead(LO_neg) == 1))
        Serial.println('!');
    else
        Serial.println(analogRead(A0)); // Imprimir valor de la entrada analógica 0

    delay(1); // Retraso
}

```


B. Programa configuración bluetooth

```
#include <SoftwareSerial.h> // Incluimos la librería SoftwareSerial  
SoftwareSerial BT (10,11); // Definimos los pines RX y TX del Arduino conectados al  
Bluetooth
```

```
void setup()  
{  
  BT.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie BT que hemos creado  
  Serial.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie  
}  
  
void loop()  
{  
  if(BT.available()) // Si llega un dato por el puerto BT se envía al monitor serial  
  {  
    Serial.write(BT.read());  
  }  
  
  if(Serial.available()) // Si llega un dato por el monitor serial se envía al puerto BT  
  {  
    BT.write(Serial.read());  
  }  
}
```

A. Diseño programa en bloque

