



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNÓSTICO REMOTO DE
ARRITMIAS CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES
CON DEEP LEARNING”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: ENRIQUEZ PILATAXI ALVARO ALEXANDER

DIRECTOR: ING. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN, MSC

ASESOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA

ASESOR: MSC. PAMELA ESTEFANIA GODOY TRUJILLO

Ibarra-Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE	1003493663		
APELLIDOS Y	Enriquez Pilataxi Alvaro Alexander		
DIRECCIÓN	Yahuarcocha-Pasaje F		
E-MAIL	aaeriquezp@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	062577173	TELÉFONO MÓVIL	0986128394

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“Diseño de un prototipo de monitoreo y diagnóstico remoto de arritmias cardíacas, basado en el procesamiento de señales con DEEP LEARNING”
AUTOR	Enriquez Pilataxi Alvaro Alexander
FECHA	Abril 2022
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
DIRECTOR	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

CONSTANCIAS.**CONSTANCIAS.**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 12 del mes de Julio del 2022

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Enriquez Pilataxi Alvaro Alexander', written in a cursive style.

Enriquez Pilataxi Alvaro Alexander

CI: 100349366-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNÓSTICO REMOTO DE ARRITMIAS CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING" Ha sido desarrollado por el señor Enriquez Pilataxi Alvaro Alexander bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, Msc.

100219843-8

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Mis padres María y Carlos, por haberme dado el regalo más maravilloso que es la educación, y hoy en día la persona que soy es gracias a ellos. Y por siempre estar a mi lado apoyándome y brindándome su amor.

A Selene por ser la persona que estuvo a mi lado incondicionalmente, apoyándome, alentándome y sobre todo por su cariño en todo momento.

A todos mis familiares y amigos, en especial a Pedro, Antonio, Fernando, que fueron quienes estuvieron apoyando en todos los momentos y circunstancias de la vida y que donde quiera que se encuentren sé que estarán muy orgullosos de mí.

Enriquez Pilataxi Alvaro Alexander

AGRADECIMIENTO

Primero doy gracias a Dios por haberme dado la vida y bendecirme con la familia que tengo, que fueron quienes me dieron la oportunidad de poder hacer realidad los objetivos, metas propuestas y poder seguir adelante.

A mis padres por todo el amor que me brindan día a día, aconsejándome y ayudándome en todos los momentos, para poder superar las diferentes dificultades que se presentan en mi vida.

A el Ingeniero Jaime Michilena, que fue el director de mi trabajo de tesis, quien desde el inicio tuvo la predisposición para poder guiarme, asesorarme, corregirme, sobre todo brindarme su tiempo y sus conocimientos, que fueron muy valiosos para poder culminar este trabajo.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, quienes han fortalecido mis conocimientos, sobre todo me han inculcado y reforzado valores a lo largo de mi formación académica universitaria.

Al doctor Fernando Cruz, quien fue el que me permitió realizar las pruebas de mi trabajo de tesis con sus pacientes en su consultorio privado y que siempre tuvo la buena voluntad y el tiempo de poder ayudarme con lo que él pueda en la parte medica con mi tesis.

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	2
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.	2
CONSTANCIAS.	3
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO 1	15
1.1. Tema	15
1.2. Problema	15
1.3. Objetivos	16
<i>1.3.1. Objetivo General</i>	16
<i>1.3.2. Objetivos Específicos</i>	17
1.4. Alcance	17
1.5. Justificación	19
CAPÍTULO 2	21
2.1 Fisiología cardiaca	21
2.2 Enfermedades cardiovasculares	22
2.3 Anatomía del sistema de conducción cardiaco	24
2.4 Anatomía y Fisiología del corazón	25
2.4.1 <i>Aurículas y ventrículos</i>	25
2.4.2 <i>Válvulas cardíacas</i>	26
2.4.3 <i>Sistema conductor del corazón</i>	26
2.4.4 <i>Ciclo cardíaco</i>	27
2.5 Factores de riesgo	28
2.6 Electrocardiograma y patrones cardiacos	29
2.7 Monitorización cardiaca e interpretación	30
2.8 Redes neuronales	32
2.8.1 <i>Inteligencia artificial (AI)</i>	33
2.8.2 <i>Arquitectura</i>	34
2.8.3 <i>Topología de red neuronal</i>	34
2.8.4 <i>Tipos de aprendizaje</i>	35
2.8.4.1 <i>Aprendizaje supervisado</i>	35
2.8.4.2 <i>Aprendizaje no supervisado</i>	36
2.8.4.3 <i>Aprendizaje semi supervisado</i>	37

2.8.4.4 Aprendizaje reforzado.....	37
2.8.5 Redes neuronales Convolucionales.....	38
2.8.6 Deep Learning	39
2.8.7 Redes neuronales en el área de la medicina.....	39
2.8.8 Red corporal inalámbrica (WBAN)	40
2.9 Sistemas Embebidos.....	41
2.9.1 Raspberry Pi 4	41
2.9.2 Módulo AD8232 ECG	42
2.9.3 Módulo ADS1115	42
2.9.4 Módulo MP2307.....	43
CAPITULO 3	44
3.1. Descripción General Del Sistema	44
3.1.1. Alcance Del Sistema	44
3.1.2. Limitaciones Del Sistema	45
3.2. Situación Actual.....	45
3.3. Metodología	47
3.4. Introducción al desarrollo del proyecto.....	48
3.4.1. Propósito del sistema	48
3.4.2 Objetivos del sistema	49
3.4.3 Beneficiarios.....	49
3.5. Requerimientos Del Sistema.....	50
3.5.1. Requerimientos iniciales del sistema	51
3.5.2. Requerimientos de arquitectura	52
3.5.3. Requerimientos Stakeholders	53
3.5.4 Recursos	54
3.6. Selección de Hardware y Software	56
3.6.1. Hardware	56
3.6.1.1. Sensor de frecuencia cardiaca.....	56
3.6.1.2. Convertidor análogo digital	57
3.6.1.3. Regulador de voltaje	58
3.6.1.4 Placa de desarrollo	59
3.6.1.5 Dispositivo móvil	61
3.6.2. Software	61
3.6.2.1 Lenguaje de programación.....	62
3.6.2.2 Base de datos	63
3.6.2.3 Aplicación móvil	65

3.7. Diseño del sistema de clasificación de arritmias cardiacas	66
3.7.1. Descripción de los bloques del sistema	66
3.7.2. Arquitectura general del sistema de clasificación de arritmias cardiacas	66
3.7.3. Diagrama de bloques del sistema	67
3.7.4. Diagrama de clases y secuencias.....	69
3.7.5. Diagrama para la medición del ritmo cardiaco	70
3.8. Pruebas de Integración	74
3.8.1. Cronograma de pruebas.....	74
3.8.1.1. Pruebas de funcionamiento del sistema.	76
CAPITULO 4	86
4.1. Selección de medidor de pulso cardiaco comercial	86
4.2. Evaluación en pacientes	87
4.2.1. Paciente 1 - Bradicardia	89
4.2.2. Paciente 2 - Taquicardia.....	94
4.2.3. Paciente 3 - Estado normal	100
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	111
Bibliografía	113
ANEXOS	116
Anexo 1: Entrevista realizada al Dr. Fernando Cruz Cevallos	116
Anexo 2: Datasheet módulo AD8232	117
Anexo 3: Datasheet módulo ADS1115	118
Anexo 4: Datasheet módulo AMS1117	119
Anexo 5: Datasheet placa Raspberry Pi 4	120
Anexo 6: Código de la Placa de desarrollo	124
Anexo 7: Código de la aplicación móvil	130
Anexo 8: Resultados de prueba de la aplicación móvil “Expo”	134
Anexo 9: Resultados de pruebas de adquisición de datos y clasificación de arritmias cardiacas.	138
Anexo 10: Resultados de pruebas de funcionamiento de la base de datos.	141
Anexo 11: Resultados de pruebas de intercambio de datos del sistema de clasificación de arritmias cardiacas	145
Anexo 12: Datasheet MD300C2	151
Anexo 13: Pruebas realizadas a los pacientes	152

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Circulación de la sangre por los vasos sanguíneos (izquierda) y sistema linfático del cuerpo humano (derecha).	21
Figura 2 Sistema Purkinje del corazón.....	24
Figura 3 Aurículas y ventrículos	25
Figura 4 Sistema de conducción de corazón	27
Figura 5 Ciclo cardiaco.....	28
Figura 6 ECG de 12 derivaciones	30
Figura 7 Conducción eléctrica normal a través del miocardio y el ECG.....	31
Figura 8 ECG sinusal normal del corazón	32
Figura 9 Modelo de neurona artificial en base a neurona natural, abstracción de red neuronal.....	33
Figura 10 Modelo backpropagation	34
Figura 11 Secuencia lógica de aprendizaje supervisado.....	36
Figura 12 Secuencia lógica de aprendizaje no supervisado.....	36
Figura 13 Secuencia lógica de aprendizaje semi supervisado	37
Figura 14 Secuencia lógica de aprendizaje reforzado	38
Figura 15 Estructura de la red neuronal convolucional	39
Figura 16 Arquitectura WBAN.....	40
Figura 17 Microcontrolador Raspberry Pi 4 Model B 8GB	41
Figura 18 Sensor ECG AD8232.....	42
Figura 19 Módulo ADS1115	43
Figura 20 Módulo MP2307.....	43
Figura 21 Fases del modelo en V	48
Figura 22 Arquitectura del sistema	67
Figura 23 Diagrama de bloques de prototipo de clasificación de arritmias cardiacas	67
Figura 24 Funcionamiento de bloques del sistema de clasificación de arritmias	69
Figura 25 Diagrama de flujo del sistema	70
Figura 26 Diagrama de conexión del circuito de la adquisición de datos del ECG	71
Figura 27 Latido cardiaco por categoría	72
Figura 28 Porcentajes de diferentes tipos de arritmias cardiacas.	73
Figura 29 Visualización de datos obtenidos por medio de la aplicación móvil.	78
Figura 30 Gráfico de la frecuencia cardiaca mostrada en el raspberry.	80
Figura 31 Resultados de la red neuronal mostrados en la aplicación móvil.	80
Figura 32 Almacenamiento de los datos ingresados y resultados obtenidos en la aplicación movil... ..	81
Figura 33 Pacientes ingresados en la base de datos.....	83
Figura 34 Tráfico del intercambio de datos del modelo TCP/IP del sistema registrado en Wireshark.	85
Figura 35 Medidor de ritmo cardiaco colocado en muñeca derecha de paciente 1.....	90
Figura 36 Pantalla de registro de paciente 1.....	90
Figura 37 Resultados de pruebas en paciente 1.....	91
Figura 38 Medición de ritmo cardiaco en paciente 1 con oxímetro de pulso ChoiceMMed.	92
Figura 39 Almacenamiento de datos durante el registro del paciente 1.	93
Figura 40 Registro de ritmo cardiaco del paciente 1.....	94
Figura 41 Medidor de ritmo cardiaco colocado en muñeca derecha de paciente 2.....	95
Figura 42 Pantalla de registro de paciente 2.....	96
Figura 43 Resultados de pruebas en paciente 2.....	97

Figura 44 Medición de ritmo cardiaco en paciente 2 con oxímetro de pulso ChoiceMMed.	98
Figura 45 Almacenamiento de datos durante el registro del paciente 2.	99
Figura 46 Registro de ritmo cardiaco del paciente 2.	100
Figura 47 Medidor de ritmo cardiaco colocado en muñeca derecha de paciente 3.	101
Figura 48 Pantalla de registro de paciente 3.	102
Figura 49 Resultados de pruebas en paciente 3.	103
Figura 50 Medición de ritmo cardiaco en paciente 3 con oxímetro de pulso ChoiceMMed.	104
Figura 51 Almacenamiento de datos durante el registro del paciente 3.	105
Figura 52 Registro de ritmo cardiaco del paciente 3.	106
Figura 53 Carta de corroboración del sistema por el Dr. Fernando Cruz Cevallos.	108

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Representación de Acrónimos.....	51
Tabla 2 Prioridades de requerimientos.....	51
Tabla 3 Requerimientos iniciales del sistema.....	51
Tabla 4 Requerimientos de Arquitectura.....	52
Tabla 5 Lista de Stakeholders.....	53
Tabla 6 Requerimientos de Stakeholders.....	54
Tabla 7 Recursos humanos.....	54
Tabla 8 Recursos económicos.....	55
Tabla 9 Recursos tecnológicos.....	55
Tabla 10 Especificaciones de sensores de frecuencia cardiaca.....	56
Tabla 11 Puntuación de sensores de frecuencia cardiaca.....	57
Tabla 12 Especificaciones de CAD.....	57
Tabla 13 Puntuación de CAD.....	58
Tabla 14 Especificaciones de reguladores de voltaje.....	58
Tabla 15 Puntuación reguladores de voltaje.....	59
Tabla 16 Especificaciones de placas de desarrollo.....	59
Tabla 17 Puntuación de placas de desarrollo.....	60
Tabla 18 Características técnicas del dispositivo móvil.....	61
Tabla 19 Características técnicas de lenguajes de programación.....	62
Tabla 20 Puntuación de lenguajes de programación.....	63
Tabla 21 Características técnicas de bases de datos.....	63
Tabla 22 Puntuación de bases de datos.....	64
Tabla 23 Características técnicas de framework.....	65
Tabla 24 Puntuación de framework.....	65
Tabla 25 Puntuación de lenguajes de programación.....	72
Tabla 26 Parámetros de la red neuronal.....	73
Tabla 27 Cronograma de pruebas.....	75
Tabla 28 Resultados de prueba de la aplicación móvil “Expo”.....	77
Tabla 29 Resultados de pruebas de adquisición de datos y clasificación de arritmias cardiacas.....	78
Tabla 30 Resultados de pruebas de funcionamiento de base de datos.....	81
Tabla 31 Resultados de pruebas de intercambio de datos del sistema de clasificación de arritmias cardiacas.....	83
Tabla 32 Medidores de arritmias cardiacas comerciales.....	86
Tabla 33 Listado de pacientes para prueba del sistema.....	87
Tabla 34 Muestras tomadas con el prototipo en pacientes.....	87
Tabla 35 Resultados de pruebas de funcionamiento de base de datos.....	106

RESUMEN

En esta investigación se presenta el diseño de un prototipo de monitoreo y diagnóstico remoto de arritmias cardíacas basado en redes neuronales, para lo cual, se emplea la metodología en V que se comprende por las fases de verificación, codificación y validación. La fase de verificación consiste en la descripción a detalle de los requerimientos del sistema, donde, se considera como referencia el estándar ISO/IEC / IEEE 29148: 2011 (ISO/IEC/IEEE, 2011).

Posterior a la descripción de requerimientos del sistema se procede a realizar la selección de los componentes de hardware y software. En este sentido, para seleccionar cada componente se realiza una comparación técnica de varias opciones posibles y se evalúa según su adaptación a los requerimientos deseados. Luego se programa la técnica de Deep Learning, para lo cual, se empleó la base de datos de arritmias cardíacas de la MIT-BIH, considerando tres patologías específicas, bradicardia, taquicardia y estado normal.

Las pruebas físicas de funcionamiento se realizan en base a una ficha de cumplimiento de características, donde se detalla el tipo de prueba y los posibles fallos que se presentaron en cada prueba. Asimismo, el sistema se prueba con 8 pacientes, que presentan patologías asociadas al corazón, bajo la supervisión del doctor Fernando Cruz Cevallos.

Por último, el sistema demuestra ser muy completo para ser usado por el profesional de la salud ya que aparte de recibir y detectar de forma correcta las arritmias cardíacas como bradicardia, taquicardia y la frecuencia cardíaca normal, este almacena los datos de una forma organizada, lo que facilita el seguimiento y control médico del paciente, además, su efectividad es del 100%.

ABSTRACT

This research presents the design of a prototype for remote monitoring and diagnosis of cardiac arrhythmias based on neural networks, for which the V methodology is used, comprising the phases of verification, coding, and validation. The verification phase consists of the detailed description of the system requirements, where the ISO/IEC / IEEE 29148: 2011 standard is considered as a reference (ISO/IEC/IEEE, 2011).

After the description of the system requirements, the hardware and software components are selected. In this sense, to select each component, a technical comparison of several possible options is made and evaluated according to their adaptation to the desired requirements. Then the Deep Learning technique is programmed, for which the MIT-BIH cardiac arrhythmia database was used, considering three specific pathologies, bradycardia, tachycardia and normal state.

The physical function tests are performed on the basis of a characteristic's compliance sheet, which details the type of test and the possible failures that occurred in each test. Likewise, the system is tested with 8 patients, who present pathologies associated with the heart, under the supervision of Dr. Fernando Cruz Cevallos.

Finally, the system proves to be very complete to be used by the health professional since, apart from receiving and detecting cardiac arrhythmias correctly such as bradycardia, tachycardia and normal heart rate, it stores the data in an organized manner, which facilitates the follow-up and medical control of the patient, in addition, its effectiveness is 100%.

CAPÍTULO 1

En este capítulo se presenta una breve introducción sobre la motivación del autor para llevar a cabo el proyecto. Asimismo, se detalla el tema, la problemática, los objetivos, el alcance y la justificación que se van a cumplir a lo largo del estudio, para lo cual, se considera las limitantes y aspectos teóricos necesarios que se necesita para su desarrollo.

1.1. Tema

Diseño de un prototipo de monitoreo y diagnóstico remoto de arritmias cardíacas, basado en el procesamiento de señales con DEEP LEARNING.

1.2. Problema

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC), las enfermedades cardiovasculares se encuentran situadas entre las primeras causas de muerte en el Ecuador, en el año 2014 se registraron un total de 4430 muerte por enfermedades isquémicas del corazón, 1316 muertes por insuficiencia cardíaca, 168 muertes por arritmias cardíacas tales como bradicardia, taquicardia y finalmente 106 muertes por paros cardíacos (INEC, 2014), mientras que, un estudio realizado en el Ecuador por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en el año 2016, el 30% de la población adulta entre edades de 40 y 60 años, corre el riesgo de padecer alguna enfermedad asociada al mal funcionamiento del sistema cardíaco (EL COMERCIO, 2016). En el 2018 se realizó un estudio donde el Ecuador se encuentra entre los países más ineficientes en sanidad sobre sistemas de salud según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (Rodríguez León, 2018).

Las ECV se asocian con trastornos del corazón y vasos sanguíneos que a menudo pueden provocar arritmias cardíacas, accidentes cerebrovasculares, hipertensión e insuficiencia cardíaca, además, de las enfermedades crónicas no transmisibles (ENT). Por otro lado, las ENT se asocian con un avance lento a largo plazo o incluso de por vida, y suelen ser silenciosas o sintomáticas, esto afecta la calidad de vida de las personas. Existen varios factores que

contribuyen al desarrollo de las ECV, por ejemplo, un mal manejo del estilo de vida con una dieta inadecuada, un estilo de vida sedentario, el estrés y el uso de drogas legales e ilícitas son factores determinantes para la progresión de estas patologías. Por consiguiente, la atención adecuada puede reducir significativamente la probabilidad de problemas cardíacos, así como los exámenes de rutina y el seguimiento por parte de un cardiólogo, sin embargo, los costos asociados a la realización de un electrocardiograma de forma periódica en hospitales y clínicas implica un costo muy elevado, esto se vuelve una gran barrera para los pacientes de escasos recursos que sufren de alguna ECV, pues imposibilita el seguimiento adecuado de la patología.

Es por ello, que nace la idea de realizar el diseño de un prototipo para monitorear y diagnosticar arritmias cardíacas, bradicardia y taquicardia utilizando equipos electrónicos de bajo coste y fácil adquisición para que puedan ser ensamblados siguiendo un esquema de conexión en la red de área corporal, cuyo objetivo es el de brindar un diagnóstico predictivo de acuerdo con el esquema de parametrización del prototipo. De esta forma, se busca compensar los precios excesivos de aparatos médicos de gran envergadura enfocados a la prevención, diagnóstico y cuidado de pacientes con enfermedades relacionadas al mal funcionamiento del sistema cardíaco, se plantea a través del presente proyecto una solución enfocada al procesamiento de señales con DEEP LEARNING obtenidas por elementos electrónicos portátiles, que permita la detección temprana de arritmias cardíacas (como bradicardia, taquicardia y frecuencia cardíaca normal) y a su vez llevar un registro detallado del paciente para un monitoreo y control de salud futura.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de arritmias cardíacas, mediante la técnica del procesamiento de señales con DEEP LEARNING para facilitar la detección de anomalías cardíacas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema de adquisición de datos, mediante el uso de una placa de desarrollo y un sensor de frecuencia cardiaca para la recopilación de información referente al ritmo cardiaco del paciente.
- Elaborar e implementar el algoritmo de clasificación de arritmias cardiacas mediante el uso de redes neuronales convolucionales para garantizar el correcto entrenamiento y funcionamiento del algoritmo.
- Verificar y validar los resultados obtenidos mediante pruebas con pacientes, para comprobar la efectividad del sistema propuesto.
- Construir una base de datos, para llevar el registro detallado del monitoreo de cada uno de los pacientes y poderlos observar mediante una aplicación móvil.

1.4. Alcance

En esta investigación se propone el desarrollo de un prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de problemas del corazón mediante la técnica de DEEP LEARNING, para facilitar la detección de arritmias cardiacas como la bradicardia, taquicardia y frecuencia cardiaca normal. En este contexto, la investigación se basa en la metodología en V donde se analizará lo siguiente: requisitos necesarios del sistema para la selección de los componentes de hardware y software, diseño de los dispositivos de medición, pruebas de integración, integración del sistema, validación y verificación del sistema.

Para el estudio de arritmias cardiacas se recopilará información relevante de varios sitios importantes como revistas académicas, conferencias médicas, manuales, publicaciones científicas y libros, que sean aplicables y aporten contenido relevante sobre los sistemas de diagnóstico, así como, el reconocimiento del ritmo sinusal normal y los tiempos asociados al análisis de los ECG. Asimismo, se analizan los métodos y algoritmos que se aplican para la

clasificación de arritmias cardíacas, con el fin de determinar la mejor técnica en el campo del DEEP LEARNING.

La investigación se comprende de cuatro fases. En la primera fase se recopilan las especificaciones del sistema para el desarrollo del prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de arritmias cardíacas, tanto para el sistema de adquisición de datos, el algoritmo de clasificación y la aplicación móvil. En la segunda fase se caracterizan las funciones palpables para el usuario como, el uso de sensores que se conectan a su cuerpo y la aplicación móvil donde se monitorea el ritmo cardíaco. Así mismo, en la tercera fase se definen los componentes de hardware y software, para ensamblar el sistema de adquisición de datos, el sistema de clasificación, el sistema de almacenamiento y el sistema de monitoreo. Por último, en la cuarta fase se realizan las pruebas de funcionamiento, es decir, se someterá al sistema de monitoreo de arritmias cardíacas propuesto a 8 pacientes de los cuales son 5 mujeres y 3 hombres, que son atendidos en el consultorio privado Centro Medico Cruz, este proceso se realizara bajo el acompañamiento del doctor Fernando Cruz Cevallos, de esta forma, la propuesta se valida por un profesional del área de medicina.

El sistema de detección y clasificación de arritmias consta de 4 partes esenciales, sistema de adquisición de datos, sistema de almacenamiento, sistema de clasificación y sistema de visualización. El sistema de adquisición de datos consta de un sensor de frecuencia cardíaca, el cual se conecta a una placa de desarrollo que será seleccionada mediante una evaluación de cumplimiento de requerimientos de software.

Por otro lado, el sistema de almacenamiento se compone de una base de datos en tiempo real, la cual almacena los datos obtenidos del sensor de frecuencia cardíaca y a la vez son la entrada para el sistema de clasificación, este usa la técnica de Deep Learning junto con criterios médicos como el reconocimiento del ritmo sinusal normal y los tiempos asociados al análisis

de los ECG, que deben ser interpretados por un profesional de la salud, de esta forma, se puede realizar la clasificación del tipo de arritmias en base a los datos de entrada con base científica.

La técnica de Deep Learning, que se empleará, se selecciona en base al cumplimiento de requerimientos del sistema, con el fin de escoger la mejor opción que genere los mejores resultados. De forma paralela, la aplicación móvil consulta los datos resultantes de la clasificación de la técnica anterior y los presenta en un dispositivo móvil.

En contraste, la interfaz de la aplicación móvil debe ser intuitiva, para que, el profesional de la salud, que use la herramienta, pueda acceder a los datos del paciente de forma rápida y fácil. En este contexto, la aplicación móvil permite la consulta de datos históricos de cada paciente, así como, la posibilidad de monitorear el tratamiento en el caso de detectar una patología.

Por último, para la validación del sistema de detección y clasificación de arritmias cardíacas se selecciona un paciente de cada tipo de arritmia considerado para el estudio (bradicardia, taquicardia y la frecuencia cardíaca normal). Todo el proceso médico será monitoreado por el doctor Fernando Cruz Cevallos.

1.5. Justificación

Las estadísticas de las enfermedades cardiovasculares es una de las principales causas de muerte en el Ecuador, de acuerdo con el INEC. Así mismo, un estudio realizado en el Ecuador por la OPS el 30% de la población adulta entre edades de 40 y 60 años, corre el riesgo de padecer alguna enfermedad asociada al mal funcionamiento del sistema cardíaco. Esto se debe a que el Ecuador es uno de los países más ineficientes en temas de sanidad sobre sistemas de salud (Rodríguez León, 2018).

Por lo anterior, esta investigación se enfoca en mejorar los métodos de monitoreo cardíaco de última generación y el diagnóstico automático de anomalías cardíacas a través de enfoques de ingeniería modernos, como el procesamiento de señales y los métodos de

aprendizaje automático. La investigación describirá la invención y los métodos asociados de un monitor de ritmo cardíaco. Además, se analizan nuevos enfoques de aprendizaje automático para mejorar el diagnóstico y la precisión de la predicción de enfermedades cardíacas.

Así mismo, este proyecto tendrá un impacto significativo a nivel social y económico, debido a que, el monitor de anomalías cardíacas propuesto representa un bajo costo, a comparación, de los dispositivos comerciales con características similares. Esto implica que estaría al alcance de los profesionales en el área de esta forma no sería necesario enviar a las personas a clínicas privadas y hospitales públicos a realizarse un examen de monitoreo cardíaco, que debido a la pandemia son muy vulnerables y no es seguro dirigirse de forma frecuente y presencial a hospitales o clínicas. De esta forma se compensa los precios excesivos de los aparatos médicos enfocados a la prevención y por consecuencia se derriba la barrera impuesta a las personas de recursos limitados, para el diagnóstico y supervisión de sus patologías relacionadas con el corazón.

Por último, esta investigación pretende ser una motivación para los profesionales e investigadores afines a las áreas de electrónica, telecomunicaciones y medicina, para desarrollar proyectos de utilidad, vinculados a la sociedad, en especial a las personas más necesitadas. De esta forma, se puede cambiar la perspectiva convencional del individualismo.

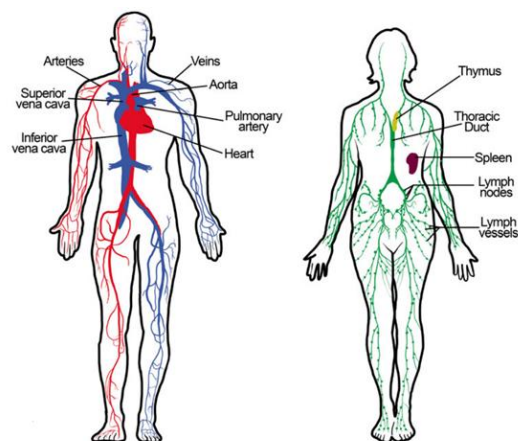
CAPÍTULO 2

El propósito de este capítulo es proporcionar una descripción general del sistema cardiovascular humano, para que sirva como referencia rápida sobre su composición fisiológica subyacente. Esto se realiza con el objeto de comprender las variables involucradas en el diagnóstico de las enfermedades cardíacas. Por otro lado, se describe los fundamentos, arquitectura y tipos de aprendizaje de las redes neuronales, así como, las técnicas de Deep Learning aplicables al proyecto.

2.1 Fisiología cardíaca

El sistema cardiovascular se encarga del transporte de moléculas a grandes distancias entre células internas, que corresponden a la superficie del cuerpo y a varios órganos de tejidos especializados. El sistema de transporte de todo el cuerpo consta de varios componentes principales: vasos sanguíneos, corazón, sistema linfático y sangre, como se presenta en la Figura 1. Este sistema, cuando funciona normalmente, permite el desarrollo de las actividades de vasto alcance del ser humano. Una falla en cualquiera de estos componentes puede producir patologías leves e incluso graves (Cook & Weinhaus, 2015).

Figura 1 Circulación de la sangre por los vasos sanguíneos (izquierda) y sistema linfático del cuerpo humano (derecha).



Fuente: (Cook & Weinhaus, 2015)

2.2 Enfermedades cardiovasculares

Las arritmias cardíacas son las anomalías o perturbaciones en la activación o los latidos normales del miocardio cardíaco. El nódulo sinusal envía una onda de despolarización sobre la aurícula y el nódulo auriculoventricular (por sus siglas en inglés AV) despolarizante, que se propaga por el sistema His-Purkinje y despolariza el ventrículo de forma sistemática. Una anomalía cardíaca puede ser de dos tipos: por ritmo cardíaco demasiado rápido y por ritmo cardíaco demasiado lento. En la primera el corazón late muy rápido superando los 100 latidos por minuto, por el contrario, en la segunda el ritmo cardíaco es demasiado lento, por debajo de los 60 latidos por minuto(Fu, 2015).

La persona puede sentir el corazón exaltado es decir que late o palpita demasiado rápido (taquicardia) o demasiado lento (bradicardia), no obstante, algunas personas no suelen padecer ningún síntoma. Las arritmias pueden ser una emergencia o inofensivas todo depende de los síntomas de la persona, en el caso de sentir alguna de las anomalías antes descritas se debe acudir a un médico de forma inmediata para conocer la causa del suceso.

Las arritmias se dividen en dos grandes grupos según el lugar de ocurrencia, en el primer grupo denominado ventriculares la arritmia se origina en los ventrículos o en las cavidades inferiores del corazón, en el segundo grupo llamado supraventriculares la arritmia se origina en las aurículas o en las cavidades superiores del corazón.

La taquicardia supraventricular (por sus siglas en inglés TSV: Supraventricular Tachycardia) corresponde a las arritmias que se generan por encima del nodo auriculoventricular. Este término se usa generalmente para referirse a un número finito de ritmos anormales como: taquicardia reentrante auriculoventricular (por sus siglas en inglés AVRT: Atrio-ventricular Reentrant Tachycardia), taquicardia auricular (por sus siglas en inglés TA: Atrial Tachycardia), atrio-taquicardia reentrante nodal ventricular (por sus siglas en inglés AVNRT: Atrio-Ventricular nodal Reentrant Tachycardia) (Yan, 2020).

Dentro de las arritmias supraventriculares se identifican: las contracciones auriculares prematuras, taquicardia de la vía accesoria, fibrilación auricular, taquicardia de la vía accesoria, aleteo auricular, taquicardia reentrante del nódulo auriculoventricular AV y taquicardia supraventricular paroxística, los cuales se describen a continuación.

Las contracciones auriculares prematuras se refieren a los ritmos extra tempranos, estos son inofensivos y no requieren tratamiento alguno. Por otro lado, se tiene a la fibrilación auricular que produce una contracción de manera inusual del corazón y se origina en las cavidades superiores de este, en consecuencia, el corazón puede llegar a latir a más 400 veces por minuto.

El aleteo auricular suele ser una patología más regular que la fibrilación auricular, esta afecta con mayor frecuencia a personas que padecen enfermedades cardiacas, así como a los pacientes sometidos a algún tipo de cirugía del corazón, además, esta patología suele cambiar a fibrilación aurícula.

La taquicardia supraventricular paroxística se asocia a una frecuencia cardíaca rápida, por lo general con un ritmo regular. Algo muy característico de este tipo de patología es que comienza y desaparece de forma repentina.

Las taquicardias de la vía accesoria producen en los pacientes una frecuencia cardíaca rápida, a causa de, una vía adicional entre las cámaras superior e inferior del corazón.

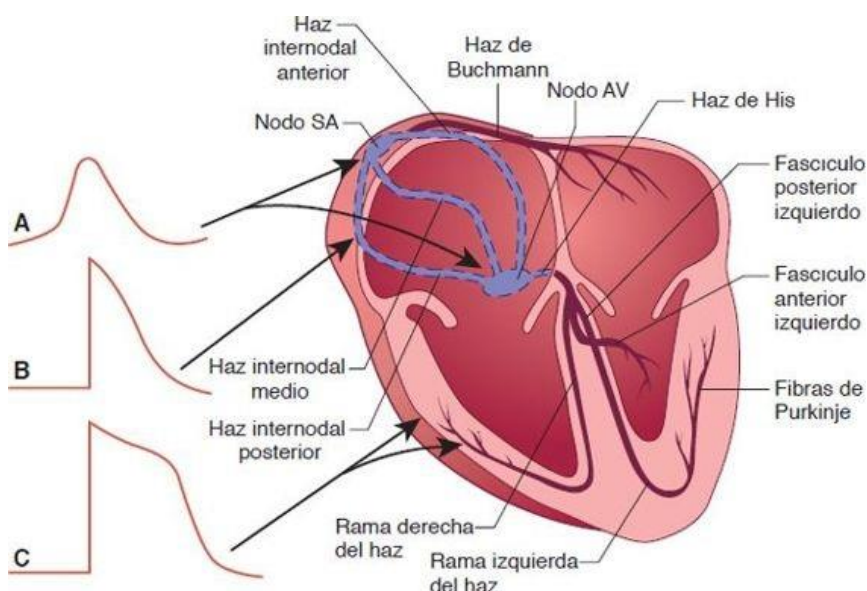
Por último, la taquicardia reentrante del nódulo AV se origina por una vía adicional a través de una parte del corazón denominada nodo AV, en consecuencia, esto puede causar palpitaciones, desmayos o insuficiencia cardíaca .

Del mismo modo, los médicos clasifican las arritmias según el modo de afección sobre la frecuencia cardíaca en reposo: bradicardia y taquicardia. La bradicardia se caracteriza por presentar una frecuencia de los latidos del corazón inferior a sesenta latidos por minuto, mientras que en la taquicardia presenta pulsaciones mayores a cien latidos por minuto.

2.3 Anatomía del sistema de conducción cardiaco

El suministro de oxígeno hacia cada órgano del cuerpo humano es esencial, esto es posible gracias al corazón, debido a que este órgano se encarga del suministro de sangre al todo el cuerpo. Este proceso se manifiesta desde el desarrollo embrionario y continua durante toda la vida.

Figura 2 Sistema Purkinje del corazón



Fuente: (Rodríguez & Castellanos, 2013)

El sistema de conducción y estimulación controlan los latidos del corazón, este proceso se origina por medio de un impulso rítmico que tiene origen en el nodo sinusal. Para lo cual, se interconecta el auriculoventricular y el nodo sinusal por medio de las vías internodales. El nodo auriculoventricular se encarga del impulso procedente de las aurículas y retardado por los ventrículos. Por otro lado, las ramas derechas e izquierda de las fibras de Purkinje se encargan de conducir los estímulos cardiacos a las paredes de los ventrículos. El tejido de Purkinje se localiza en las paredes internas del corazón bajo el endocardio, estas fibras conducen los impulsos eléctricos para que el corazón lata de forma correcta (Rodríguez & Castellanos, 2013).

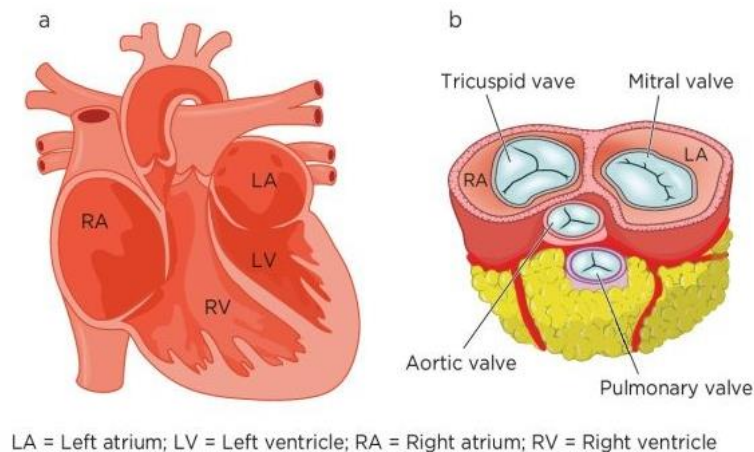
2.4 Anatomía y Fisiología del corazón

Al órgano intrincado que posee un sistema de capas musculares, cámaras, válvulas y nodos, se le conoce como corazón. Este posee su propio sistema de circulación y recibe impulsos eléctricos que lo hacen contraerse y relajarse, lo que desencadena una secuencia de eventos que forman el ciclo cardíaco.

2.4.1 Aurículas y ventrículos

Las aurículas hacen posible la recirculación de sangre hacia el corazón, mientras que los ventrículos reciben sangre de las aurículas a través de las válvulas auriculoventriculares y la bombean a los diferentes órganos del cuerpo (Figura 3a). La aurícula izquierda (AL) y el ventrículo izquierdo (VI) están separados de las aurículas derechas (AR) y el ventrículo derecho (VD) por una banda de tejido llamada tabique.

Figura 3 Aurículas y ventrículos



Fuente: (Walter, Daly, & Bondurant, 1962)

La AR recibe sangre desoxigenada de la cabeza y el cuello y del resto del cuerpo a través de la vena cava superior e inferior respectivamente. El VD luego bombea sangre a los pulmones a través del tronco pulmonar, este a su vez se compone de arterias pulmonares (izquierda y derecha), donde se oxigena. La sangre oxigenada se devuelve al AL a través de las venas pulmonares y pasa al VI a través de las válvulas cardíacas. Desde el VI, se entrega a todo el cuerpo a través de la aorta.

2.4.2 Válvulas cardíacas

Cuando funcionan correctamente, las válvulas cardíacas (Figura 3b) aseguran un sistema unidireccional de flujo sanguíneo. Posee cúspides sostenidas en su lugar por tendones fuertes unidos a las paredes internas del corazón por pequeños músculos papilares.

La AR y la VD están separadas por la válvula tricúspide, que tiene tres valvas. La recirculación de la sangre desoxigenada es posible gracias a la válvula tricúspide, el líquido vital se mueve de la AR al VD. Desde el VD, la sangre pasa a través de la válvula pulmonar, situada entre el VD y la arteria pulmonar, lo que permite que la sangre desoxigenada ingrese a los pulmones.

Por otro lado, en la sección izquierda del corazón, la circulación de sangre sucede desde los pulmones, pasando por el LA hasta la vena pulmonar. El AL está separado del VI por la válvula mitral también llamada válvula bicúspide, ya que tiene dos valvas (Figura 3b), y la sangre fluye a través de esta válvula hacia el VI. Luego pasa a través de la válvula aórtica hacia la aorta, que transporta sangre oxigenada por todo el cuerpo.

2.4.3 Sistema conductor del corazón

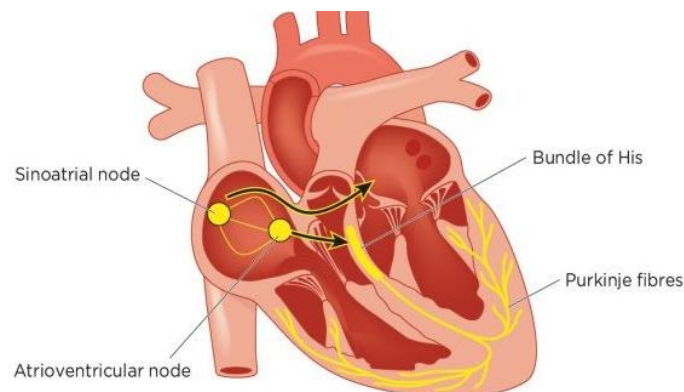
El músculo cardíaco tiene la capacidad de someterse a la despolarización (cambio en la excitación de una célula), lo que conduce a una contracción de las células musculares. En el corazón, los cambios eléctricos son necesarios para generar un impulso cardíaco y están regulados por su propio sistema de conducción, que empieza con una secuencia de excitación en un área especializada de las células cardíacas, el nodo sinoauricular (SAN), situado en la aurícula derecha. Este es el marcapasos natural del corazón.

Cuando el SAN funciona correctamente, establece el ritmo cardíaco (ritmo sinusal) e inicia impulsos que actúan sobre el miocardio, estimulando la contracción cardíaca. El impulso cardíaco pasa del SAN a las aurículas, que comienzan a contraerse, y el impulso se transmite a otra masa de células especializadas, el nodo auriculoventricular (AVN).

El AVN está situado en el septo interauricular, una banda de tejido entre la AR y el AL que proporciona una vía de conducción entre las aurículas y los ventrículos. Hay un ligero retraso (de 0,1 segundos) del impulso en el AVN porque las fibras del AVN son más pequeñas, lo que da a las aurículas tiempo para contraerse y vaciarse en los ventrículos antes de que se produzca la contracción ventricular.

El impulso luego viaja hacia abajo en un gran haz de tejido especializado, el Haz de His, que lo conduce por los ventrículos. El haz posteriormente se divide en dos haces, derecho e izquierdo en el septo interventricular. Las fibras de Purkinje luego continúan hacia abajo hasta la parte inferior del corazón, antes de hacer un bucle hacia arriba y viajar en los aspectos laterales del VD y el VI (Figura 4) (Jarvis S, 2018).

Figura 4 Sistema de conducción de corazón



Fuente: (Jarvis S, 2018)

2.4.4 Ciclo cardíaco

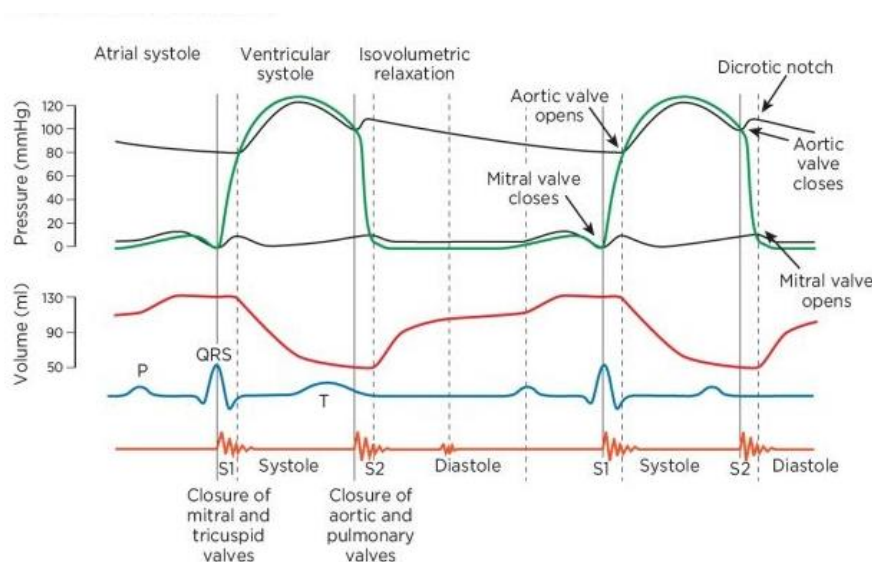
Las cámaras del corazón se contraen y se relajan de manera coordinada. La fase de contracción se conoce como sístole y la fase de relajación, cuando el corazón se llena de nuevo, como diástole. La AR y el LA se sincronizan durante la sístole y la diástole auriculares, mientras que el VD y el VI se sincronizan durante la sístole y la diástole ventriculares. Un ciclo completo de estos eventos se conoce como el ciclo cardíaco.

Durante el ciclo cardíaco, la presión en las cámaras cardíacas aumenta o disminuye, lo que repercute en la función de cierre y apertura de la válvula, regulando así el flujo sanguíneo

entre las cámaras. Las presiones en el lado izquierdo del corazón son alrededor de cinco veces más altas que en el lado derecho, pero se bombea el mismo volumen de sangre por latido cardíaco.

El ciclo cardíaco se puede dividir en una secuencia de eventos basada en el principio de que cualquier flujo sanguíneo a través de las cámaras depende de los cambios de presión, ya que la sangre siempre fluirá de un área de alta presión a un área de baja presión, el proceso se muestra en la figura 5 (Jarvis S, 2018).

Figura 5 *Ciclo cardiaco*



Fuente: (Jarvis S, 2018)

2.5 Factores de riesgo

Los factores que hacen a una persona más propensa a las arritmias son: edad, genes, estilo de vida, condiciones médicas y medio ambiente, las cuales se describen a continuación.

La edad de una persona tiene una relación directa con las arritmias, pues a medida se envejece las probabilidades de padecer una arritmia aumenta. Por otro lado, cuando existe antecedentes de enfermedades cardiovasculares en el árbol genealógico, una persona puede heredar el problema lo cual la hace más propensa a sufrir de arritmias. Otro factor muy importante son las sustancias y drogas que una persona ingeniera, debido a que el abuso del

alcohol y drogas aumentan significativamente el riesgo de padecer una arritmia cardíaca (Beckerman, 2020).

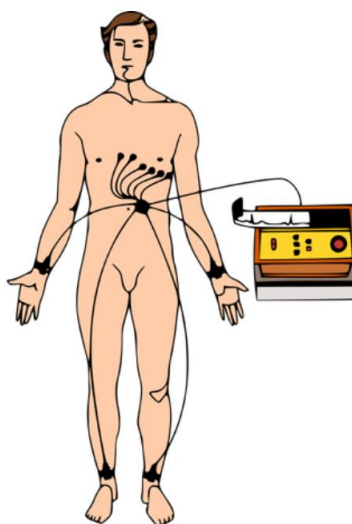
Desde otra perspectiva algunas patologías como: el nivel bajo de azúcar en la sangre, diabetes, obesidad, apnea del sueño, presión arterial alta y los trastornos autoinmunes se relacionan y son causa directa de ocasionar problemas del ritmo cardíaco. Por último, las condiciones ambientales del entorno como contaminación del aire contribuyen a que la probabilidad de sufrir una arritmia sea elevada.

2.6 Electrocardiograma y patrones cardíacos

El electrocardiograma (ECG) es una representación eléctrica de la contracción y expansión del corazón leída por electrodos colocados en puntos estratégicos del cuerpo. Un dispositivo de ECG monitorea y toma registro la actividad eléctrica del corazón e indica si el ritmo de los latidos del corazón es constante o irregular. El ECG de 12 derivaciones (Figura 6) que se utiliza hoy en día, que es el estándar para la monitorización cardíaca, refleja los muchos esfuerzos de ingeniería dirigidos hacia la cardiología, en términos de diseño de hardware para una amplificación suficiente y eliminación del ruido de 60 Hz en señales eléctricas débiles y distorsionadas del cuerpo, así como en el desarrollo de un procesamiento de señal eficiente para eliminar otros elementos de ruido en las señales, como la desviación de línea de base.

El ECG proporciona una representación del ritmo cardíaco, por consiguiente, proporciona marcadores importantes para que los médicos diagnostiquen enfermedades cardíacas, del mismo modo, se lo conoce como un dispositivo de calidad de diagnóstico completo. La información disponible a través del ECG permite a un médico capacitado diagnosticar afecciones como fibrilación auricular, aleteo auricular, fibrilación ventricular, infarto de miocardio, hipertrofia, y síndrome coronario agudo, la gravedad de las patologías varía de insignificante a potencialmente fatal (Perumalla & Gitlin, 2017).

Figura 6 ECG de 12 derivaciones



Fuente: (Perumalla & Gitlin, 2017)

2.7 Monitorización cardíaca e interpretación

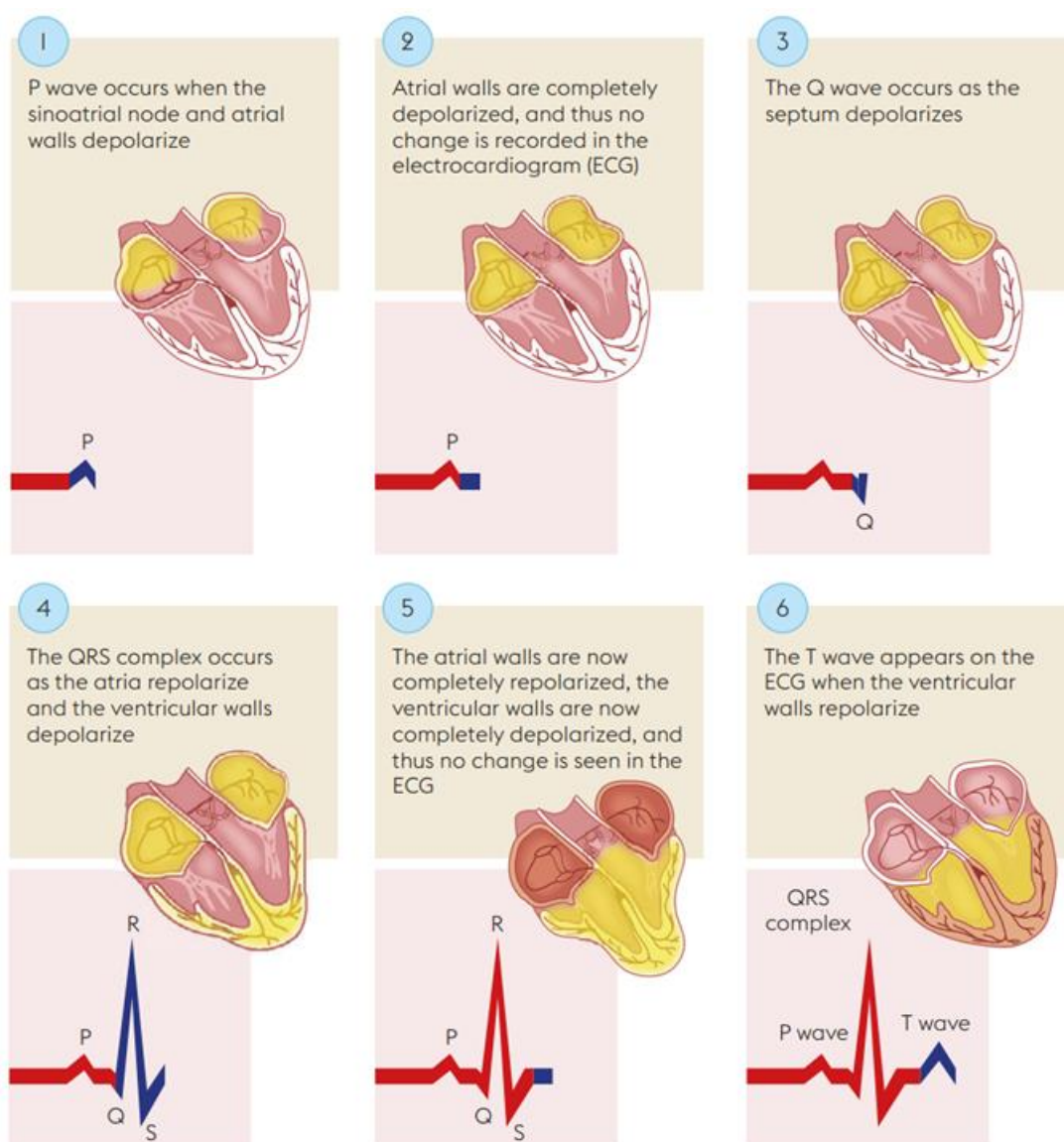
La vía de conducción eléctrica normal a través del miocardio y el trazo de ECG asociado generado (Figura 7) se monitorean durante el ECG. Las células del miocardio tienen una propiedad autor rítmica única, esta es la capacidad de despolarizar, sin necesidad de un estímulo nervioso externo, facilitando que un estímulo eléctrico se propague rítmicamente a través del miocardio, permitiendo que el corazón se contraiga. La despolarización es un proceso fisiológico complejo basado en la permeabilidad de la membrana de las células del miocardio y el movimiento de iones, en particular sodio (Na^+) hacia el interior de la célula, seguido de un rápido influjo de calcio (Ca^{2+}), creando una inversión de la acción. potencial y un impulso eléctrico (Hatchett, 2017).

La Figura 8 muestra el complejo ECG de ritmo sinusal normal para un latido. La línea de base horizontal plana es la línea isoeleétrica, que es la falta de actividad eléctrica detectada entre y dentro de cada latido del corazón. Los componentes del ritmo sinusal normal son:

- La onda P, pequeña, redondeada y erguida, precede a la contracción de ambas aurículas juntas. Debe haber una onda P por complejo QRS, que corresponde a la despolarización auricular.

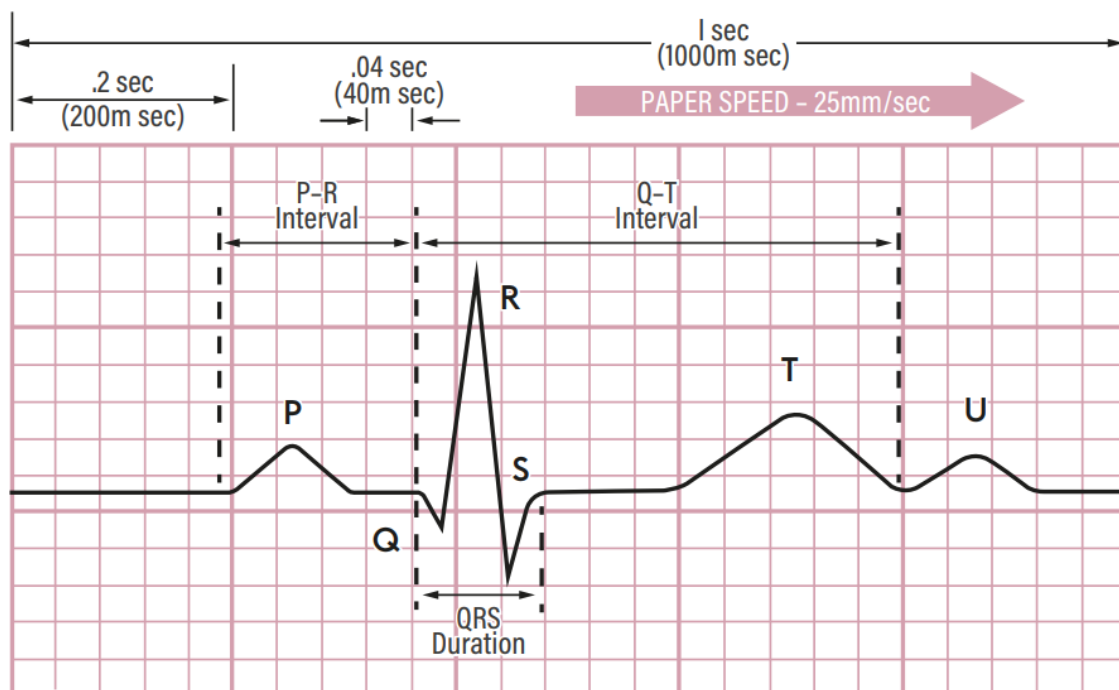
- El intervalo PR es el período de tiempo en el que inicia tanto la onda P como el QRS e incluye la conducción eléctrica a través del Nodo AV.
- El complejo QRS, alto y estrecho (no importa cuán estrecho), precede a la contracción de ambos ventrículos juntos corresponde a la despolarización ventricular.
- La onda T redondeada, ligeramente más grande que la onda P corresponde a la repolarización ventricular (reajuste eléctrico).
- La onda U es vista a veces; sin embargo, la fuente no está clara.

Figura 7 Conducción eléctrica normal a través del miocardio y el ECG



Fuente: (Hatchett, 2017)

Figura 8 ECG sinusal normal del corazón



Fuente: (Hatchett, 2017)

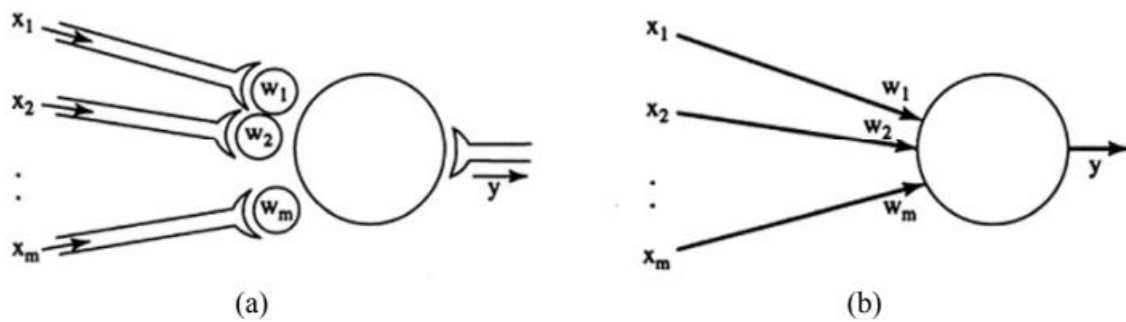
2.8 Redes neuronales

Una red neuronal (NN) es un modelo informático que se basa en el comportamiento del cerebro humano. El cerebro humano posee alrededor de 1011 elementos denominados neuronas, estas se interconectan unas a otras mediante enlaces, de tal forma que existen más de 1015 conexiones. Por lo anterior se considera al cerebro la fuente fundamental de la inteligencia, esto incluye el aprendizaje, la cognición y la percepción.

En contraste con la anterior, una red neuronal se compone de neuronas artificiales interconectadas entre sí en donde, las neuronas se representan mediante nodos o vértices y las conexiones por medio de bordes. Por lo tanto, un elemento básico del cerebro es una neurona natural, de forma similar, en una red neuronal el elemento básico es una neurona artificial.

Una neurona es un modelo artificial de una neurona natural (Figura 9), estas poseen entradas (x_1, x_2, \dots, x_m) que representan los niveles de estimulación natural. El cuerpo de la neurona se alimenta del producto de las entradas (x_i) y los pesos de las fortalezas sinápticas biológicas (w_i).

Figura 9 Modelo de neurona artificial en base a neurona natural, abstracción de red neuronal



Fuente: (Toshinori, 2008)

La neurona realiza una sumatoria de todos los productos para $i = 1$ hasta m , a esta suma se le denomina ponderada. Esta operación matemática se realiza a partir de dos vectores $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]$ y $w = [w_1, w_2, \dots, w_m]$, sobre estos se aplica el producto escalar resultando $net = x_1 * w_1 + x_2 * w_2 + \dots + x_m * w_m$, por último, la neurona calcula el valor de salida como función del arreglo resultante es decir $y = f(net)$, a esta expresión se le denomina función de activación o transferencia (Toshinori, 2008).

2.8.1 Inteligencia artificial (AI)

La AI se centra en el análisis y automatización del comportamiento inteligente, la AI contempla dominios como: el mundo, el ser humano, el reino animal y vegetal. Con base en lo anterior surgen varias definiciones para la AI que son totalmente válidas y dependen del enfoque de estudio, entre las cuales se tiene: la capacidad de aprender o beneficiarse de la experiencia, la capacidad de adaptarse de forma adecuada a las situaciones nuevas de la vida, la inteligencia de una persona es proporcional al aprendizaje obtenido a lo largo de sus experiencias, sin embargo, la persona puede adaptarse a su entorno y la capacidad de un organismo para resolver problemas nuevos.

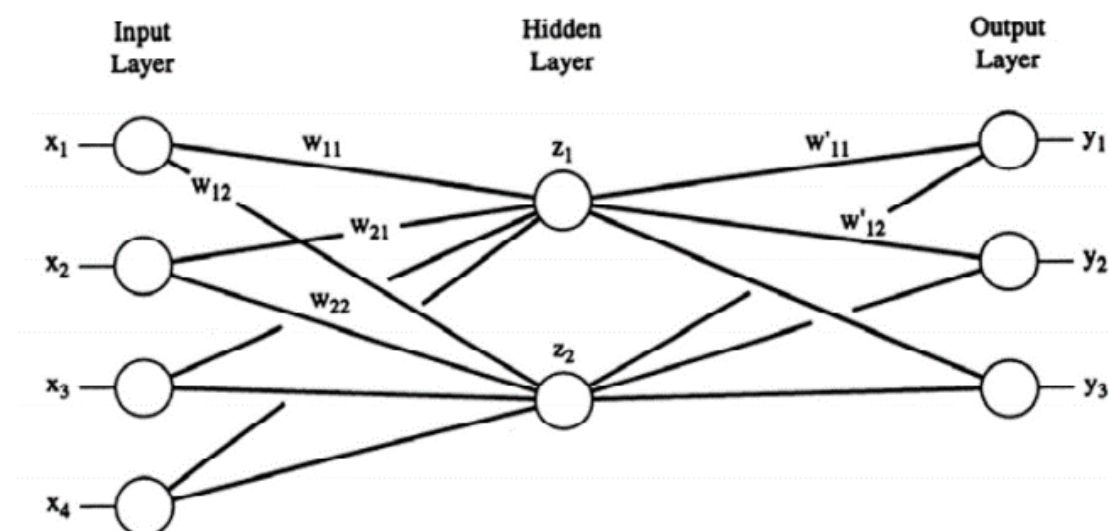
La AI tiene como finalidad emular inteligencia humana o cognición sin considerar ninguna característica humana, por ejemplo, los sentimientos y las sensaciones básicas de un ser humano. Lo anterior contribuye de forma significativa a la creación de artefactos útiles que

satisfacen algunas necesidades del ser humano, sin ningún criterio o noción abstracta de inteligencia (Chowdhary, 2020).

2.8.2 Arquitectura

La forma de conexión entre neuronas se conoce como arquitectura de la red, en una red neuronal existen varias capas de neuronas las capas de, entrada, ocultas y salidas. Un ejemplo de arquitectura por capas es el modelo de retro propagación (Figura 10), este consta de tres niveles de capas, cuatro neuronas de entrada, dos ocultas y tres de salida.

Figura 10 Modelo backpropagation



Fuente: (Calin, 2020)

De manera general la arquitectura de la red neuronal puede contener una capa de entrada, una de salida y un número aleatorio de capas ocultas, no obstante, existe algunas arquitecturas que son empleadas de forma común, por ejemplo, el modelo de una capa oculta y sin capa oculta, no obstante, los modelos con dos o más capas ocultas son poco comunes (Calin, 2020).

2.8.3 Topología de red neuronal

La topología de una red neuronal es un factor importante para su aprendizaje y funcionamiento, debido a que se refiere a la forma en que las neuronas se conectan. Un ejemplo de una topología común de aprendizaje no supervisado son los mapas auto organizados, estos

realizan un mapeo directo de entradas a un arreglo de categorías o unidades, del mismo modo, existen las redes feedforward, estas contienen tres capas conectadas entre sí en donde todos los valores de entrada a la red se conectan a las capas ocultas, mientras que la salida de las neuronas ocultas se conecta a las neuronas de la capa de salida.

Estas redes son populares a causa de que teóricamente son aproximadores de funciones universales, por ejemplo, linealidad sigmoidea y gaussiana, no obstante, en la práctica las redes neuronales que poseen un mayor número de capas se entrenan con modelos de correlación y Deep Belief Network, debido a que el proceso de entrenamiento se vuelve más sencillo con estos modelos (Miikkulainen, 2017).

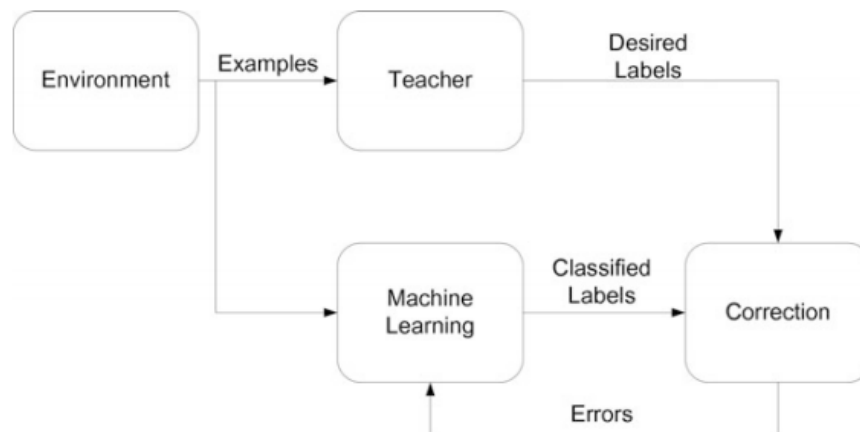
2.8.4 Tipos de aprendizaje

En una red neuronal el aprendizaje se refiere al proceso de exponer una serie de patrones que van a ser aprendidos por la red, para esto se cambia los pesos asociados a las conexiones sinápticas y se aplican reglas de aprendizaje, dentro de estas existen cuatro tipos de aprendizaje: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado, aprendizaje semi supervisado y el aprendizaje reforzado los cuales se describen a continuación.

2.8.4.1 Aprendizaje supervisado

En el aprendizaje supervisado (Figura 11) se dispone de dos bloques iniciales con distinto valor, la primera es la salida de destino que se asigna inicialmente a cada elemento de entrenamiento (Teacher) y la segunda es la salida calculada que se obtiene en base al algoritmo de aprendizaje (Machine Learning). El objetivo principal de este tipo de aprendizaje es minimizar la diferencia entre el resultado objetivo y el resultado calculado. Algunos ejemplos de algoritmos de aprendizaje supervisado son: Naive Bayes, árboles de decisión y KNN (K Nearest Neighbor), estos se usan ampliamente en áreas de regresión y clasificación.

Figura 11 *Secuencia lógica de aprendizaje supervisado*

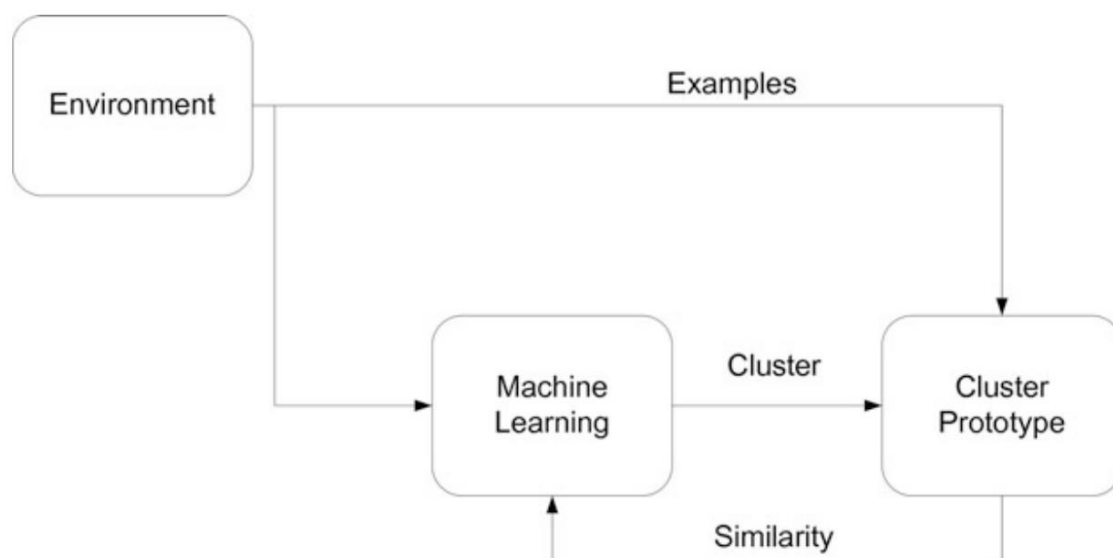


Fuente: (Miikkulainen, 2017)

2.8.4.2 Aprendizaje no supervisado

El aprendizaje no supervisado (Figura 12) dispone de un bloque de entrada (Environment) en donde se ingresan los datos iniciales para crear los ejemplos de formación, estos no se etiquetan y los prototipos de agrupación se inicializan al azar. Además, el proceso de optimización de los prototipos de clúster se realiza según las similitudes entre los ejemplos de formación. Por último, este tipo de algoritmos son ampliamente empleados en la agrupación de conjuntos de datos (Jo, 2021).

Figura 12 *Secuencia lógica de aprendizaje no supervisado*

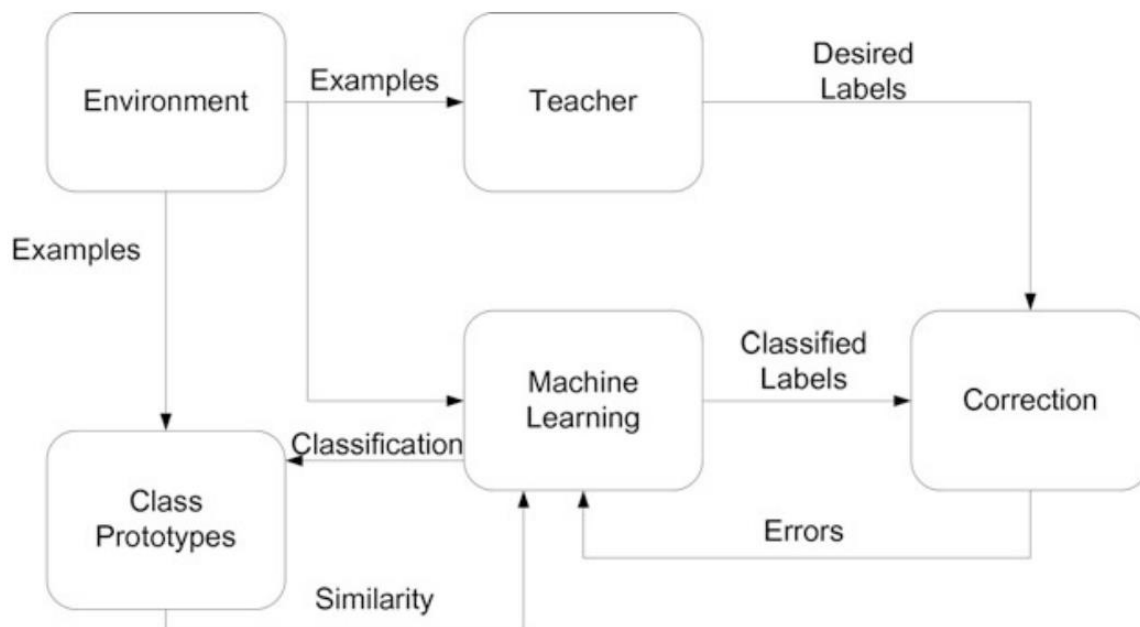


Fuente: (Jo, 2021)

2.8.4.3 Aprendizaje semi supervisado

El aprendizaje semi-supervisado (Figura 13) es una mezcla entre el aprendizaje supervisado y no supervisado, este aprendizaje emplea ejemplos no etiquetados que son muy fáciles de obtener, así como los ejemplos etiquetados para entrenar los algoritmos de aprendizaje. El aprendizaje automático (Machine Learning) aprende los ejemplos etiquetados minimizando el error entre su etiqueta de destino, la calculada y los ejemplos no etiquetados. Al agregar los ejemplos sin etiquetar el aprendizaje semi supervisado se aplica a las tareas de clasificación y las tareas de regresión (Jo, 2021).

Figura 13 Secuencia lógica de aprendizaje semi supervisado

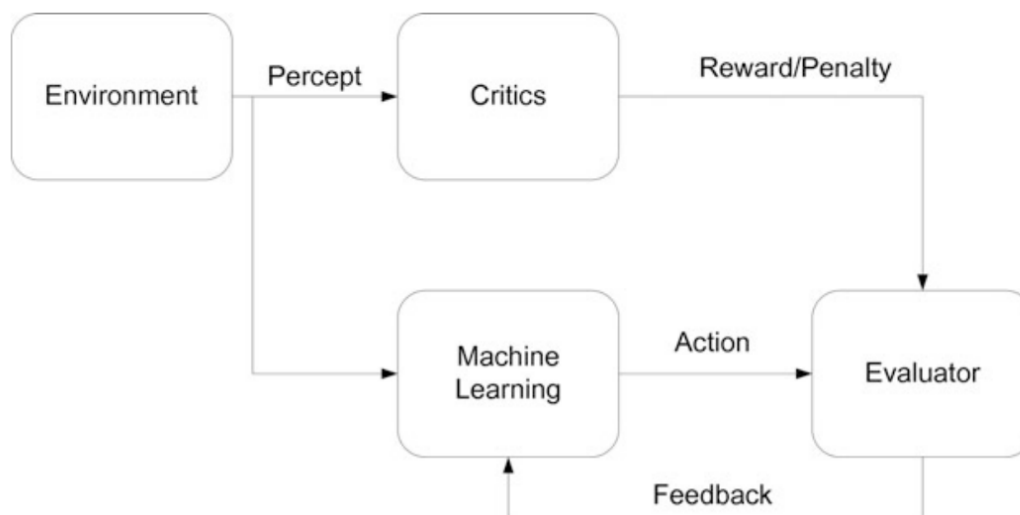


Fuente: (Jo, 2021)

2.8.4.4 Aprendizaje reforzado

En el aprendizaje reforzado (Figura 14) los parámetros se actualizan para minimizar la penalización y maximizar el beneficio, para lo cual, la entrada se recibe del entorno externo y la salida se genera como la acción. Por otro lado, la recompensa y penalización se obtienen desde un entorno crítico mientras se actualizan los parámetros para obtener la recompensa y evitar la penalización (Jo, 2021).

Figura 14 *Secuencia lógica de aprendizaje reforzado*



Fuente: (Jo, 2021)

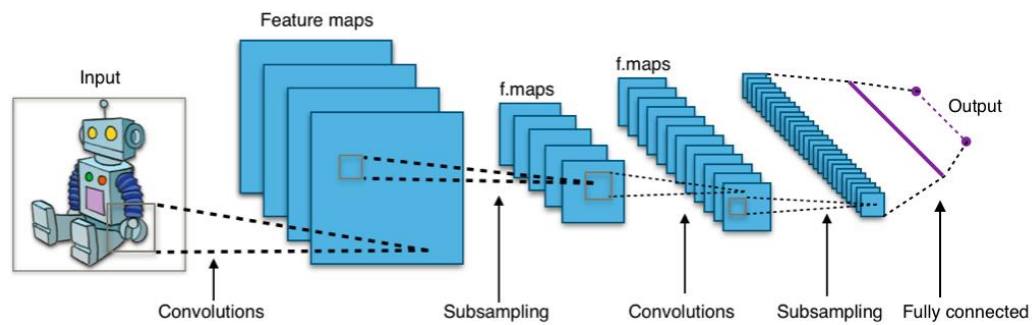
2.8.5 Redes neuronales Convolucionales

Las redes neuronales convolucionales (CNNs por sus siglas en inglés), son usadas para el reconocimiento de imágenes por medio de un modelo el cual corresponde a campos receptivos que operan de la misma forma o similar a una neurona natural. (Quintero, Merchán, Cornejo, & Galán, 2018). Cada neurona tiene un peso donde esta recibe varias entradas, luego se realiza un producto escalar y finalmente se ejecuta una función de activación. Una de las ventajas es que nos permite ganar eficiencia y reducir la cantidad de parámetros en nuestra red, ya que las entradas son imágenes y por este motivo nos permite codificar algunas propiedades en la arquitectura.

La estructura de las redes neuronales convolucionales tiene 3 diferentes tipos de capas.

- 1.- Capa Convolutiva (Posee el nombre de nuestra red)
- 2.- Capa de Reducción o de Pooling (clasifica de acuerdo con los parámetros con características más comunes)
- 3.- Capa Clasificadora (Genera el resultado final de la red). (López, 2018)

Figura 15 Estructura de la red neuronal convolucional



Fuente: (López, 2018)

2.8.6 Deep Learning

El aprendizaje profundo o más conocido como Deep learning, se basa a estudios realizados usando un conjunto de datos que son de entrenamiento para hacer predicciones, tomar decisiones inteligentes o a su vez reconocer patrones específicos. Las técnicas de aprendizaje tradicionales como las DNN tienen mayor precisión, ya que son escalables es decir se pueden aumentar el tamaño de la red o el conjunto de los datos de entrenamiento. (N. I. Hasan & Bhattacharjee, 2019)

2.8.7 Redes neuronales en el área de la medicina

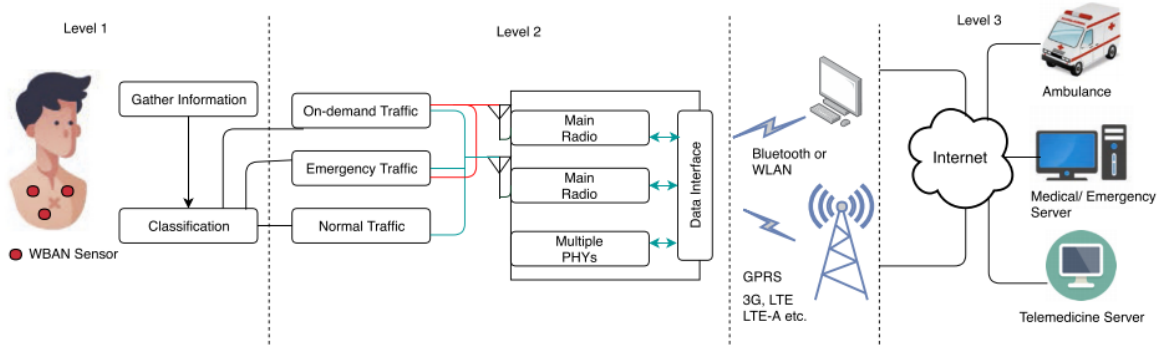
En los últimos tiempos, la frecuencia de uso de las redes neuronales para resolver problemas complejos ha aumentado, en consecuencia, existen numerosas investigaciones que destacan la aplicación de las ANN en el campo de la medicina. Las investigaciones exploran el proceso de descubrimiento de fármacos complejos para varios fines, estos incluyen patrones de reconocimiento, clasificación, predicción, análisis de datos, pronóstico y diagnóstico médico, control del sistema de administración de fármacos, diseño de fármacos, además, de estudios de estructura-actividad. Por último, existen muchos estudios que describen los beneficios para la salud con el uso de ANN en funciones clínicas de diagnóstico, pronóstico, análisis de supervivencia, cuidados intensivos y medicina cardiovascular (Patel & Goyal, 2008).

2.8.8 Red corporal inalámbrica (WBAN)

WBAN es una colección de múltiples sensores conectados en el cuerpo, que se utilizan para recibir diferentes parámetros físicos como: el nivel de azúcar en sangre, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, la medición respiratoria, la frecuencia del pulso, e incluso la cantidad de calorías quemadas después del ejercicio. WBAN no solo utiliza aplicaciones médicas, sino también emplea aplicaciones multimedia y de juegos.

La conexión de los sensores puede adoptar diferentes topologías como: estrella, malla o árbol, no obstante, esto depende del tipo de aplicación. Una de las topologías que más se emplea es la topología estrella, en esta todos los sensores se conectan a un concentrador central. Por otro lado, la arquitectura para WBAN consta de tres niveles (Figura 16). En el primer nivel, algunos sensores corporales se disponen sobre el cuerpo humano para eventualmente recopilar datos en un agregador, en este se realiza la clasificación del tráfico. En el segundo nivel, un coordinador de red se encarga de la comunicación con la estación base. Por último, en el tercer nivel la estación base almacena los datos fisiológicos de los pacientes, con el objeto analizarlos y proporcionar un diagnóstico y las recomendaciones correspondientes, esta información llega al paciente mediante proveedores de salud (K. Hasan, Biswas, Ahmed, Nafi, & Islam, 2019).

Figura 16 Arquitectura WBAN



Fuente: (K. Hasan et al., 2019)

2.9 Sistemas Embebidos

Los sistemas embebidos son todos los dispositivos o equipos electrónicos que generan procesamientos de datos o información, los mismos que son diseñados para cumplir una función determinada, resolviendo problemas y tomando decisiones de acuerdo a las condiciones que existe en una entrada. Con el pasar de los años los sistemas embebidos han evolucionado rápidamente en el mercado global con sistemas IoT inteligentes y dispositivos interconectados entre si (Tosini, Leiva, Vázquez, Goñi, & TOLOZA, 2021).

2.9.1 Raspberry Pi 4

Entre los sistemas embebidos mas utilizados tenemos el Raspberry PI, ya que es mas robusta y de facil adquisicion . Ademas que han sido implementados en decenas de miles de aplicaciones en el campo de las industrias de todo el mundo, debido a que posee soluciones informaticas que se adaptan a una amplia gama de aplicaciones, como microcontroladores hasta computadoras basadas en ARM. Su bajo costo, alto rendimiento y bajo consumo enetico lo conviene en un sistema embebido embebido extremadamente eficiente, en la Figura 17 se muestra el microcontrolador Raspberry Pi 4 Model B 8GB con sus diferentes entradas y puertos (“Raspberry Pi para la industria – Raspberry Pi,” 2021).

Figura 17 Microcontrolador Raspberry Pi 4 Model B 8GB

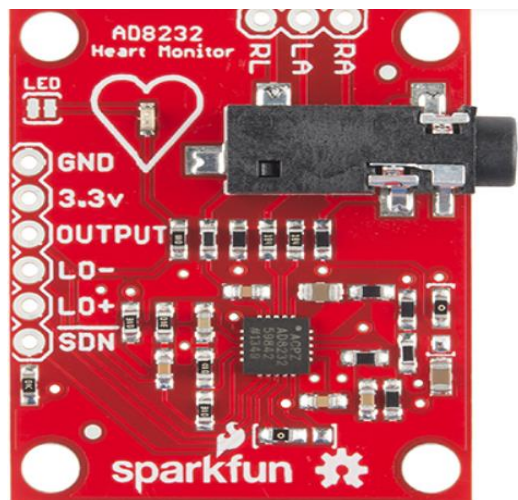


Fuente: (Pi, 2020)

2.9.2 Módulo AD8232 ECG

Este módulo es un sensor de bajo costo que es usado para medir la actividad eléctrica del corazón. Esta actividad puede ser analizada en su salida como un electrocardiograma (ECG) o como una lectura analógica. Debido a que en el medio existe mucho ruido, este módulo es capaz de actuar como un amplificador operacional para poder tener la señal óptima de los intervalos PR y QT como se mostró en el apartado 2.7. Proporciona varias conexiones desde el circuito y varias salidas para operar el monitor con una tarjeta de desarrollo (Figura 18). (“Módulo AD8232 ECG Sensor Pulso Cardíaco - AV Electronics,” 2022)

Figura 18 Sensor ECG AD8232



Fuente: (“Tarjeta de Captura de Ritmo Cardíaco AD8232 | SANDORBOTICS,” 2019)

2.9.3 Módulo ADS1115

Es uno de los módulos que posee una resolución de 16 bits con una frecuencia de 860 muestras por segundo, cuenta con un multiplexor de entrada, para que pueda operar en modo single-ended (Wahyudi, Karyanto, Si, Antosia, & Si, 2016). Este dispositivo es un I2C esto quiere decir que tiene un puerto y protocolo de comunicación serial, es de bajo consumo energético y de alta precisión. Es un convertidor compatible de analógico a digital y se usa como un medidor de voltaje (Cáceres, 2021). Puede leer 4 señales o 2 diferenciales, con una salida directa al pin alrt (Figura 19).

Figura 19 Módulo ADS1115

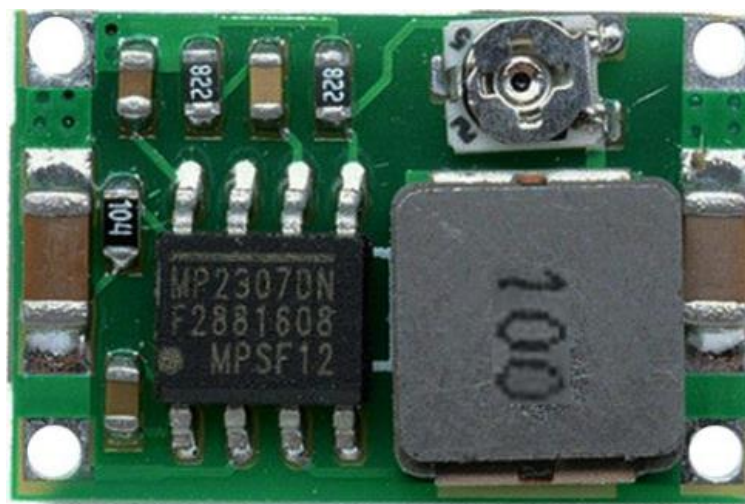


Fuente: (“Modulo ADC ADS1115,” 2021)

2.9.4 Módulo MP2307

Este módulo opera como un regulador reductor síncrono monolítico, debido a que posee un mosfet de 100Ω Ohmios (Figura 20), es capaz de proporcionar 3A (Amperios) de corriente de carga continua en un voltaje de entrada entre 4.75 a 23 V (Voltios). (“MP2307 | 3A, 23V, 340KHz Synchronous Rectified Step-Down Converter | MPS,” n.d.)

Figura 20 Módulo MP2307



Fuente: (“Mini 360 MP2307 Convertidor DC Step Down 3A - UNIT Electronics,” n.d.)

CAPITULO 3

En este capítulo se presenta una descripción general del sistema y la metodología que se emplea (Modelo en V) para su diseño. Asimismo, se analizan los requerimientos del sistema para la selección de los componentes de hardware y software, así como, el diseño de los dispositivos de medición, base de datos, aplicativo móvil y técnica de Deep Learning para la clasificación de arritmias cardíacas.

3.1. Descripción General Del Sistema

En esta sección se describen los aspectos importantes, que se consideran a lo largo de las tareas (Pruebas de unidad, pruebas de integración, integración del sistema y validación), además, se describe el alcance y las limitaciones que se consideran para cumplir con las expectativas del proyecto.

3.1.1. Alcance Del Sistema

El sistema de detección y clasificación de arritmias consta de 4 partes esenciales, sistema de adquisición de datos, sistema de almacenamiento, sistema de clasificación y sistema de visualización. El sistema de adquisición de datos consta de un sensor de frecuencia cardíaca, el cual se conecta a una placa de desarrollo que será seleccionada mediante una evaluación de cumplimiento de requerimientos de software.

Por otro lado, el sistema de almacenamiento se compone de una base de datos en tiempo real, la cual almacena los datos obtenidos del sensor de frecuencia cardíaca y a la vez son la entrada para el sistema de clasificación, este usa la técnica de Deep Learning junto con criterios médicos como el reconocimiento del ritmo sinusal normal y los tiempos asociados al análisis de los ECG, que deben ser interpretados por un profesional de la salud, de esta forma, se puede realizar la clasificación del tipo de arritmias en base a los datos de entrada con base científica.

La técnica de Deep Learning, que se empleará, se selecciona en base al cumplimiento de requerimientos del sistema, con el fin de escoger la mejor opción que genere los mejores

resultados. De forma paralela, la aplicación móvil consulta los datos resultantes de la clasificación de la técnica anterior y los presenta en un dispositivo móvil.

En contraste, la interfaz de la aplicación móvil debe ser intuitiva, para que, el profesional de la salud, que use la herramienta, pueda acceder a los datos del paciente de forma rápida y fácil. En este contexto, la aplicación móvil permite la consulta de datos históricos de cada paciente, así como, la posibilidad de monitorear el tratamiento en el caso de detectar una patología.

Por último, para la validación del sistema de detección y clasificación de arritmias cardíacas se selecciona un paciente de cada tipo de arritmia considerado para el estudio (frecuencia cardíaca normal, bradicardia y taquicardia). Todo el proceso médico será monitoreado por el doctor Luis Fernando Cruz Cevallos.

3.1.2. Limitaciones Del Sistema

El sistema funciona adecuadamente en un entorno en donde se disponga de conectividad TCP/IP a nivel de capa 3 y 4. Un aspecto muy importante es que la base de datos se encuentra en la nube, por lo que es imperativo disponer de una conexión a internet.

En cuanto al sistema que va a monitorear el ritmo cardíaco, es necesario colocar los nodos del sensor de forma adecuada sobre el cuerpo del paciente, debido a que, de esto depende el éxito de la clasificación de patologías cardíacas.

Por otro lado, el sistema en su conjunto al ser destinado como herramienta para la detección y control médico de arritmias cardíacas, es necesario en todo momento el acompañamiento de un profesional de la salud, pues esta valida e interpreta los resultados que proporciona la herramienta.

3.2. Situación Actual

Las ECV se asocian con trastornos del corazón y vasos sanguíneos que a menudo pueden provocar arritmias cardíacas, accidentes cerebrovasculares, hipertensión e insuficiencia

cardíaca, además, de las enfermedades crónicas no transmisibles (ENT). Por otro lado, las ENT se asocian con un avance lento a largo plazo o incluso de por vida, y suelen ser silenciosas o sintomáticas, esto afecta la calidad de vida de las personas. Existen varios factores que contribuyen al desarrollo de las ECV, por ejemplo, un mal manejo del estilo de vida con una dieta inadecuada, un estilo de vida sedentario, el estrés y el uso de drogas legales e ilícitas son factores determinantes para la progresión de estas patologías. Por consiguiente, la atención adecuada puede reducir significativamente la probabilidad de problemas cardíacos, así como los exámenes de rutina y el seguimiento por parte de un cardiólogo, sin embargo, los costos asociados a la realización de un electrocardiograma de forma periódica en hospitales y clínicas implica un costo muy elevado, esto se vuelve una gran barrera para los pacientes de escasos recursos que sufren de alguna ECV, pues imposibilita el seguimiento adecuado de la patología.

Es por ello, que nace la idea de realizar el diseño de un prototipo para monitorear y diagnosticar arritmias cardíacas, bradicardia, taquicardia y frecuencia cardíaca normal utilizando equipos electrónicos de bajo coste y fácil adquisición para que puedan ser ensamblados siguiendo un esquema de conexión en la red de área corporal, cuyo objetivo es el de brindar un diagnóstico predictivo de acuerdo con el esquema de parametrización del prototipo. De esta forma, se busca compensar los precios excesivos de aparatos médicos de gran envergadura enfocados a la prevención, diagnóstico y cuidado de pacientes con enfermedades relacionadas al mal funcionamiento del sistema cardíaco, se plantea a través del presente proyecto una solución enfocada al procesamiento de señales con DEEP LEARNING obtenidas por elementos electrónicos portátiles, que permita la detección temprana de arritmias cardíacas (como bradicardia, taquicardia y la frecuencia cardíaca normal) y a su vez llevar un registro detallado del paciente para un monitoreo y control de salud futura.

Por lo antes expuesto, es evidente que para el diseño del sistema se necesita información de una gran cantidad de pacientes, debido a que, una técnica de DEEP LEARNING requiere

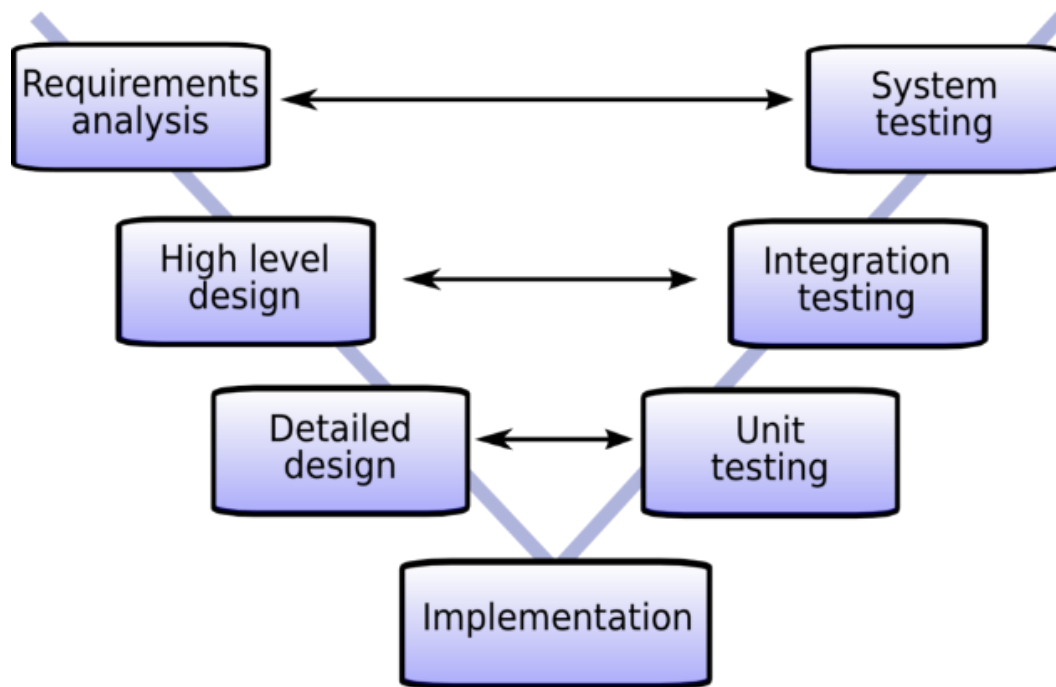
una cantidad considerable de datos de entrada para emplear la clasificación de arritmias, estos datos se recopilaron de una base de datos MIT-BIH que posee un conjunto de más de 4000 registros Holter que fueron obtenidos por el Laboratorio de Arritmias del Hospital Beth Israel, de pacientes que padecen anomalías cardíacas (Apandi, Ikeura, & Hayakawa, 2018). Además de un levantamiento de información aplicando entrevista al profesional de la salud, que monitorea o este tipo de patologías, que son de utilidad para este proyecto. El cual se lo implementara y validara los resultados obtenidos en el consultorio privado Centro Medico Cruz del Dr. Luis Fernando Cruz Cevallos ubicado en la Parroquia el Sagrario, en las calles Juan José Flores 815 y José Joaquín Olmedo en la ciudad de Ibarra, especialista en Medicina General, cuyos estudios los realizo en la Universidad Central del Ecuador de la ciudad de Quito, cuenta con más de 25 años de experiencia brindando y ofreciendo soluciones para la salud en varias especialidades, con tecnología de alta gama como un monitor Holter y varios pulsioxímetros que servirán para validar los resultados del prototipo, en la actualidad cuenta con una gran acogida de pacientes que presentan varios problemas de salud, entre ellos tiene alrededor de 15 pacientes 9 hombres y 6 mujeres, que han sido diagnosticados con enfermedades cardiovasculares y poseen edades entre los 20 a 70 años, actualmente se encuentran en tratamiento y se realizan el monitoreo y diagnostico como se indica en la entrevista realizar al doctor (Anexo 1) este procedimiento se realiza en el consultorio privado del profesional.

3.3. Metodología

Para el desarrollo de la investigación se adopta un Modelo V (Figura 21), que incluye las fases: verificación, codificación y validación. De esta manera, se facilita el desarrollo del proyecto pues se ordena de forma rigurosa las etapas del ciclo del sistema y se lleva a cabo sus objetivos fase por fase para continuar con la siguiente etapa sin retroalimentación, lo cual es perfectamente aplicable a proyectos de pequeña escala. Asimismo, los requisitos tienen que ser

muy claros antes de que comience el proyecto, porque generalmente es costoso volver atrás y hacer cambios.

Figura 21 Fases del modelo en V



Fuente: (Steers & Osland, 2019)

3.4. Introducción al desarrollo del proyecto

En este apartado se detallan los lineamientos que guían el desarrollo del prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de arritmias cardíacas. Los tópicos que se detallan son: propósito, objetivos del sistema y beneficiarios.

3.4.1. Propósito del sistema

El objetivo fundamental es el desarrollo de un prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de arritmias cardíacas mediante técnicas de Deep Learning, para facilitar la detección de arritmias cardíacas como la bradicardia y taquicardia. En este contexto, la investigación se basa en la metodología en V donde se analizará lo siguiente: requisitos necesarios en cada una de las fases, diseño de la estructura interna como el software, algoritmos empleados, implementación donde se programan los requisitos especificados por medio de la

estructura realizada en la fase anterior, verificación de funcionamiento, y mantenimiento para probar que el sistema funcione en el lugar a implementarse.

3.4.2 *Objetivos del sistema*

Para el desarrollo de la investigación se busca y analiza una extensa bibliografía (artículos científicos, revistas y libros) e implementaciones similares de la clasificación de arritmias cardiacas mediante técnicas de Deep Learning. Por lo que es necesario describir los resultados esperados, así como los criterios finales en los que se consolida el prototipo propuesto:

- Realizar un estudio sobre las arritmias cardiacas, sistemas de diagnóstico y monitoreo ECG, mediante fuentes y bases de datos bibliográficas para el desarrollo de la investigación.
- Diseñar el sistema de adquisición de datos, mediante el uso de una placa de desarrollo y un sensor de frecuencia cardiaca para la recopilación de información referente al ritmo cardiaco del paciente.
- Elaborar e implementar el algoritmo de clasificación de arritmias cardiacas mediante el uso de redes neuronales convolucionales para garantizar el correcto entrenamiento y funcionamiento del algoritmo.
- Verificar y validar los resultados obtenidos mediante pruebas con pacientes, para comprobar la efectividad del sistema propuesto.

3.4.3 *Beneficiarios*

Los beneficiarios del sistema se clasifican en beneficiarios directos e indirectos. Los beneficiarios directos son los pacientes de escasos recursos que sufren de alguna ECV, pues imposibilita el seguimiento adecuado de la patología. Por otro lado, los

beneficiarios indirectos son los profesionales de la salud que pueden emplear el sistema en sus consultas. A continuación, se detallan las características de cada tipo de usuario del prototipo:

- Los usuarios directos son una parte importante del proyecto, debido a que, estos se someten al monitoreo cardiaco mediante el prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas mediante técnicas de Deep Learning. Además, los pacientes pueden ser potenciales o detectados con una patología previa, en el primer caso, en sistema sirve para la detección y clasificación, mientras que, en el segundo caso para el monitoreo.
- Los usuarios indirectos del prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas mediante técnicas de Deep Learning son toda la comunidad cercana al área médica de cardiología, debido a que son los que detectan y tratan patologías relacionadas con el corazón.

3.5. Requerimientos Del Sistema

Para determinar los requerimientos necesarios del sistema se considera como referencia el estándar ISO/IEC / IEEE 29148: 2011 (ISO/IEC/IEEE, 2011), el cual posee directrices que ayudan a describir todo lo relacionado a la ingeniería de requisitos. El estándar es aplicable en productos de software y servicios que impliquen un largo ciclo de vida, puesto que permiten definir las funciones que se requiere en el proyecto, así como, las posibles restricciones y la especificación de requisitos y funciones del sistema.

Considerando los criterios que recomienda el estándar se procede a desarrollar una tabla que contiene los requerimientos iniciales más relevantes del sistema como: requerimientos de arquitectura y requerimientos de usuarios directos e indirectos. El objetivo principal es presentar de forma clara y concisa toda la información necesaria para llevar a cabo una decisión acertada en cuanto a la elección de software, hardware y aspectos físicos que se involucran en

el sistema. A continuación, en la Tabla 1 se muestra la representación de los acrónimos que se utilizarán para referirse de forma rápida a cada requerimiento.

Tabla 1 Representación de Acrónimos

Acrónimo	Descripción
SySR	Requerimientos iniciales del sistema
SRSR	Requerimientos de Arquitectura
StSR	Requerimientos de Stakeholders(usuarios)

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, es necesario determinar el grado de prioridad del requerimiento, por lo que, en la Tabla 2 se describe la prioridad de requerimientos con su respectiva descripción. Esto servirá más adelante para la selección de hardware y software.

Tabla 2 Prioridades de requerimientos

Prioridad	Descripción
Alta	Se refiere a un requerimiento de alta importancia o crítico que debe ser incluido en el desarrollo del sistema. Si no se implementa afecta la funcionalidad del sistema.
Media	Se refiere a un requerimiento de importancia media, si no se lo incluye puede afectar a la decisión final del sistema. Sin embargo, se lo puede omitir en algunos casos.
Baja	Se refiere a un requerimiento de importancia mínima, es decir que se lo puede omitir ya que representa un impacto insignificante en la decisión final del sistema.

Fuente: Elaboración propia

3.5.1. Requerimientos iniciales del sistema

En los SySR se delimitan las funcionalidades correspondientes al comportamiento del sistema, así como las propiedades del proyecto. Es decir, constituye la descripción del rendimiento, estados, modos, interfaces y requerimientos físicos del sistema. En la Tabla 3 se presentan los SySR.

Tabla 3 Requerimientos iniciales del sistema.

SYSR					
Requerimientos iniciales del sistema					
#	Requerimientos	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos de Interfaz					

SySR1	El sistema deberá enviar datos desde el sensor de frecuencia cardiaca al sistema de clasificación de arritmias	X
SySR2	El sistema debe interactuar con la tarjeta de desarrollo	X
SySR3	El sistema requiere conexión a la red eléctrica	X
SySR4	El sistema debe intercambiar información en tiempo real	X
Requerimiento de performance		
SySR5	Detección de ritmo cardiaco	X
SySR6	Clasificación oportuna de arritmias cardiacas	X
SySR7	Visualización en tiempo real los resultados de la clasificación	X
Requerimientos de Modos y Estados		
SySR8	El sistema debe permanecer activo conectado a una red para el envío de información desde el sensor	X
Requerimientos Físicos		
SySR9	El sistema debe ser compacto y portable.	X
SySR10	La aplicación móvil debe ser amigable y accesible a pocas interacciones para visualizar los resultados de la clasificación de arritmias	X

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Requerimientos de arquitectura

En los SRSR se describen los requerimientos de hardware, sistema eléctrico y software. En la Tabla 4 se describen los criterios que corresponden a los requerimientos de arquitectura, los cuales permitirán realizar una elección acertada de los componentes de hardware y software.

Tabla 4 Requerimientos de Arquitectura.

SRSR					
Requerimientos de arquitectura					
#	Requerimientos de diseño	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos de diseño					
SRSR1	El sistema de registro de ritmo cardiaco debe estar en una caja para proteger los componentes electrónicos.		X		
SRSR2	El sensor de frecuencia cardiaca será móvil para facilitar la conexión al cuerpo del paciente	X			
SRSR3	La manipulación del sistema de registro cardiaco debe ser rápida y fácil	X			
SRSR4	La placa de desarrollo debe estar en una caja o case para proteccion y correcto funcionamiento	X			
SRSR5	El conversor ADC debe poseer una resolución de 16 bits	X			

Requerimientos de Hardware		
SRSH6	Tarjeta de desarrollo con entradas y salidas análogas y/o digitales para el manejo de sensores y con procesamiento robusto para ejecutar la técnica de DEEP LEARNING	X
SRSH7	Dispositivo debe permitir la conexión del sensor de frecuencia cardiaca	X
SRSH8	El dispositivo debe tener un voltaje de funcionamiento de 3.3V - 5V	X
SRSH9	Smartphone de bajo costo con sistema operativo Android	X
Requerimientos de Software		
SRSH10	Se requiere un sistema operativo y lenguaje de programación de código abierto	X
SRSH11	Se requiere una plataforma de programación que sea de código abierto	X
SRSH12	Se requiere plataforma de programación de aplicaciones móvil que sea de código abierto	X
SRSH13	Se requiere una base de datos SQL que permita tener un buen rendimiento del sistema a un bajo costo de forma básica en un ambiente no empresarial.	X
Requerimientos eléctricos		
SRSH14	El sistema debe conectarse a una red eléctrica	X
SRSH15	Se debe disponer de una conexión de GND y VCC para los sensores	X

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. *Requerimientos Stakeholders*

Los StSR corresponden a los requerimientos de todo grupo o individuo que tenga interés directo o indirecto en los resultados que se obtienen en el desarrollo del proyecto. Es así como, los StSR tienen como objetivo identificar las necesidades de las partes interesadas en el sistema, en específico, se analizan los requerimientos a nivel de usuarios y operacionales que implican la interacción directa de los usuarios involucrado con el sistema. En la Tabla 5 se presenta la lista de usuarios involucrado en el sistema, y en la Tabla 6 se describen los StSR del sistema.

Tabla 5 *Lista de Stakeholders*

Lista de Stakeholders	
1	Dr. Fernando Cevallos.
2	Pacientes consultorio clínico.
3	MsC. Jaime Michilena-Director del presente trabajo de titulación. MsC. Carlos Vásquez-Asesor del presente trabajo de titulación. MsC. Pamela Godoy-Asesor del presente trabajo de titulación.
4	Sr. Alvaro Enriquez-Desarrollador del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 *Requerimientos de Stakeholders*

SYSR				
Requerimientos de Stakeholders				
#	Requerimientos de uso	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos operacionales				
StSR1	El sistema debe ser simple e intuitivo	X		
StSR2	Adquisición de datos de arritmias cardiacas para intercambio de información y clasificación de patologías	X		
StSR3	Para mejorar el seguimiento de las patologías se debe almacenar los resultados, además, estos deben visualizarse de manera fácil y comprensiva.	X		
StSR4	El sistema debe tener acceso a internet y el sensor de frecuencia cardiaca debe alimentarse mediante baterías.	X		
Requerimiento de performance				
StSR5	Los usuarios pueden manipular las opciones del sistema	X		
StSR6	Los usuarios pueden revisar los reportes de patologías detectadas	X		

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Recursos

Corresponde a los elementos necesario y de importancia para el sistema de monitoreo y diagnostico remoto de arritmias cardiacas en base al análisis descrito anteriormente. A continuación, se describen los recursos humanos, económicos y tecnológicos para la presente investigación.

Los recursos humanos se refieren a todo el personal que se relaciona de forma directa con la investigación, es decir, los desarrolladores y supervisores que contribuyen al desarrollo del proyecto a lo largo de todas sus etapas. A continuación, en la Tabla 7 se presentan los recursos humanos de este proyecto.

Tabla 7 *Recursos humanos*

Recursos Humanos
MsC. Jaime Michilena-Tutor
Sr. Alvaro Enriquez-Desarrollador

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los recursos económicos se refieren a la inversión necesaria para la adquisición de todos los elementos de hardware que se requieren para la ejecución de cada una de las etapas del proyecto, entre los que se identifican: placa de desarrollo, sensor de ritmo cardiaco, celdas de energía, conductores y protección de la placa de desarrollo, como se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8 Recursos económicos

Recursos Económicos				
Descripción	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)	Función
Placa de desarrollo	1	9	9	Ejecutar la codificación para la clasificación de arritmias
Sensor ritmo cardiaco	1	19	19	Cuantificar el ritmo cardiaco
Celda de energía	1	30	30	Almacenar y proporcionar energía
Conductores	1	10	10	Interconectar dispositivos electrónicos
Case protector	1	15	30	Proteger a la placa de desarrollo
Total			98	

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los recursos tecnológicos se refieren a la inversión necesaria para la adquisición de todo software que sea necesario para el desarrollo del proyecto en cada una de sus fases, entre las cuales se identifican, el IDE, base de datos y editor de código, como se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9 Recursos tecnológicos

Recursos Tecnológicos		
Software	Costo	Función
IDE	0	Conjunto de herramientas de programación
Base de datos	0	Almacenar la información recopilada del sensor de frecuencia cardiaca
Editor de código	0	Gestionar código fuente del proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.6. Selección de Hardware y Software

Para seleccionar de forma correcta los componentes de hardware y software se compara las especificaciones técnicas según los requerimientos iniciales del sistema, requerimientos de arquitectura y requerimientos de stakeholders. En este contexto, a cada dispositivo candidato se le asigna una puntuación conforme a la necesidad satisfecha, es decir, si el dispositivo cumple con el requerimiento obtiene una puntuación de uno (1), caso contrario obtiene una puntuación de cero (0).

3.6.1. Hardware

La selección del hardware se realiza en base a los requerimientos de hardware descritos con anterioridad en la Tabla 4. En este sentido, se selecciona los siguientes dispositivos: sensor de frecuencia cardíaca, convertidor análogo digital (CAD), regulador de voltaje, placa de desarrollo y el dispositivo móvil.

3.6.1.1. Sensor de frecuencia cardíaca.

Para la selección del sensor de frecuencia cardíaca se consideraron 2 opciones, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada uno de estos. A continuación, en la Tabla 10, se presenta las especificaciones técnicas de cada sensor.

Tabla 10 Especificaciones de sensores de frecuencia cardíaca

Característica	AD8232	SEN 11574
VCC	2.5 - 5.5VDC	3.0 - 5.5VDC
IMAX	170 uA	< 4mA
VOUT	-0.3V - 0.3V	-0.3V - 0.3V
Dimensiones	3.5 cm x 3 cm	15.8 mm x 20 cm
Costo	24.99 \$	6 \$

Fuente: (Krishnan, 2021)

En la Tabla 11 se presenta la valoración de cada requerimiento para la selección del sensor.

Tabla 11 Puntuación de sensores de frecuencia cardiaca

	SRSH2	SRSH3	SRSH8	Puntuación total
AD8232	1	1	1	3
SEN 11574	1	0	1	2

Fuente: Elaboración propia

Por la valoración obtenida en la Tabla 11, el sensor de frecuencia cardiaca AD8232 (Anexo 2) cumple con todos los requerimientos que demanda el proyecto a diferencia del sensor SEN 11574, debido a que las dimensiones de este último no permiten cumplir con el requerimiento de la manipulación rápida y fácil como se detalla en la Tabla 10.

3.6.1.2. Convertidor análogo digital

Para la selección del convertidor se consideraron 2 opciones, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada uno de estos. A continuación, en la Tabla 12, se presenta las especificaciones técnicas de cada CAD.

Tabla 12 Especificaciones de CAD

	ADS1115	ADS1015
Número de pines	10	10
Número de Bits	16	12
Número de canales	2-4	4
Frecuencia de muestreo	860 SPS	3.3 ksps
Número de ADC	1	1
Voltaje de alimentación	2V	2 V

Número de entradas	2-4	2-4
Tensión máxima de alimentación	5,5V	5,5V
Tamaño de longitud	3 mm	3 mm
Tamaño de altura	1,02 mm	1,02 mm

Fuente: (Utmel, 2021)

En la Tabla 13 se presenta la valoración de cada requerimiento para la selección del CAD.

Tabla 13 Puntuación de CAD

	SRSH5	SRSH8	Puntuación total
ADS1115	1	1	2
ADS1015	0	1	1

Fuente: Elaboración propia

Por la valoración obtenida en la Tabla 13, el CAD ADS1115 (Anexo 3) cumple con todos los requerimientos que demanda el proyecto a diferencia del ADS1015, debido a que el número de bits no cumple con la resolución requerida como se detalla en la Tabla 12.

3.6.1.3. Regulador de voltaje

Para la selección del regulador de voltaje se consideraron 2 opciones, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada uno de estos. A continuación, en la Tabla 14, se presenta las especificaciones técnicas de cada regulador de voltaje.

Tabla 14 Especificaciones de reguladores de voltaje

	BA00AST	MP2307
Voltaje de salida	5V	0.925V – 20V

Corriente de salida	1A	3A
Máximo voltaje de entrada	25 V	4.75V – 23V

Fuente: (Apogeeweb, 2021)

En la Tabla 15 se presenta la valoración de cada requerimiento para la selección de la mejor alternativa.

Tabla 15 Puntuación reguladores de voltaje

	SRS8	SRS15	Puntuación total
BA00AST	0	1	1
AMS1117	1	1	2

Fuente: Elaboración propia

Por la valoración obtenida en la Tabla 15, el regulador de voltaje AMS1117 (Anexo 4) cumple con todos los requerimientos que demanda el proyecto a diferencia del BA00AST, debido a que, este posee un voltaje constante como se detalla en la Tabla 12.

3.6.1.4 Placa de desarrollo

Para la selección de la placa de desarrollo se consideraron 2 opciones, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada uno de estas. A continuación, en la Tabla 16, se presenta las especificaciones técnicas de cada placa de desarrollo.

Tabla 16 Especificaciones de placas de desarrollo

	Raspberry Pi 4	Arduino Uno
RAM	1 - 8 GB	8 - 64 MB
CPU	ARMv8 de cuatro núcleos	STM32H747XI dual Core
Frecuencia	1.5 GHz	16 MHz

GPIO	40	28
Almacenamiento	Micro SD, USB	16 - 128 MB
Red	Gigabit	
	Ethernet	WiFi 802.11 b/g/n
	WiFi b/g/n	Bluetooth 5.1
	5 GHz AC	
Alimentación	5V	5V

Fuente: (Alonso, 2020)

En la Tabla 17 se presenta la valoración de cada requerimiento para la selección de la mejor opción.

Tabla 17 Puntuación de placas de desarrollo

	SRSH6	SRSH7	SRSH8	Puntuación total
Raspberry Pi 4	1	1	1	3
Arduino Uno	0	1	1	2

Fuente: Elaboración propia

Por la valoración obtenida en la Tabla 17, la placa de desarrollo Raspberry Pi 4 (Anexo 5) cumple con todos los requerimientos que demanda el proyecto a diferencia del Arduino uno. La mayor ventaja que ofrece la placa Raspberry Pi 4 es el poder de procesamiento como se describe en la Tabla 16. Además, el poder de procesamiento es una característica importante, debido a que, se hará uso de una técnica de DEEP LEARNING, la cual demanda recursos significativos.

3.6.1.5 Dispositivo móvil

Para la selección del dispositivo móvil, donde se visualizará los resultados de la clasificación de las arritmias cardíacas, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada uno de estas. A continuación, en la Tabla 18, se presenta las especificaciones técnicas que debe tener el dispositivo móvil.

Tabla 18 Características técnicas del dispositivo móvil

Características	A01
Procesador	Snapdragon 439 o Hisilicon Kirin 710
RAM	2 GB
Almacenamiento	16 GB
Cámara trasera	13 MP + 2 MP
batería	3000 mAh
Versión de android	10
GPS	GPS Glonass
Wifi	802.1 b/g/n
Dimensiones (alto - ancho- profundidad)	146.2 - 70.9 - 8.3mm

Fuente: (Sacristán, 2019)

3.6.2. Software

Una vez seleccionados el hardware que se empleará en el proyecto, se procede a la selección del software, este se realiza en base a los requerimientos de software descritos con anterioridad en la Tabla 4. En este sentido, se selecciona el lenguaje de programación para el desarrollo de la técnica de DEEP LEARNING.

3.6.2.1 Lenguaje de programación

Para la selección lenguaje de programación, que servirá para el desarrollo de la técnica de DEEP LEARNING para la clasificación de arritmias, se consideraron 2 opciones, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada una de estas. A continuación, en la Tabla 19, se presenta las especificaciones técnicas de los lenguajes de programación candidatos.

Tabla 19 Características técnicas de lenguajes de programación

	Python	Matlab
Definición	Lenguaje de alto nivel y propósito general	Lenguaje de alto rendimiento orientado a matemáticas y matrices
Código abierto	Si	No
Usos	Programación web Sistemas embebidos	Creación de interfaces de usuario Sistemas embebidos
Bibliotecas	Posee una gran biblioteca estándar	La biblioteca estándar de Matlab no incluye funciones de programación genérica
Generación de código integrado	No posee funciones de generación de código	Crea código C/C++
Funcionalidad	Es más legible que el script de Matlab	Ofrece funcionalidades numéricas más completas

Fuente: (Weber, 2019)

En la Tabla 20 se presenta la valoración que obtuvieron estos según el requerimiento de software satisfecho, esto servirá para la selección de la mejor opción.

Tabla 20 Puntuación de lenguajes de programación

	SRSH10	SRSH11	Puntuación total
Python	1	1	2
Matlab	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por la valoración obtenida en la Tabla 21, el lenguaje de programación Python cumple con todos los requerimientos que demanda el proyecto a diferencia Matlab. La principal razón es que Python es de código abierto a diferencia de Matlab que es de pago.

3.6.2.2 Base de datos

Para la selección de la base de datos, que servirá para el almacenamiento de los resultados de la técnica de DEEP LEARNING para la clasificación de arritmias, se consideraron 2 opciones, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada una de estas. A continuación, en la Tabla 21, se presenta las especificaciones técnicas de las bases de datos candidatas.

Tabla 21 Características técnicas de bases de datos

	PostgreSQL	MySQL
Arquitectura	Objeto relacional Multiproceso	Relacional Proceso único
Tipos de datos admitidos	Numérico, fecha/hora, carácter, booleano, enumerado, geométrico, dirección de red, JSON, XML, HSTORE, matrices, rangos, compuesto	Numérico, fecha/hora, carácter, espacial, JSON

Índices admitidos	B-tree, hash, GiST, SP-GiST, GIN y BRIN	Principalmente árbol B; R-tree, hash e índices invertidos para ciertos tipos de datos
Rendimiento	Adecuado para aplicaciones con un alto volumen de lecturas y escrituras	Adecuado para aplicaciones con alto volumen de lecturas
Seguridad	Control de acceso, múltiples opciones de conexión cifrada	Control de acceso, conexiones cifradas
Apoyo	Apoyo de la comunidad. Las empresas que tienen su propia versión de PostgreSQL pueden ofrecer soporte a su alrededor	Soporte de la comunidad, además de contratos de soporte proporcionados por el proveedor

Fuente: (Chen, 2021)

La valoración obtenida en cada una de estas se detalla en la Tabla 22 según el requerimiento de software satisfecho, esto servirá para la selección de la mejor opción.

Tabla 22 Puntuación de bases de datos

	SRSH13	Puntuación total
PostgreSQL	0	0
MySQL	1	1

Fuente: Elaboración propia

Por la valoración obtenida en la Tabla 22, la base de datos MySQL cumple con todos los requerimientos que demanda el proyecto a diferencia PostgreSQL. La principal razón es que MySQL es ideal para proyectos a pequeña escala a diferencia de PostgreSQL que se emplea en entornos empresariales.

3.6.2.3 Aplicación móvil

Para la selección del framework, que servirá para el desarrollo de la aplicación móvil, se consideraron 2 opciones, las cuales se evalúan en base a las características técnicas que presentan cada una de estas. A continuación, en la Tabla 23, se presenta las especificaciones técnicas de los frameworks candidatos.

Tabla 23 Características técnicas de framework

Característica	Sublime Text	WebStorm	Visual Studio
Tipo de licencia	Pagado	Pagado	Código libre
Curva de aprendizaje	Requiere un conocimiento elevado	fácil de usar	Requiere un conocimiento básico, debido a que es muy intuitivo

Fuente: (Bell, 2022)

En la Tabla 24 se presenta la valoración que obtuvieron estos según el requerimiento de software satisfecho, esto servirá para la selección de la mejor opción.

Tabla 24 Puntuación de framework

	SRS12	Puntuación Total
WebStorm	0	0
Visual Studio	1	1
Sublime text	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por la valoración obtenida en la Tabla 24, el framework Visual Studio cumple con todos los requerimientos que demanda el proyecto a diferencia de WebStorm y Sublime text. La principal razón es que Visual Studio es de código abierto, mientras que las demás opciones son de pago.

3.7. Diseño del sistema de clasificación de arritmias cardíacas

En este apartado se describen las directrices del sistema, para lo cual, se considera los criterios identificados en la etapa de análisis del proyecto, donde se definen los requerimientos del sistema. Estos permiten el desarrollo e implementación del prototipo de monitoreo y diagnóstico remoto de arritmias cardíacas, basado en el procesamiento de señales con Deep Learning. Asimismo, se presenta la disposición de funciones del sistema por medio de diagramas de flujos y bloques, los cuales proporcionan una percepción ordenada de los procesos para efectuar la codificación y el posterior análisis de los datos.

3.7.1. Descripción de los bloques del sistema

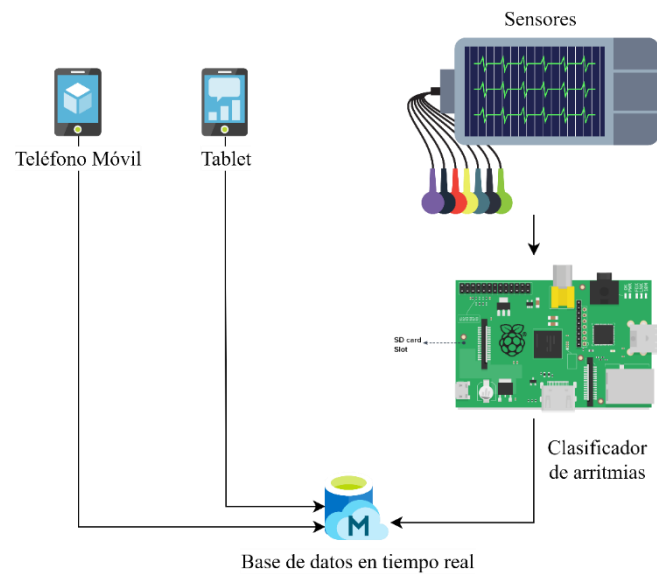
El desarrollo del prototipo para la clasificación de arritmias cardíacas se representa mediante 3 fases, verificación, codificación y validación. En la primera etapa se describe la secuencia de bloques para la adquisición del ritmo cardíaco mediante el sensor ECG. La segunda etapa hace referencia a la codificación de la técnica de Deep Learning, que se encarga de clasificar los datos de ritmo cardíaco obtenidos en la etapa 1. La tercera etapa depende de las dos anteriores, puesto que se desarrollan las pruebas del sistema en su totalidad, para lo cual, con la ayuda del doctor Fernando Cruz Cevallos se realizan mediciones del ritmo cardíaco a varios pacientes del consultorio privado Centro Medico Cruz y se analizan los resultados obtenidos en el dispositivo de visualización móvil. De esta forma, se espera que el sistema propuesto clasifique el tipo de patología que posee cada paciente y, por consecuencia, se compruebe la efectividad del sistema.

3.7.2. Arquitectura general del sistema de clasificación de arritmias cardíacas

En la Figura 22 se presenta la arquitectura de los microservicios correspondientes al diseño del prototipo de monitoreo y diagnóstico remoto de arritmias cardíacas, basado en el procesamiento de señales con Deep Learning. En esta se observa la disposición de cada parte del sistema, lo que contribuye a una mejor comprensión de las tres etapas descritas con

anterioridad. En cada parte del sistema se efectúan operaciones sobre un servidor que posee características específicas, como se describió en los requerimientos de hardware y software.

Figura 22 *Arquitectura del sistema*

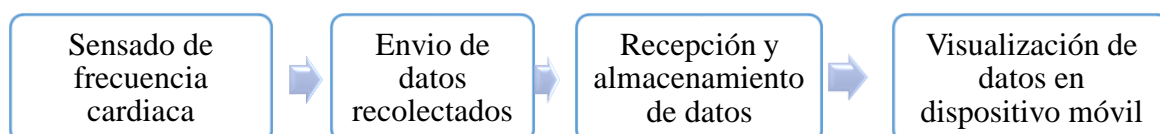


Fuente: (Allahfoto, 2022)

3.7.3. Diagrama de bloques del sistema

Los bloques que componen la primera etapa, correspondiente a la adquisición de datos de frecuencia cardíaca de los pacientes con patologías relacionadas al corazón, se presenta en la Figura 23. La recolección de ondas de frecuencia cardíaca sirve para la clasificación de los diferentes tipos de arritmias, mediante una técnica de Deep Learning. El resultado de la clasificación se almacena en una base de datos en tiempo real, misma que gestiona la visualización de resultados en un dispositivo móvil.

Figura 23 *Diagrama de bloques de prototipo de clasificación de arritmias cardiacas*



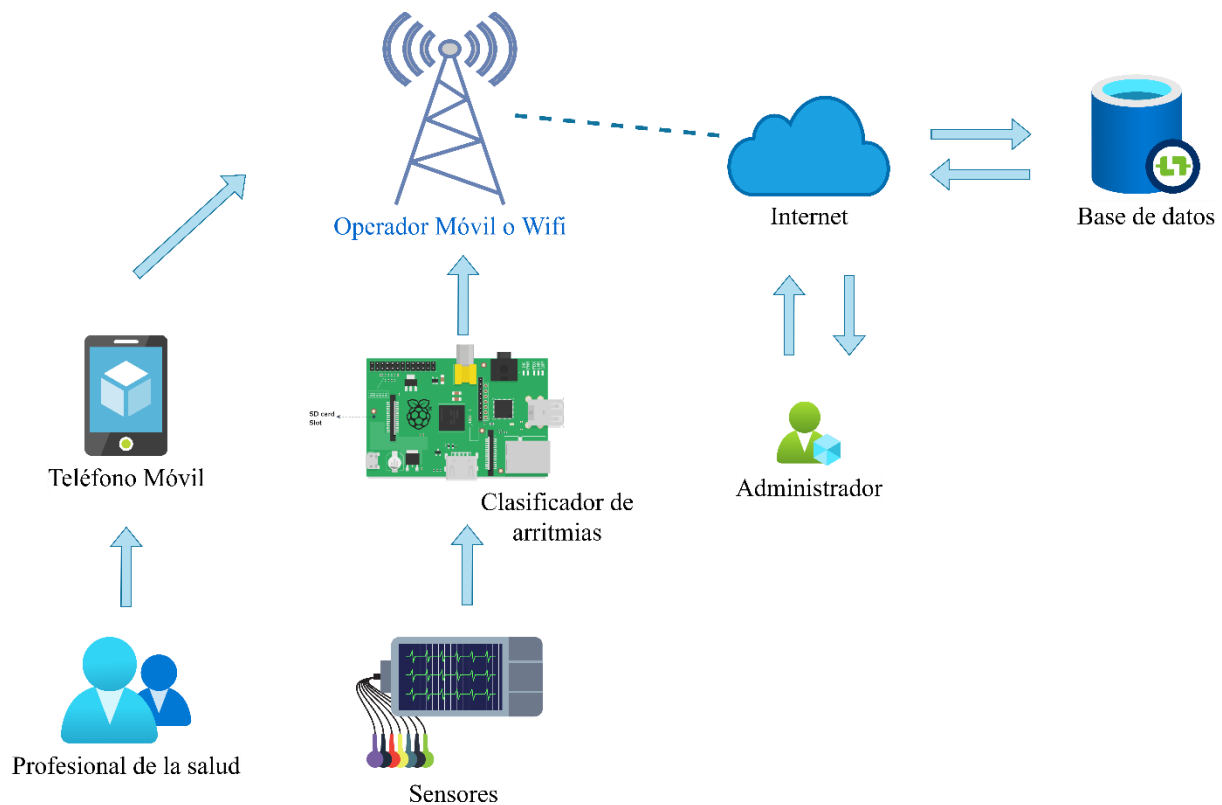
Fuente: Elaboración propia

El proceso inicia con el censado de frecuencia cardiaca, para lo cual, el sensor de pulso cardiaco se coloca en diferentes puntos sobre el cuerpo del paciente, para empezar con el registro de ondas cardiacas. En este sentido, la señal analógica se convierte en formato digital para posteriormente ser enviada al microcontrolador. Además, para que este procedimiento funcione de forma correcta es necesario que el sensor se conecte con la plataforma de IoT, donde se deben instalar las librerías y plugin necesarios.

La placa de desarrollo se encarga del registro de estos datos, asimismo, en esta se encuentra codificada la técnica de Deep Learning, la cual se encarga de realizar la clasificación de arritmias cardiacas. Donde, la clasificación resultante se encapsula para enviarse a la base de datos en tiempo real.

En cuanto a la representación gráfica se refiere, el dispositivo móvil se encarga de presentar los resultados obtenidos en la etapa de clasificación de datos. Esto sirve para la selección de la mejor receta médica, que puede recetarse para la patología detectada. Asimismo, la información recopilada de cada paciente se presenta a manera de historial médico, lo cual, posibilita el seguimiento efectivo del profesional de la salud. El funcionamiento de los bloques descritos se ilustra en la Figura 24.

Figura 24 Funcionamiento de bloques del sistema de clasificación de arritmias



Fuente: (Macrovector, 2022)

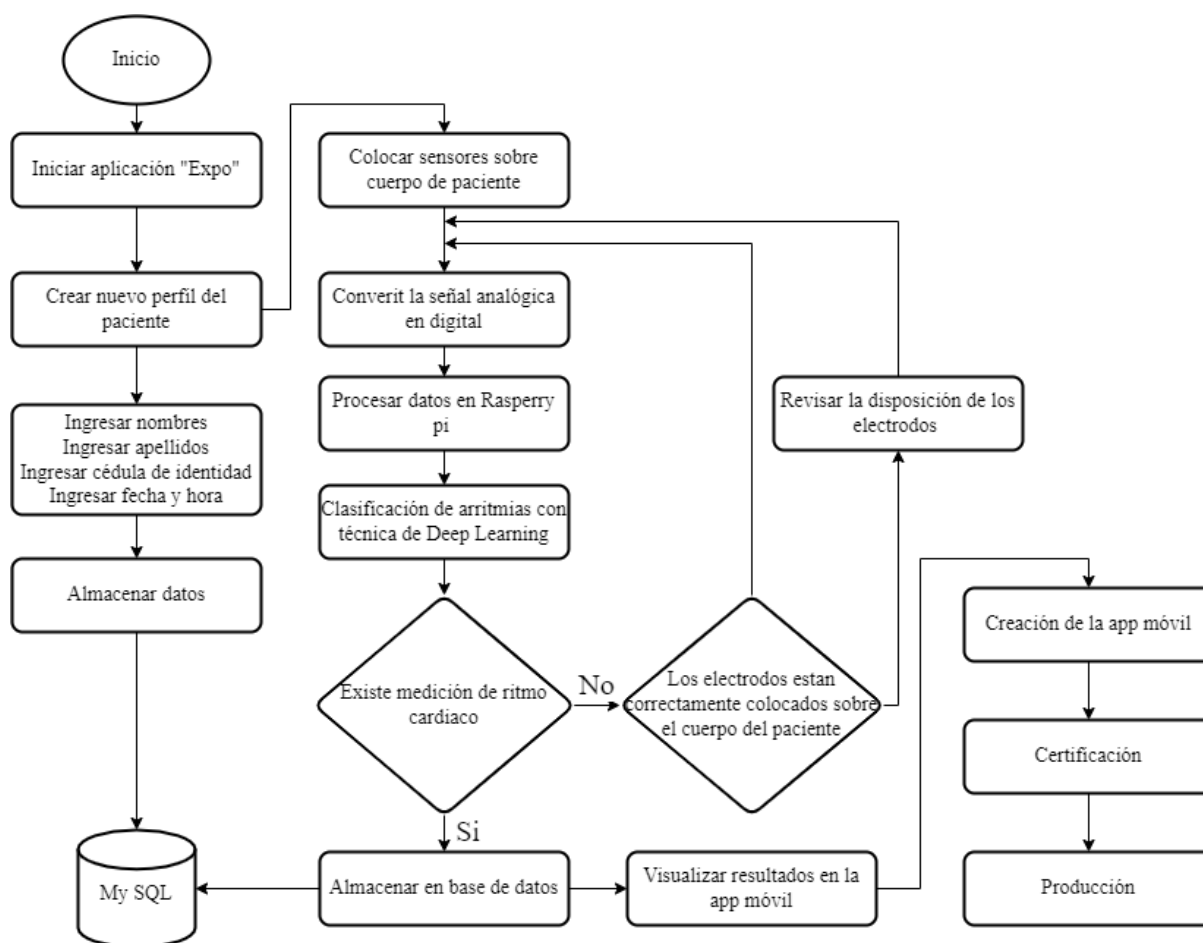
3.7.4. Diagrama de clases y secuencias

En este apartado se presenta los módulos que constituyen el sistema de diagnóstico remoto de arritmias cardiacas basado en el procesamiento de señales con Deep Learning. En este sentido, la codificación del software, para la adquisición del ritmo cardiaco mediante el sensor ECG, se realiza con el IDE Visual Studio Code. Este se encarga de compilar la programación en un lenguaje de alto nivel, que se asemeja a C++. Asimismo, la técnica de Deep Learning se codifica en lenguaje Python, mientras que, la aplicación móvil se desarrolla en Expo Go.

El diseño del sistema inicia con el proceso de adquisición de datos mediante el sensor ECG, posteriormente se procede con el diseño de la técnica de Deep Learning para la clasificación de arritmias cardiacas. Asimismo, se continúa con el diseño de la aplicación

móvil, que se instala en el dispositivo móvil de cada doctor, para visualizar los datos obtenidos de la etapa de clasificación. Por último, se ejecuta las pruebas que avalan la certificación, la cual es necesaria para ensamblar el prototipo. En la Figura 25 se presenta el diagrama de flujo del sistema para el diagnóstico remoto de arritmias cardiacas basado en el procesamiento de señales con Deep Learning.

Figura 25 Diagrama de flujo del sistema



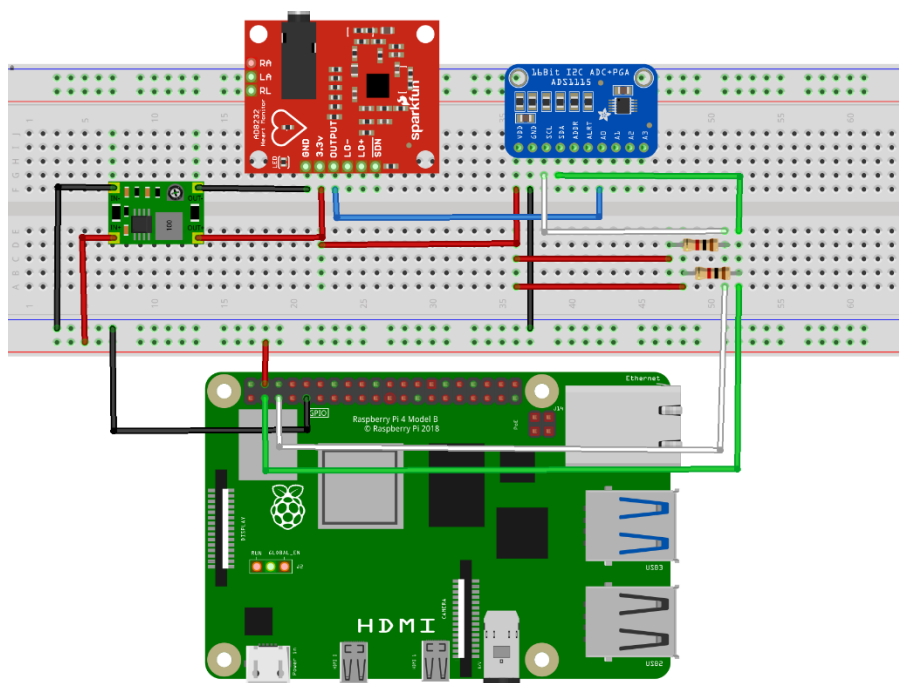
Fuente: Elaboración propia

3.7.5. Diagrama para la medición del ritmo cardíaco

El sensor ECG se encarga de detectar estímulos cardiacos, es decir transforma el ritmo cardíaco en una señal eléctrica proporcional a la señal obtenida. Esta información es la base para que el proceso descrito anteriormente en la Figura 25 se lleve a cabo. Por otro lado, el

diagrama del circuito para la obtención del ritmo cardiaco se presenta en la Figura 26. En este se observa que el puerto UART1 de la placa Raspberry Pi 4 se conecta al convertidos AC/DC, el cual a su vez se conecta al sensor ECG.

Figura 26 Diagrama de conexión del circuito de la adquisición de datos del ECG



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el entrenamiento de la técnica de Deep Learning (Anexo 6) necesita una gran cantidad de datos. En este sentido, se emplea la base de datos de arritmias cardiacas MIT-BIH que se recopilan de los laboratorios del Hospital Beth Israel de Boston, como se indicó en el apartado 3.2. Además, estos datos se dividen en tres conjuntos, entrenamiento, validación y pruebas.

Existen 5 categorías que se toman en cuenta para la detección de arritmias cardiacas, estas son, estado normal, taquicardia, bradicardia, falso positivo y falso negativo (Tabla 25). El estado normal corresponde a un ritmo cardiaco entre 60-100 latidos por minuto (Bpm). Asimismo, la taquicardia se produce cuando los latidos del corazón superan los 100 Bpm, mientras que, la bradicardia corresponde a latidos inferiores a 40 Bpm. Los falsos positivos y

negativos se originan cuando los electrodos se colocan de forma errónea sobre el cuerpo del paciente, lo que genera un gráfico y ritmo cardiaco erróneo.

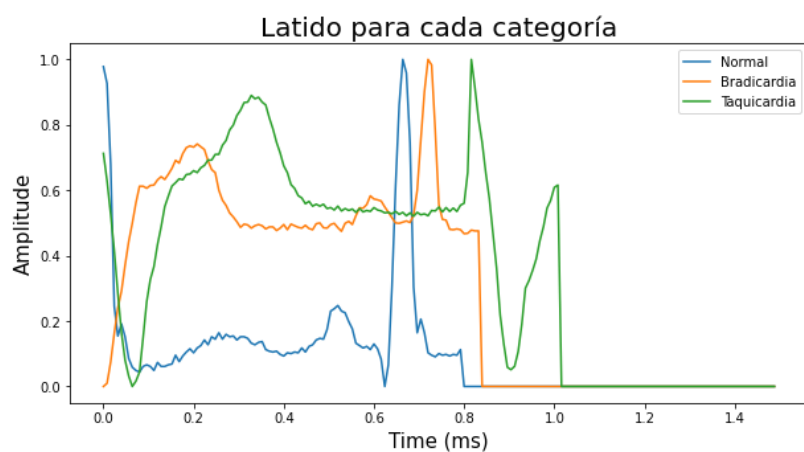
Tabla 25 Puntuación de lenguajes de programación

Tipo	BPM	Observación
Normal	60-100	Ninguna
Taquicardia	>100	Ninguna
Bradicardia	<40	Ninguna
Falso positivo	0	Mala colocación
Falso negativo	0	de electrodos

Fuente: Elaboración propia

En contraste, de acuerdo con la Tabla 25 se agrupan las mediciones de ritmo cardiaco del conjunto de datos MIT-BIH, como se presenta en la Figura 27 los datos han sido clasificados por categoría y diferenciados por colores de acuerdo a cada anomalía cardiaca: bradicardia (tomate), taquicardia (verde) o estado normal (azul).

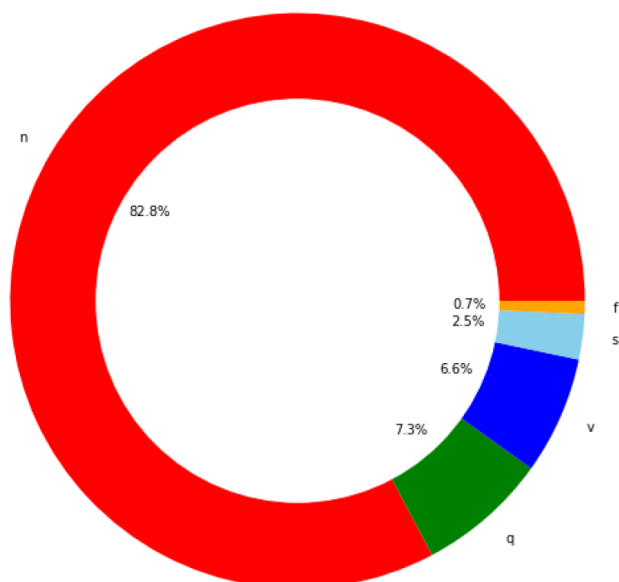
Figura 27 Latido cardiaco por categoría



Fuente: Elaboración propia

De esta forma, el porcentaje total de cada tipo consideradas para la clasificación se detalla en la figura 28, para poder diferenciar se encuentran de diferentes colores cada uno de los estados: normal (rojo), bradicardia (verde), taquicardia (azul), falso positivo (celeste), falso negativo (tomate).

Figura 28 Porcentajes de diferentes tipos de arritmias cardiacas.



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido los conjuntos de datos necesarios (entrenamiento, validación, prueba) se proceden a ensamblar la arquitectura de la técnica de Deep Learning, Una vez definida la arquitectura de la red neuronal se configura los parámetros de entrenamiento como se presenta en la Tabla 26.

Tabla 26 Parámetros de la red neuronal

Parámetro	Valor
Señal de entrada	Electrocardiograma
Algoritmo	Red neuronal convolucional 1D

Número de épocas	10 (ciclos de corrección, para tomar los mejores datos de entrada a la red neuronal)
Frecuencia	125 Hz (numero de repeticiones por unidad de tiempo)
Tamaño mínimo de lote	8 (cantidad de muestras que se envían a la red neuronal)
Tasa de aprendizaje	0.98 % (cantidad de actualización de peso durante el entrenamiento de la red neuronal)
Tamaño del dataset	87554 (conjunto de datos)

Fuente: Elaboración propia

3.8. Pruebas de Integración

En esta sección se detallan los resultados obtenidos a partir de las pruebas de funcionamiento bajo diferentes escenarios. En las pruebas se constata el funcionamiento adecuado de las etapas que componen el sistema de detección de arritmias cardíacas, es decir, se comprueba el funcionamiento del sistema de adquisición de datos, sistema de clasificación de arritmias cardíacas y sistema de almacenamiento de datos.

3.8.1. Cronograma de pruebas

Una vez finalizada la etapa de diseño se procede a realizar pruebas de funcionamiento con el fin de comprobar la eficacia del sistema. En este sentido, se constata que el sistema cuantifica el ritmo cardíaco y lo clasifica de forma satisfactoria, esto es posible siempre y cuando los electrodos del sensor de ritmo cardíaco se colocan de forma correcta sobre el cuerpo del paciente.

En la etapa de adquisición de datos se comprueba que el sensor de ritmo cardiaco ECG proporciona información de los latidos del corazón en forma analógica. Esta información se convierte a su equivalente digital mediante el convertidor AC/DC de 16 bits, además, esta señal ingresa a la placa de desarrollo Raspberry Pi 4 donde se encuentra programada la técnica de Deep Learning para la clasificación de arritmias cardiacas.

En cuanto a la etapa de clasificación se refiere, se comprobó que la técnica de Deep Learning clasifica los datos adquiridos en la anterior etapa. Además, se constató que la clasificación de la técnica se rige a los latidos por minuto de los tipos de arritmias. En este sentido existieron mediciones erróneas en algunos casos, los cuales corresponden a una mala disposición de los electrodos sobre el cuerpo del paciente.

En contraste, los resultados obtenidos de la clasificación se almacenan en una base de datos, la cual es accesible desde cualquier lugar. En este sentido se comprueba que los datos de los pacientes, como nombres, apellidos, cédula de identidad, edad y ritmo cardiaco, se almacenan de forma satisfactoria. Además, estos datos son accesibles en cualquier instante, de esta forma es posible la visualización del historial médico de cada paciente en la aplicación móvil Expo desarrollada (Anexo7). Por último, la aplicación móvil Expo describe una interfaz simple e intuitiva, lo que permite a los usuarios (doctores) registrar pacientes y llevar a cabo las mediciones de frecuencia cardiaca. En la Tabla 27 se describen los escenarios de prueba para comprobar el funcionamiento del sistema de registro cardiaco.

Tabla 27 Cronograma de pruebas

Cronograma de pruebas			
Prueba	Lugar de desarrollo de la prueba	Resultados esperados	Duración
Verificación del funcionamiento general de la aplicación móvil	- Lugar de muestra a escala de laboratorio	Se espera que las características de la aplicación móvil sean funcionales	- Programación dos semanas - Pruebas funcionales 1 día

Verificación y evaluación de la adquisición de datos, así como, de la técnica de Deep Learning para la clasificación de arritmias	- Lugar de muestra a escala de laboratorio	Se pretende comprobar que la adquisición de datos mediante el sensor de ritmo cardiaco ECG sea de forma satisfactoria. Asimismo, los datos deben enviarse de forma correcta a la placa de desarrollo para que se lleve a cabo la clasificación de arritmias cardiacas	- Programación dos semanas - Pruebas funcionales 1día
Verificación y evaluación del almacenamiento de datos	- Lugar de muestra a escala de laboratorio	Se espera que los datos resultantes de la clasificación de arritmias cardiacas se almacenen de forma satisfactoria. Además, estos deben emplearse para visualizar el resultado en la aplicación móvil	- Programación dos semanas - Pruebas funcionales 1día

Fuente: Elaboración propia

La ejecución de cada prueba descrita en la Tabla 27 permite evaluar el funcionamiento correcto del sistema de clasificación de ritmo cardiaco. Además, se comprueba el cumplimiento de los requerimientos plasmados en la etapa de diseño, que se describieron anteriormente en el Capítulo 2. Asimismo, para comprobar el rendimiento se cuantifican datos como, tiempo de respuesta, tasa de bits errados y velocidad de transmisión, además, estos datos se documentan en un informe técnico, el cual servirá para que los usuarios que adopten el sistema tengan el conocimiento necesario para actuar ante una posible falla.

3.8.1.1. Pruebas de funcionamiento del sistema.

Las pruebas de campo consisten en poner en funcionamiento el sistema en su totalidad, es decir, cuando el sensor, la técnica de Deep Learning, la base de datos y la aplicación móvil interactúan entre sí para llevar a cabo la clasificación de arritmias cardiacas. Por otro lado, para llevar a cabo estas pruebas fue necesario el acompañamiento del doctor Fernando Cruz Cevallos, pues se someterá a pacientes de una clínica al sistema de monitoreo de arritmias cardiacas. En los resultados descritos en la Tabla 28 se constata que las pruebas

de funcionamiento de la aplicación móvil Expo fueron exitosas, es decir no se presentó ningún fallo, además, en el Anexo 8 se adjuntan las imágenes correspondientes a la prueba.

Tabla 28 Resultados de prueba de la aplicación móvil “Expo”

Test No.	1	Revisión:	1	Autor:	Álvaro Enríquez	Date:
Categorías de prueba	Test Básico		Estándar/Opcional:			
Producto:	Aplicación Móvil		ID del producto:	“Expo”		
Tecnología:	Prueba de Conformidad (Estándar):					
Título de Prueba:	Verificación del funcionamiento de la aplicación móvil “Expo”					
Propósito de Prueba:	Comprobar que la aplicación móvil se inicialice sin problemas posterior a su instalación.					
Configuraciones de Prueba:	Descargar la aplicación desde la app Store e instalarla concediendo los permisos necesarios					
Procedimiento:	Buscar la aplicación “Expo” en la app store e instalarla concediendo los permisos necesarios					
Verificaciones:					Pasa	Falla
Se encuentra fácilmente la aplicación en el App Store de Google.				X		
Se ejecuta de forma rápida la aplicación para generar el código QR.				X		
Se sincroniza de forma rápida al escanear el código QR con la aplicación expo.				X		
Los gráficos se observan de forma correcta en la aplicación móvil.				X		
Los botones funcionan de manera correcta.				X		
Los datos del paciente se ingresan y se guardan con normalidad.				X		
Se puede añadir otro paciente de forma correcta.				X		
La gráfica y los estados se muestran en tiempo real.				X		
El historial del paciente es fácil de buscar.				X		
Resultados Esperados:	La aplicación "Expo" se encuentra en la App store, además, esta una vez instalada en el dispositivo móvil ofrece una interfaz simple e intuitiva, de tal forma que, el usuario puede manejar la aplicación de forma rápida.					
Pasado (Inicial):						
Fallido (Inicial):						
Motivo de Fallo:						
Comentarios:						

Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizadas las pruebas, que se presentaron en la Tabla 28 y corresponden al funcionamiento de la aplicación móvil “Expo” (Figura 29), se comprueba que las todas las funciones que ofrece la aplicación se ejecutan sin ningún problema.

Figura 29 Visualización de datos obtenidos por medio de la aplicación móvil.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las pruebas de funcionalidad que corresponden a la adquisición y clasificación de datos de ritmo cardiaco se presentan en la Tabla 29, además, en el Anexo 9 se adjuntan las imágenes correspondientes a la prueba.

Tabla 29 Resultados de pruebas de adquisición de datos y clasificación de arritmias cardiacas

Test No.	1	Revisión:	1	Autor:	Álvaro Enríquez	Date:
Categorías de prueba	Test Básico		Estándar/Opcional:			
Producto:	Sensor ECG y técnica de Deep Learning		ID del producto:	“Expo”		

Tecnología:	Prueba de Conformidad (Estándar):	
Título de Prueba:	Verificación el funcionamiento del sensor de ritmo cardiaco ECG y de la técnica de Deep Learning	
Propósito de Prueba:	Comprobar la adquisición correcta de datos de ritmo cardiaco y su correcta clasificación	
Configuraciones de Prueba:	Integrar el sensor de ritmo cardiaco ADS1115 en la placa de desarrollo Raspberry Pi 4 para obtener los datos de frecuencia cardiaca.	
Procedimiento:	Compilar el programa que consta de la técnica de Deep Learning para la clasificación de arritmias cardiacas y de la adquisición de datos.	
Verificaciones:	Pasa	Falla
Se puede visualizar la adquisición de datos con normalidad.	X	
Nos muestra la señal de entrada que será clasificada en nuestra red neuronal.	X	
Se muestra en tiempo real la gráfica tanto en la interfaz de la Raspberry y en la aplicación móvil.	X	
El sistema clasifica los datos de ritmo cardiaco de acuerdo con los estados descritos en la red neuronal.	X	
Se visualiza en tiempo real los estados en la aplicación móvil.	X	
Los datos de los pacientes se observan en la base de datos.	X	
Resultados Esperados:	El programa se compila de forma correcta, de tal forma que, la adquisición de datos se realiza de forma satisfactoria. Además, estos datos se clasifican de forma correcta según los niveles del pulso cardiaco mediante la técnica de Deep Learning.	
Pasado (Inicial):		
Fallido (Inicial):		
Motivo de Fallo:		
Comentarios:		

Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizadas las pruebas, que se presentaron en la Tabla 29 y corresponden a la adquisición de datos y clasificación de arritmias mediante la técnica de Deep Learning, se comprueba que los datos provenientes del sensor de ritmo cardiaco ECG (Figura 30) se transmiten de forma correcta hacia la placa de desarrollo Raspberry pi 4.

Figura 30 Gráfico de la frecuencia cardiaca mostrada en el raspberry.



Fuente: Elaboración propia

Además, la red neuronal clasifica los datos adquiridos de forma correcta como se muestra en la Figura 31.

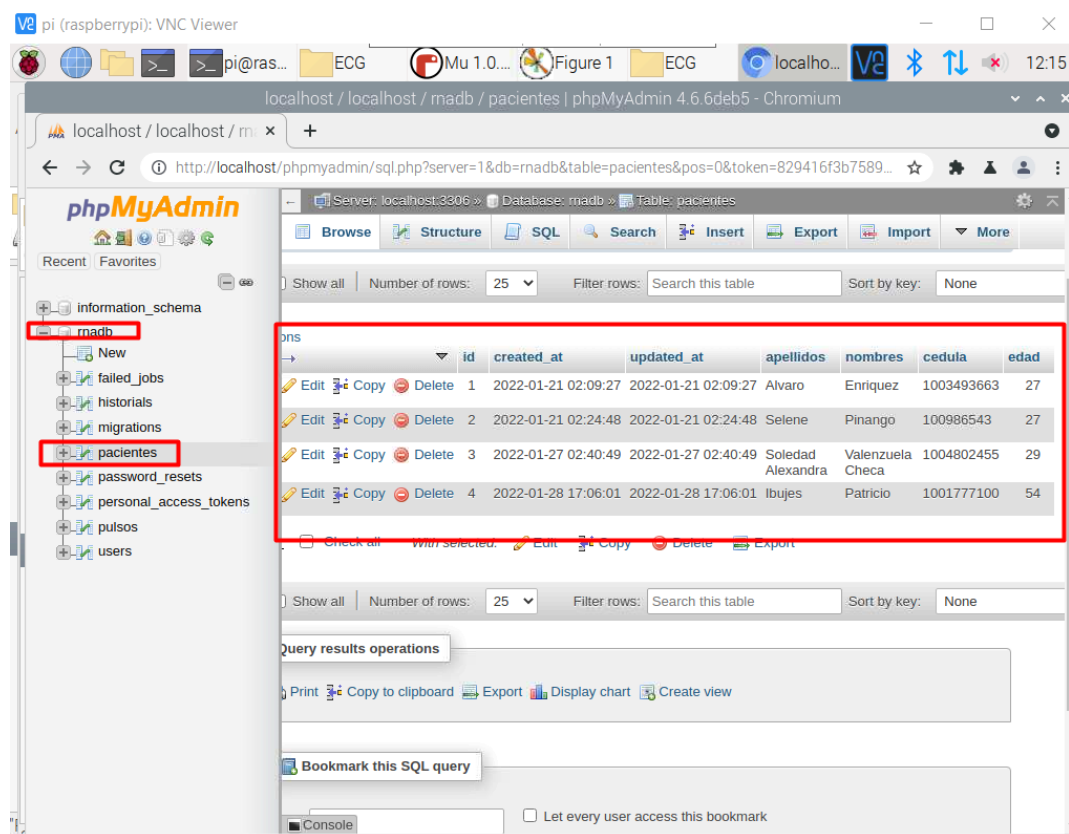
Figura 31 Resultados de la red neuronal mostrados en la aplicación móvil.



Fuente: Elaboración propia

Los datos ingresados en la aplicación móvil se almacenan de forma satisfactoria en la base de datos (Figura 32).

Figura 32 Almacenamiento de los datos ingresados y resultados obtenidos en la aplicación móvil.



Fuente: Elaboración propia

En este sentido, las pruebas de funcionalidad que corresponden a la base de datos se presentan en la Tabla 30, además, en el Anexo 10 se adjuntan las imágenes correspondientes a la prueba.

Tabla 30 Resultados de pruebas de funcionamiento de base de datos

Test No.	1	Revisión:	1	Autor:	Álvaro Enríquez	Date:
Categorías de prueba	Test Básico		Estándar/Opcional:			
Producto:	Base de datos		ID del producto:	“Expo”		
Tecnología:	Prueba de Conformidad (Estándar):					
Título de Prueba:	Comprobar el funcionamiento de la base de datos					

Propósito de Prueba:	Verificar el correcto almacenamiento de los datos resultantes de la clasificación de arritmias en la base de datos		
Configuraciones de Prueba:	Establecer los datos por almacenar en la base de datos		
Procedimiento:	Almacenar los datos de pacientes como, nombres, cédula de identidad y ritmo cardiaco.		
Verificaciones:		Pasa	Falla
Se accede de forma rápida a la url de la base de datos.		X	
Los datos almacenados son correctos y cumplen con los requerimientos funcionales.		X	
Los datos se almacenan según los requisitos de la entrada a través de la interfaz de la aplicación móvil.		X	
Todas las etapas se han ejecutado de acuerdo con el diseño y los requisitos especificados en la aplicación móvil.		X	
Resultados Esperados:	Los datos como nombres, cédula de identidad y ritmo cardiaco se almacena de forma satisfactoria en la base de datos.		

Pasado (Inicial):

Fallido (Inicial):

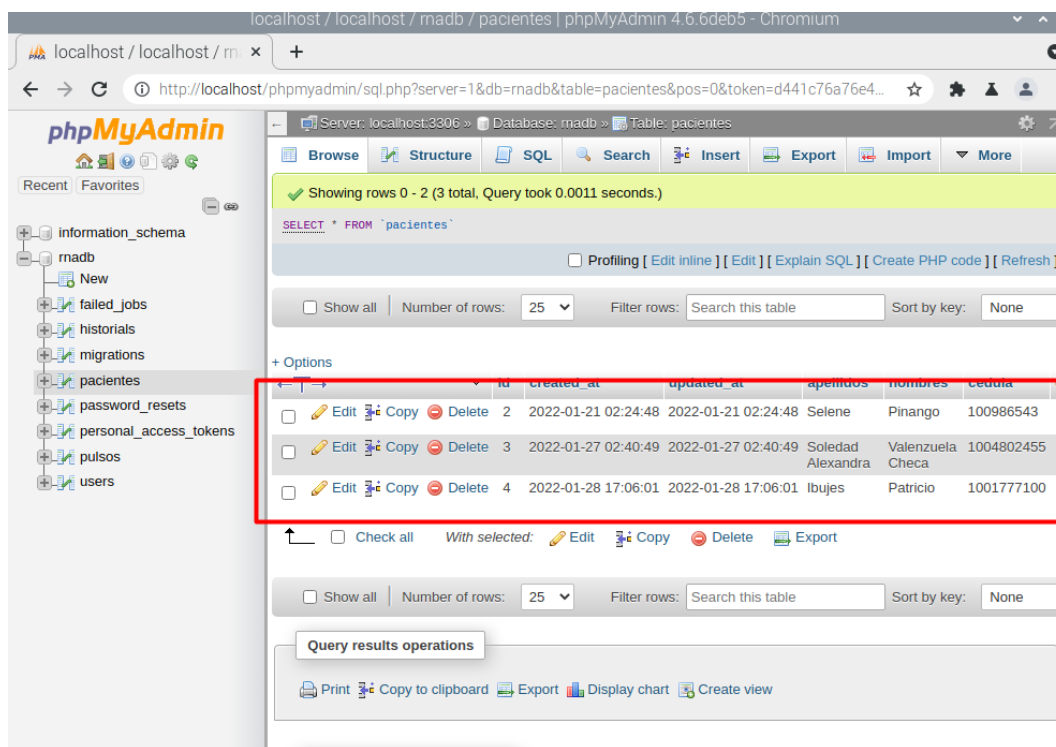
Motivo de Fallo:

Comentarios:

Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizadas las pruebas, que se presentaron en la Tabla 30 y corresponden al almacenamiento de datos en la base de datos (Figura 33), se comprueba que los datos como, el nombre, cédula de identidad, fecha, estado y ritmo cardiaco de acuerdo a como solicito el Dr. en la entrevista realizada (Anexo 1), se almacenan de forma satisfactoria. Además, en la base de datos es posible agregar y añadir usuarios sin que afecte al funcionamiento normal del sistema.

Figura 33 Pacientes ingresados en la base de datos.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la verificación del tráfico del sistema de clasificación de arritmias cardíacas se presenta en la Tabla 31, además, en el Anexo 11 se adjuntan las imágenes correspondientes a la prueba.

Tabla 31 Resultados de pruebas de intercambio de datos del sistema de clasificación de arritmias cardíacas

Test No.	1	Revisión:	1	Autor:	Álvaro Enríquez	Date:
Categorías de prueba	Test Básico		Estándar/Opcional:			
Producto:	Intercambio de datos		ID del producto:	“Expo”		
Tecnología:	Prueba de Conformidad (Estándar):					
Título de Prueba:						
Propósito de Prueba:	Comprobar mediante Wireshark el intercambio de información del sistema en conjunto durante el envío y recepción de datos.					
Configuraciones de Prueba:	Verificar el intercambio de datos del modelo TCP/IP de todo el sistema					
Procedimiento:	Ejecutar Wireshark y se procede a medir el ritmo cardíaco del paciente					
Verificaciones:					Pasa	Falla

En la capa 1, el tipo de encapsulamiento, el time stamp y los tipos de protocolos con los que trabaja el paquete son coherentes.	X
La dirección de destino y origen de capa 2 son coherentes con el flujo de información del sistema.	X
A nivel de capa 3, la cabecera, el destino y el origen son correctos de acuerdo con el flujo de información.	X
En la capa 4, el puerto de origen y de destino son coherentes de acuerdo con el flujo de información del sistema. especificados en la aplicación móvil.	X
Resultados Esperados:	El intercambio de información a nivel de capa 1, 2, 3 y 4 es satisfactoria cuando el sistema funciona en su totalidad.
Pasado (Inicial):	
Fallido (Inicial):	
Motivo de Fallo:	
Comentarios:	

Fuente: Elaboración propia

Una vez concluidas las pruebas establecidas en la Tabla 31, que corresponden al intercambio de datos en el modelo TCP/IP (Figura 34), en el sistema “Expo”, se comprobó que, en la capa 1, el tipo de encapsulamiento, el time stamp y los tipos de protocolos con los que trabaja el paquete son coherentes. La dirección de destino y origen de capa 2 son coherentes con el flujo de información del sistema. A nivel de capa 3 la cabecera, el destino y el origen son correctos de acuerdo con el flujo de información. Por último, en la capa 4, el puerto de origen y de destino es coherentes de acuerdo con el flujo de información del sistema.

Figura 34 Tráfico del intercambio de datos del modelo TCP/IP del sistema registrado en Wireshark.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
142	1.559648	192.168.0.1	192.168.0.107	HTTP	391	HTTP/1.1 500 Internal Server Error (text/html)
23	21.660273	77.234.46.107	192.168.0.107	HTTP	395	HTTP/1.1 200 OK
23	21.664310	192.168.0.107	77.234.46.107	HTTP	360	GET /R/A3sKIDhhM2UwMGfKwFKlzRhMGJhMmM1zjUzYjhjMjEzY2FhEgQEAOIiGIQCIgEAKggIBBCn4-eXASoICAMQ2p2
74	66.687780	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	661	GET / HTTP/1.1
80	76.709048	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	661	GET / HTTP/1.1
86	84.089665	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	862	HTTP/1.1 200 OK
86	84.149257	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	255	GET /assets/assets/images/icon.png HTTP/1.1
86	84.189217	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	840	HTTP/1.1 200 OK (PNG)
86	84.209891	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	257	GET /assets/assets/images/splash.png HTTP/1.1
86	84.277886	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	986	HTTP/1.1 200 OK (PNG)
87	84.300847	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	179	GET /status HTTP/1.1
87	84.301462	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	381	HTTP/1.1 200 OK
87	84.511495	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	284	GET /node_modules%5Cexpo%5CAppEntry.bundle?platform=android&dev=true&hot=false&minify=false HT
87	84.511495	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	362	/message?device=VAR-LX3A%20-%2010%20-%20API%2029&app=host.exp.exponent&clientid=DevSupport
87	84.511969	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	338	GET /inspector/device?name=VAR-LX3A%20-%2010%20-%20API%2029&app=host.exp.exponent HTTP/1.1
87	84.514548	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	183	HTTP/1.1 101 Switching Protocols
87	84.518260	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	183	HTTP/1.1 101 Switching Protocols
16	93.411699	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP/JSON/JSON/JS...	1483	HTTP/1.1 200 OK , JavaScript Object Notation (application/json), JavaScript Object Notation (a

> Frame 7447: 661 bytes on wire (5288 bits), 661 bytes captured (5288 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41B0-8C1A-E898F3DB7958}, id 0 **Capa 1, Física**
 > Ethernet II, Src: HuaweiTe_7e:de:93 (e4:fd:a1:7e:de:93), Dst: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71) **Capa 2, Enlace de Datos**
 > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.100, Dst: 192.168.0.107 **Capa 3, Red**
 > Transmission Control Protocol, Src Port: 36880, Dst Port: 19000, Seq: 1, Ack: 1, Len: 607 **Capa 4, Transporte**
 > Hypertext Transfer Protocol **Capa, Aplicacion**

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 4

Pruebas de funcionamiento

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del sistema de detección de arritmias cardíacas. Para lo cual, se evalúa ocho pacientes de forma aleatoria con la supervisión del doctor Fernando Cruz Cevallos, esto se realiza con la finalidad de detectar la patología que padece cada paciente (bradicardia, taquicárdica, estado normal). Asimismo, para validar el sistema propuesto se compara los resultados obtenidos con los proporcionados con el equipo ChoiceMMed.

En cada prueba se emplea un procedimiento de nueve pasos, consentimiento del paciente, recostar al paciente, limpieza de zona de trabajo, colocación de prototipo, colocación de electrodos, registro del paciente, lectura de resultados, comparación de resultados y verificación de almacenamiento de resultados.

4.1. Selección de medidor de pulso cardíaco comercial

La efectividad del sistema de detección de arritmias cardíacas propuesto en esta investigación se comprueba con un dispositivo comercial. En este sentido, para la selección del dispositivo se consideran dos opciones que se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32 Medidores de arritmias cardíacas comerciales

Característica	ChoiceMMEd	SEN 11574
Necesita placa de desarrollo	No	Si
Voltaje de operación	3.0 - 5.5VDC	3.0 - 5.5VDC
Costo	59.99 \$	6 \$

Fuente: (Allergy, 2022)

Según las características descritas en la Tabla 32 es evidente que el dispositivo comercial que se requiere para comprobar los resultados del sistema propuesto es el ChoiceMMEd, debido a que, este es un dispositivo que no necesita de una placa de desarrollo para su funcionamiento a diferencia del SEN 11574 que necesita un sistema adicional para su

operación. Por último, las características técnicas a detalle del dispositivo ChoiceMMEd se adjuntan en el Anexo 12.

4.2. Evaluación en pacientes

La efectividad del sistema de detección de arritmias cardíacas, propuesto en esta investigación, se evalúa mediante el diagnóstico de arritmias en un total de ocho pacientes (Tabla 33).

Tabla 33 Listado de pacientes para prueba del sistema

#	Paciente	Edad
1	María Ramírez	82
2	Patricio Ibujes	54
3	Víctor Valenzuela	63
4	Rosa Checa	73
5	Soledad Valenzuela	29
6	Samia Valenzuela	47
7	Diego León	50
8	Alexandra Semper	45

Fuente: Elaboración propia

Así mismo para determinar el porcentaje de efectividad del sistema, se ha realizado la toma de 5 muestras por pacientes como se muestra en la tabla 34.

Tabla 34 Muestras tomadas con el prototipo en pacientes.

#	Paciente	Muestras obtenidas con el prototipo	Muestra obtenida con el equipo ChoiceMMEd
1	María Ramírez	32.18 bpm 32.18 bpm 32.74 bpm 33.50 bpm 33.12 bpm	32 bpm
2	Patricio Ibujes	48.34 bpm 48.08 bpm 47.21 bpm 47.15 bpm 48.29 bpm	48 bpm
3	Víctor Valenzuela	53.46 bpm 53.63 bpm	53 bpm

		53.63 bpm	
		54.12 bpm	
		53.89 bpm	
4	Rosa Checa	55.19 bpm	55 bpm
		55.56 bpm	
		55.73 bpm	
		54.36 bpm	
		56.08 bpm	
5	Soledad Valenzuela	62.00 bpm	62 bpm
		62.50 bpm	
		62.00 bpm	
		62.89 bpm	
		63.35 bpm	
6	Samia Valenzuela	75.00 bpm	75 bpm
		75.00 bpm	
		75.00 bpm	
		74.68 bpm	
		75.89 bpm	
7	Diego León	103.00 bpm	103 bpm
		103.61 bpm	
		103.00 bpm	
		103.89 bpm	
		104.26 bpm	
8	Alexandra Semper	123.00 bpm	123 bpm
		123.60 bpm	
		123.00 bpm	
		122.65 bpm	
		122.12 bpm	

Fuente: Elaboración propia

La fórmula para calcular la efectividad es la siguiente según (Perdomo, 2010):

$$\left(\sum \left(\frac{\text{Resultado Alcanzado}}{\text{Resultado Previsto}} \right) \right) \times 100\% = E$$

Donde:

- Resultado Alcazado: muestra obtenida con el prototipo.
- Resultado Previsto: muestra obtenida con el equipo ChoiceMMed
- E: Eficiencia

Se debe tener en cuenta que para determinar la variación el valor que sea menor debe ir en el numerador y el mayor en el denominador, ya sea esta la muestra obtenida con el prototipo o con el equipo ChoiceMMed.

En este sentido se analizará a detalle los resultados obtenidos de 3 pacientes, uno por cada patología (bradicardia, taquicardia y normal), mientras que, los resultados obtenidos de los pacientes restantes se adjuntan en el Anexo 6.

4.2.1. Paciente 1 - Bradicardia

El procedimiento empieza con la firma del consentimiento por parte del paciente (Anexo 13), en el cual, la persona menciona su voluntad de ser partícipe de las pruebas de funcionamiento del sistema de arritmias cardíacas, en calidad de paciente. Posterior a la firma se indica al paciente que se descubra la parte superior del torso y que se recueste sobre la camilla, en este paso es importante procurar que el paciente se encuentre cómodo y relajado ya que si está nervioso se puede registrar una medición errónea.

Una vez que el paciente este relajado se procede a limpiar el área donde se colocarán los electrodos, es decir en el torso intercostal derecho, intercostal izquierdo e intercostal bajo. Luego se coloca el dispositivo de detección de arritmias cardíacas en la muñeca derecha (Figura 35) y se procede a disponer los electrodos sobre el cuerpo del paciente, el cable verde se coloca en el intercostal derecho junto el esternón V1; el cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón y el cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.

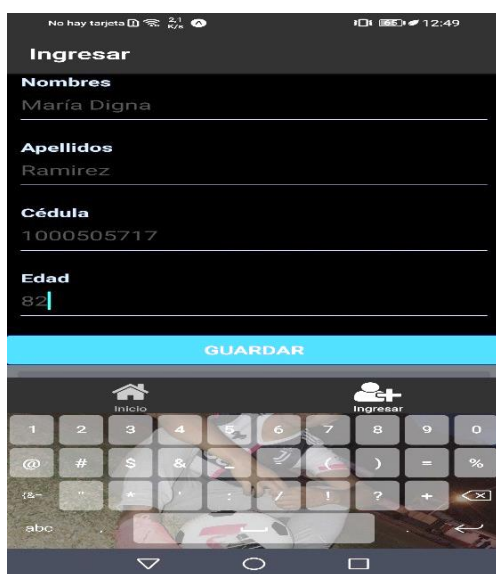
Figura 35 Medidor de ritmo cardiaco colocado en muñeca derecha de paciente 1.



Fuente: Elaboración propia

Una vez colocados los electrodos de forma correcta se procede a iniciar la aplicación “Expo” y registrar al paciente (Figura 36), para lo cual se coloca los nombres, apellidos, cédula y edad.

Figura 36 Pantalla de registro de paciente 1.



Fuente: Elaboración propia

Seguido automáticamente el sistema empieza a registrar mediciones, donde se observa el pulso, tipo de arritmia, nombre del paciente, cédula de identidad y edad. En la Figura 37 se observa que la paciente María Digna Ramirez tiene 82 años y presenta un pulso cardiaco de 32.18 bpm, la cual corresponde a una bradicardia.

Figura 37 Resultados de pruebas en paciente 1.



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, con el uso del equipo ChoiceMMed se obtuvo una medición de 32 bpm (Figura 32). Por lo tanto, la efectividad del sistema propuesto con las muestras tomadas en la tabla 34, con respecto al dispositivo comercial es:

$$\left(\frac{\left(\left(\frac{32}{32.18} \right) + \left(\frac{32}{32.18} \right) + \left(\frac{32}{32.74} \right) + \left(\frac{32}{33.50} \right) + \left(\frac{32}{32.12} \right) \right)}{5} \right) * 100\% = E$$

$$E = 98.35\%$$

Es decir 98.35% de efectividad. Es importante considerar que el dispositivo ChoiceMMed no proporciona decimales en su medición, por lo que, el cálculo de efectividad se realiza con los valores obtenidos y redondeando a su inmediato superior o inferior según corresponda.

Figura 38 *Medición de ritmo cardiaco en paciente 1 con oxímetro de pulso ChoiceMMed.*



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de la prueba se almacenan en la base de datos MySQL, en primera instancia, al registrar el paciente en la aplicación móvil “Expo”, algunos datos como id, apellidos, nombres, cédula, edad, fecha de creación y actualización, se almacenan en la base de datos. En la Figura 39 se observa que los datos de la paciente en cuestión se crearon de forma correcta, por lo que se evidencia el correcto funcionamiento del sistema de almacenamiento.

Figura 39 Almacenamiento de datos durante el registro del paciente 1.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'madb'. The table 'pacientes' is selected, and the following SQL query is executed: `SELECT * FROM 'pacientes' ORDER BY 'id' ASC`. The query results show one row of data, which is highlighted with a red box:

Options	id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	4	2022-03-03 17:49:42	2022-03-03 17:49:42	Maria Digna	Ramirez	1000505717	82

Below the table, there are options for 'Check all', 'With selected', 'Edit', 'Copy', 'Delete', and 'Export'. There are also buttons for 'Print', 'Copy to clipboard', 'Export', 'Display chart', and 'Create view'. At the bottom, there is a 'Bookmark this SQL query' button and a checkbox for 'Let every user access this bookmark'.

Fuente: Elaboración propia

Por último, posterior al registro del paciente se empieza a registrar el ritmo cardiaco, los cuales se almacenan de forma consecutiva según el id asignado al paciente (Figura 40).

Figura 40 Registro de ritmo cardiaco del paciente 1.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'madb'. The table 'historials' is selected, and the following SQL query is displayed:

```
UPDATE `historials` SET `pulso_cardiaco` = '32.74', `estado` = 'Bradycardia' WHERE `historials`.`id` = 1685;
```

The table view shows 24 rows of data. The columns are: created_at, updated_at, pulso_cardiaco, estado, and paciente_id. The 'estado' column for all rows is 'Bradycardia' and the 'paciente_id' column for all rows is '4'. A red box highlights the 'estado' and 'paciente_id' columns for the last row.

	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:25:14	2022-03-03 18:25:14	32.18	Bradycardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:25:46	2022-03-03 18:25:46	32.18	Bradycardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:22:44	2022-03-03 18:22:44	32.74	Bradycardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:22:46	2022-03-03 18:22:46	32.74	Bradycardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:23:34	2022-03-03 18:23:34	32.74	Bradycardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:24:53	2022-03-03 18:24:53	32.74	Bradycardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:19:32	2022-03-03 18:19:32	32.74	Bradycardia	4

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Paciente 2 - Taquicardia

El procedimiento empieza con la firma del consentimiento por parte del paciente (Anexo 6), en el cual, la persona menciona su voluntad de ser partícipe de las pruebas de funcionamiento del sistema de arritmias cardiacas, en calidad de paciente. Posterior a la firma se indica al paciente que se descubra la parte superior del torso y que se recueste sobre la camilla, en este paso es importante procurar que el paciente se encuentre cómodo y relajado ya que si está nervioso se puede registrar una medición errónea.

Una vez que el paciente este relajado se procede a limpiar el área donde se colocarán los electrodos, es decir en el torso intercostal derecho, intercostal izquierdo e intercostal bajo. Luego se coloca el dispositivo de detección de arritmias cardiacas en la muñeca derecha (Figura 41) y se procede a disponer los electrodos sobre el cuerpo del paciente, el cable verde se coloca

en el intercostal derecho junto el esternón V1; el cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón y el cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.

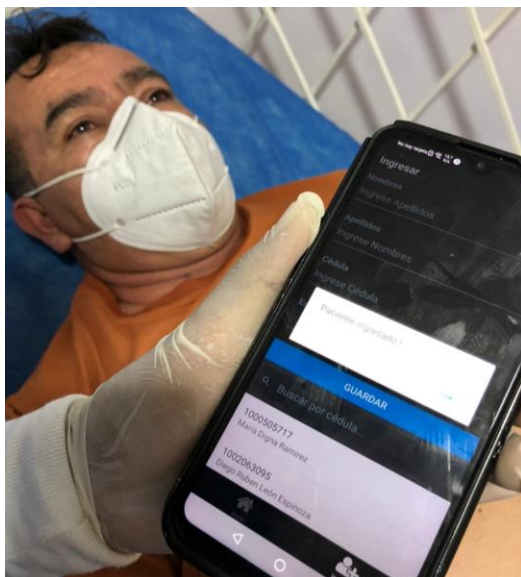
Figura 41 Medidor de ritmo cardiaco colocado en muñeca derecha de paciente 2.



Fuente: Elaboración propia

Una vez colocados los electrodos de forma correcta se procede a iniciar la aplicación “Expo” y registrar al paciente (Figura 42), para lo cual se coloca los nombres, apellidos, cédula y edad.

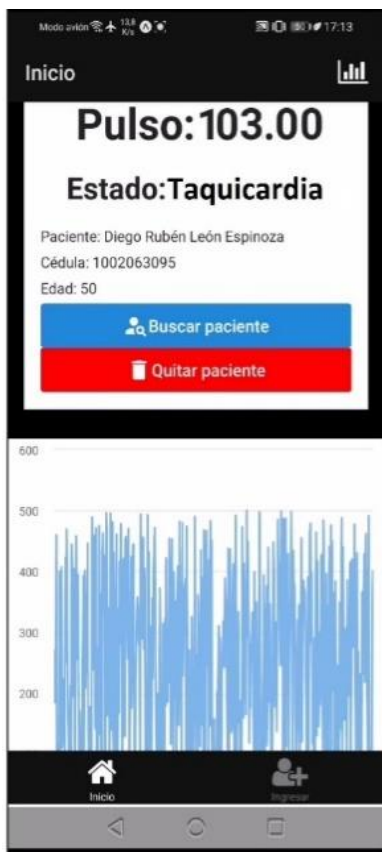
Figura 42 Pantalla de registro de paciente 2.



Fuente: Elaboración propia

Seguido automáticamente el sistema empieza a registrar mediciones, donde se observa el pulso, tipo de arritmia, nombre del paciente, cédula de identidad y edad. En la Figura 43 se observa que el paciente Diego tiene 50 años y presenta un pulso cardiaco de 103 bpm, la cual corresponde a una taquicardia.

Figura 43 Resultados de pruebas en paciente 2.



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, con el uso del equipo ChoiceMMed se obtuvo una medición de 103 bpm (Figura 44). Por lo tanto, la efectividad del sistema propuesto con las muestras tomadas en la tabla 34, con respecto al dispositivo comercial es:

$$\left(\frac{\left(\left(\frac{103}{103} \right) + \left(\frac{103}{103.61} \right) + \left(\frac{103}{103} \right) + \left(\frac{103}{103.89} \right) + \left(\frac{103}{104.26} \right) \right)}{5} \right) * 100\% = E$$

$$E = 99.46\%$$

Es decir 99.46% de efectividad. Es importante considerar que el dispositivo ChoiceMMed no proporciona decimales en su medición, por lo que, el cálculo de efectividad se realiza con los valores obtenidos y redondeando a su inmediato superior o inferior según corresponda.

Figura 44 *Medición de ritmo cardiaco en paciente 2 con oxímetro de pulso ChoiceMMed.*



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de la prueba se almacenan en la base de datos MySQL, en primera instancia, al registrar el paciente en la aplicación móvil “Expo”, algunos datos como id, apellidos, nombres, cédula, edad, fecha de creación y actualización, se almacenan en la base de datos. En la Figura 45 se observa que los datos de la paciente en cuestión se crearon de forma correcta, por lo que se evidencia el correcto funcionamiento del sistema de almacenamiento.

Figura 45 Almacenamiento de datos durante el registro del paciente 2.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'rncdb' and a table named 'pacientes'. The table contains 13 rows of patient data. The row with id 12 is highlighted with a red border. The data in this row is: id 12, fecha_registro 2022-03-08 06:12:24, fecha_registro_2 2022-03-08 06:12:24, nombre Diego Rubén, apellido León Espinoza, and id_usuario 1002063095.

	id	fecha_registro	fecha_registro_2	nombre	apellido	id_usuario
<input type="checkbox"/>	4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	María Digna	Ramirez	1000505717
<input type="checkbox"/>	7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel	Valenzuela Ruiz	1000989002
<input type="checkbox"/>	8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Ibujes	1001777100
<input type="checkbox"/>	9	2022-03-04 03:05:07	2022-03-04 03:05:07	Rosa Maria	Checa	1000454742
<input type="checkbox"/>	10	2022-03-04 03:59:42	2022-03-04 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564
<input type="checkbox"/>	11	2022-03-04 04:26:25	2022-03-04 04:26:25	Samia del Rosario	Valenzuela Checa	1002377677
<input type="checkbox"/>	12	2022-03-08 06:12:24	2022-03-08 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095
<input type="checkbox"/>	13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799

Fuente: Elaboración propia

Por último, posterior al registro del paciente se empieza a registrar el ritmo cardiaco, los cuales se almacenan de forma consecutiva según el id asignado al paciente (Figura 46).

Figura 46 Registro de ritmo cardiaco del paciente 2.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'rnadb'. The table 'historials' is selected, and a SQL query is executed: `SELECT * FROM 'historials' ORDER BY 'paciente_id' ASC`. The results show 25 rows of data for patient 12, all with a heart rate of 103.00 and a state of 'Taquicardia'. The table structure is as follows:

	id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	2646	2022-03-08 06:13:25	2022-03-08 06:13:25	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2647	2022-03-08 06:13:28	2022-03-08 06:13:28	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2648	2022-03-08 06:13:40	2022-03-08 06:13:40	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2649	2022-03-08 06:13:42	2022-03-08 06:13:42	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2650	2022-03-08 06:13:45	2022-03-08 06:13:45	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2651	2022-03-08 06:13:47	2022-03-08 06:13:47	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2652	2022-03-08 06:13:49	2022-03-08 06:13:49	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2653	2022-03-08 06:13:51	2022-03-08 06:13:51	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2654	2022-03-08 06:13:53	2022-03-08 06:13:53	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2655	2022-03-08 06:13:55	2022-03-08 06:13:55	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	2656	2022-03-08 06:13:57	2022-03-08 06:13:57	103.00	Taquicardia	12

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Paciente 3 - Estado normal

El procedimiento empieza con la firma del consentimiento por parte del paciente (Anexo 6), en el cual, la persona menciona su voluntad de ser partícipe de las pruebas de funcionamiento del sistema de arritmias cardiacas, en calidad de paciente. Posterior a la firma se indica al paciente que se descubra la parte superior del torso y que se recueste sobre la camilla, en este paso es importante procurar que el paciente se encuentre cómodo y relajado ya que si está nervioso se puede registrar una medición errónea.

Una vez que el paciente este relajado se procede a limpiar el área donde se colocarán los electrodos, es decir en el torso intercostal derecho, intercostal izquierdo e intercostal bajo. Luego se coloca el dispositivo de detección de arritmias cardiacas en la muñeca derecha (Figura 47) y se procede a disponer los electrodos sobre el cuerpo del paciente, el cable verde se coloca

en el intercostal derecho junto el esternón V1; el cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón y el cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.

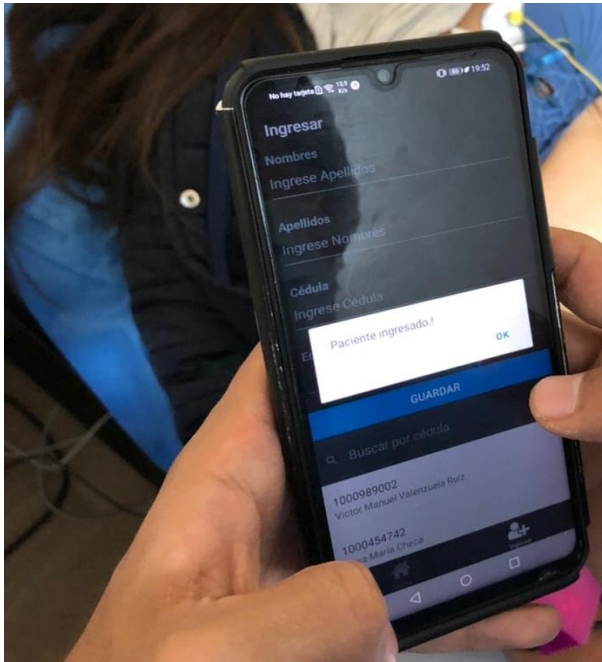
Figura 47 Medidor de ritmo cardiaco colocado en muñeca derecha de paciente 3.



Fuente: Elaboración propia

Una vez colocados los electrodos de forma correcta se procede a iniciar la aplicación “Expo” y registrar al paciente (Figura 48), para lo cual se coloca los nombres, apellidos, cédula y edad.

Figura 48 Pantalla de registro de paciente 3.



Fuente: Elaboración propia

Seguido automáticamente el sistema empieza a registrar mediciones, donde se observa el pulso, tipo de arritmia, nombre del paciente, cédula de identidad y edad. En la Figura 49 se observa que la paciente Soledad tiene 29 años y presenta un pulso cardiaco de 62 bpm, la cual corresponde a un estado normal.

Figura 49 Resultados de pruebas en paciente 3.



Fuente: Elaboración propia

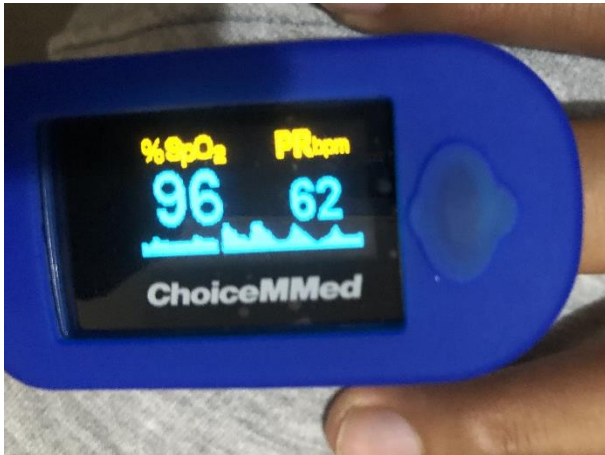
Asimismo, con el uso del equipo ChoiceMMed se obtuvo una medición de 62 bpm (Figura 50). Por lo tanto, la efectividad del sistema propuesto con las muestras tomadas en la tabla 34, con respecto al dispositivo comercial es:

$$\left(\frac{\left(\left(\frac{62}{62} \right) + \left(\frac{62}{62.50} \right) + \left(\frac{62}{62} \right) + \left(\frac{62}{62.89} \right) + \left(\frac{62}{62.35} \right) \right)}{5} \right) * 100\% = E$$

$$E = 99.44\%$$

Es decir 99.44% de efectividad. Es importante considerar que el dispositivo ChoiceMMed no proporciona decimales en su medición, por lo que, el cálculo de efectividad se realiza con los valores obtenidos y redondeando a su inmediato superior o inferior según corresponda.

Figura 50 *Medición de ritmo cardiaco en paciente 3 con oxímetro de pulso ChoiceMMed.*



Fuente: Elaboración propia

Por último, los resultados obtenidos de la prueba se almacenan en la base de datos MySQL, en primera instancia, al registrar el paciente en la aplicación móvil “Expo”, algunos datos como id, apellidos, nombres, cédula, edad, fecha de creación y actualización, se almacenan en la base de datos. En la Figura 51 se observa que los datos de la paciente en cuestión se crearon de forma correcta, por lo que se evidencia el correcto funcionamiento del sistema de almacenamiento.

Figura 51 Almacenamiento de datos durante el registro del paciente 3.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'madb' and a table named 'pacientes'. The table contains the following data:

id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	Maria Digna	Ramirez	1000505717	82
7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel	Valenzuela Ruiz	1000989002	54
8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Ibujes	1001777100	54
9	2022-03-04 03:05:07	2022-03-04 03:05:07	Rosa Maria	Checa	1000454742	73
10	2022-03-11 03:59:42	2022-03-11 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564	29
11	2022-03-11 04:26:28	2022-03-11 04:26:28	Samila del Rosario	Valenzuela Checa	1002377677	47
12	2022-03-11 06:12:24	2022-03-11 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095	50
13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799	45

Fuente: Elaboración propia

Por último, posterior al registro del paciente se empieza a registrar el ritmo cardiaco, los cuales se almacenan de forma consecutiva según el id asignado al paciente (Figura 52).

Figura 52 Registro de ritmo cardiaco del paciente 3.

id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
2320	2022-03-04 04:03:25	2022-03-04 04:03:25	62.00	Normal	10
2321	2022-03-04 04:03:27	2022-03-04 04:03:27	62.00	Normal	10
2322	2022-03-04 04:03:29	2022-03-04 04:03:29	62.00	Normal	10
2323	2022-03-04 04:03:31	2022-03-04 04:03:31	62.00	Normal	10
2324	2022-03-04 04:03:33	2022-03-04 04:03:33	62.00	Normal	10
2325	2022-03-04 04:03:35	2022-03-04 04:03:35	62.50	Normal	10
2326	2022-03-04 04:03:38	2022-03-04 04:03:38	62.50	Normal	10
2327	2022-03-04 04:03:40	2022-03-04 04:03:40	62.50	Normal	10
2328	2022-03-04 04:03:42	2022-03-04 04:03:42	62.50	Normal	10
2329	2022-03-04 04:03:44	2022-03-04 04:03:44	62.50	Normal	10
2330	2022-03-04 04:03:46	2022-03-04 04:03:46	62.00	Normal	10

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de cada paciente se presentan de manera resumida en la Tabla 35, además, la evidencia gráfica y la firma del acta de consentimiento para cada paciente se adjunta en el Anexo 13.

Tabla 35 Resultados de pruebas de funcionamiento de base de datos

#	Paciente	Edad	Pulso con sistema propuesto (bpm)	Pulso con el equipo ChoiceMM ed (bpm)	Tipo de arritmia	Almacenamiento correcto de resultados	Efectividad (%)
1	María Digna Ramírez	82	32.18	32	Bradicardia	SI	98.35
			32.18				
			32.74				
			33.50				
			33.12				
2	Patricio Ibujes	54	48.34	48	Bradicardia	SI	99.02
			48.08				
			47.21				
			47.15				
			48.29				

3	Víctor Valenzuela	63	53.46 53.63 53.63 54.12 53.89	53	Bradicardia	SI	98.61
4	Rosa Checa	73	55.19 55.56 55.73 54.36 56.08	55	Bradicardia	SI	98.84
5	Soledad Valenzuela	29	62.00 62.50 62.00 62.89 63.35	62	Normal	SI	99.44
6	Samia Valenzuela	47	75.00 75.00 75.00 74.68 75.89	75	Normal	SI	99.68
7	Diego León	50	103.00 103.61 103.00 103.89 104.26	103	Taquicardia	SI	99.46
8	Alexandra Semper	45	123.00 123.60 123.00 122.65 122.12	123	Taquicardia	SI	99.70

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 35 se observa que la medición de pulso en cada caso se realiza de forma satisfactoria con gran precisión, ya que al compararlo con el dispositivo comercial ChoiceMMed prácticamente se obtiene los mismos resultados. Además, la clasificación de arritmias es satisfactoria al igual que el almacenamiento de resultados en la base de datos. En cuanto a la efectividad del sistema al calcular un promedio con los valores obtenidos se obtiene un porcentaje de 99.13% de efectividad. Por lo tanto, se puede decir que el sistema propuesto para la medición y clasificación de arritmias funciona de forma satisfactoria y puede ser usado por los profesionales de la salud sin ningún problema, ya que su precisión es igual que un dispositivo comercial.

Una vez realizado las pruebas con los pacientes bajo la supervisión del Dr. Fernando Cruz Cevallos, menciona mediante una carta (Figura 53) la efectividad y funcionamiento del sistema. Y además que es un gran aporte para realizar prácticas médicas.

Figura 53 Carta de corroboración del sistema por el Dr. Fernando Cruz Cevallos.



Ibarra, 05 de Abril del 2022

A QUIEN CORRESPONDA:

El que suscribe, Dr. Fernando Cruz Cevallos por medio del presente hago constar que el Sr. Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi, ha realizado las pruebas del prototipo remoto de monitoreo y diagnóstico de arritmias cardíacas mediante la técnica del procesamiento de señales con DEEP LEARNING para facilitar la detección de anomalías cardíacas.

Bajo mi supervisión se ha trabajado con pacientes entre hombres y mujeres, comprobando la efectividad y funcionamiento del sistema, ya que facilita la detección y registro de anomalías cardíacas y es un gran aporte para realizar prácticas médicas.

Atentamente

Dr. Fernando Cruz Cevallos

Dr. Fernando Cruz C.
MEDICO CIRUJANO
 COD. INHMT # 1008094
 COD. C.M.I. # 062-01
 M.S.P. F 248 N° 742 A.1984
 SENESCYT 1005-06-701340

CONCLUSIONES

Se desarrolló un prototipo que facilita la detección de arritmias cardíacas utilizando un sensor de pulso cardíaco, una placa de desarrollo donde se ejecuta la técnica de Deep Learning, y un dispositivo móvil para la visualización. Para lo cual, las fases de codificación, verificación y validación, que describe la metodología en V, fueron esenciales para facilitar el desarrollo del proyecto, debido a que, estas permitieron las etapas del ciclo del sistema y llevar a cabo los objetivos por cada fase.

En el diseño del sistema de adquisición de datos es esencial considerar la resolución que ofrece el sensor de ritmo cardíaco, pues de esto depende la selección del convertido análogo-digital, que a su vez se conecta en la placa de desarrollo. Una selección errónea del convertidor implica una reproducción incompleta del pulso cardíaco en la placa de desarrollo, y por consecuencia una clasificación fallida de la patología.

La técnica de Deep Learning que se empleó para la clasificación de arritmias fue la red neuronal, la cual requirió de un conjunto de datos cuantioso relacionado con la detección de arritmias cardíacas, específicamente con patologías como la bradicardia, taquicardia y estado normal. Por lo que, fue necesario emplear una base de datos de arritmias que fue recopilada por muchos años por los profesionales de la salud y se denominada MIT-BIH, debido a que, la efectividad de la red neuronal dependió de la cantidad, calidad de las ondas de pulso cardíaco y la variedad de patologías, que se consideraron para la clasificación del sistema propuesto.

Las pruebas de funcionamiento, del prototipo de clasificación de arritmias cardíacas, con pacientes evidencia que el sistema un muy completo para ser usado por un profesional del área de cardiología, ya que aparte de recibir y detectar de forma correcta las arritmias cardíacas, este almacena los datos de una forma organizada, lo que facilita el seguimiento y

control médico del paciente. Además, el sistema propuesto tiene un porcentaje de efectividad del 99.13%, por lo que, está a la par con los dispositivos comerciales de detección cardíaca que se encuentran en el mercado.

El presentar los resultados de cada medición y clasificación de arritmias en una aplicación móvil es una funcionalidad muy útil que ofrece el sistema propuesto en esta investigación, debido a que, facilita el control de patologías asociadas al corazón por parte de los doctores. Además, la posibilidad de almacenar datos importantes como nombres, edad y patología es muy funcional, porque dinamiza el seguimiento del historial médico de los pacientes.

RECOMENDACIONES

El dispositivo puede ser usado como base para estudios futuros, puesto que existe la posibilidad de añadir a la detección un mayor número de anomalías. Lo cual se lograría mediante un data set de imágenes mucho más amplio con el uso de la misma técnica de Deep Learning.

El sistema propuesto es muy intuitivo y fácil de usar, sin embargo, es necesario disponer de supervisión médica en todo momento, debido a que, se necesita un conocimiento básico para la disposición adecuada de los sensores sobre el cuerpo con la finalidad de garantizar una medición exacta.

Para obtener una medición exacta el paciente debe estar en total tranquilidad para obtener medidas exactas tanto en el prototipo como en el equipo choicemmed.

Realizar la limpieza de la zona donde se va a colocar los electrodos, ya que en caso de no hacerlo en el sistema nos mostrara un falso positivo o negativo debido a que el electrodo no podrá adherirse de manera correcta a la piel.

Es recomendable cambiar los electrodos, luego de usar en 2 pacientes ya que el adhesivo que estos poseen se desgasta y no permite adherirse de forma correcta en la piel del paciente y esto influye considerablemente en los resultados.

Verificar en el software visual studio que la dirección ip ingresada sea la misma de nuestro Raspberry pi, ya que es un error muy común y este puede ocasionar que la aplicación móvil no tenga acceso a los registros y datos que proporciona nuestra placa de desarrollo.

Al momento de realizar las pruebas con pacientes, se recomienda como protocolo sanitario usar bata, gorro, guantes quirúrgicos y para poder realizar las pruebas en mujeres solicitar la ayuda de un asistente del mismo sexo.

Establecer un plan de procedimiento adecuado al momento de realizar las pruebas, para poder monitorear y diagnosticar a los pacientes las anomalías cardíacas de una forma más rápida y organizada.

Para la recopilación de datos que van a ser usados para nuestro dataset de la red neuronal, se debe investigar profundamente en repositorios ya que de esto depende que nuestro sistema opere y detecte las anomalías adecuadamente.

Bibliografía

- Allahfoto. (2022). Raspberry.
- Allergy, N. (2022). ChoiceMMed C20 Fingertip Pulse Oximeter.
- Alonso, R. (2020). Raspberry Pi vs Arduino: características técnicas y diferencias.
- Apandi, Z. F. M., Ikeura, R., & Hayakawa, S. (2018). Arrhythmia Detection Using MIT-BIH Dataset: A Review. *2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications, ICASSDA 2018*. <https://doi.org/10.1109/ICASSDA.2018.8477620>
- ApogeeWeb. (2021). BA00AST vs MIC29302WT vs AMS1117 Comparison.
- Beckerman, J. (2020). Arrhythmia: Symptoms, Types, Causes, Diagnosis, and Treatment. *WebMD*.
- Bell, J. (2022). Sublime Text vs WebStorm What are the differences.
- Cáceres, A. J. M. (2021). *ADS1115 Digital Filter Characterization*. 1–4.
- Calin, O. (2020). *Deep Learning Architectures* (1^a ed). https://doi.org/10.1007/978-3-030-36721-3_5
- Chen, B. (2021). PostgreSQL vs. MySQL: What You Need to Know.
- Chowdhary, K. R. (2020). Fundamentals of artificial intelligence. In *Fundamentals of Artificial Intelligence* (1^a ed). <https://doi.org/10.1007/978-81-322-3972-7>
- Cook, M. S., & Weinhaus, A. J. (2015). *Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices* (3^a ed; P. A. Laizzo, Ed.). https://doi.org/10.1007/978-3-319-19464-6_4
- Fu, D. guan. (2015). Cardiac Arrhythmias: Diagnosis, Symptoms, and Treatments. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 73(2), 291–296. <https://doi.org/10.1007/s12013-015-0626-4>
- Hasan, K., Biswas, K., Ahmed, K., Nafi, N. S., & Islam, M. S. (2019). A comprehensive review of wireless body area network. *Journal of Network and Computer Applications*, 143(December 2018), 178–198. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.06.016>
- Hasan, N. I., & Bhattacharjee, A. (2019). Deep Learning Approach to Cardiovascular Disease Classification Employing Modified ECG Signal from Empirical Mode Decomposition. *Biomedical Signal Processing and Control*, 52, 128–140. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.04.005>
- Hatchett, R. (2017). Cardiac monitoring and the use of a systematic approach in interpreting electrocardiogram rhythms. *Nursing Standard*, 32(11), 51–63. <https://doi.org/10.7748/ns.2017.e11002>
- Jarvis S, S. S. (2018). *Cardiac system 1: anatomy and physiology*.
- Jo, T. (2021). *Machine Learning Foundations: Supervised, Unsupervised, and Advanced Learning* (1^a ed). Switzerland: Springer.
- Krishnan, S. (2021). *Biomedical Signal Analysis for Connected Healthcare* (Vol. 4).
- López, R. (2018). Deep Learning - Libro online de IAAR. Retrieved August 12, 2021, from <https://iaarbook.github.io/deeplearning/>
- Macrovector. (2022). Arquitectura.
- Miikkulainen, R. (2017). Topology of a Neural Network. *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*, pp. 1281–1281. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7687-1_843

- Mini 360 MP2307 Convertidor DC Step Down 3A - UNIT Electronics. (n.d.). Retrieved April 7, 2022, from <https://uelectronics.com/producto/step-down-mini-360-regulador-mini360-dc-dc-buck-convertidor-step-down-modulo-4-75v-23v-to-1v-17v/>
- Módulo AD8232 ECG Sensor Pulso Cardíaco - AV Electronics. (2022). Retrieved April 6, 2022, from <https://avelectronics.cc/producto/modulo-ad8232-ecg-sensor-pulso-cardiaco/>
- Modulo ADC ADS1115. (2021). Retrieved April 7, 2022, from <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/394-modulo-adc-ads1115.html>
- MP2307 | 3A, 23V, 340KHz Synchronous Rectified Step-Down Converter | MPS. (n.d.). Retrieved April 7, 2022, from <https://www.monolithicpower.com/en/mp2307.html>
- Patel, J., & Goyal, R. (2008). Applications of Artificial Neural Networks in Medical Science. *Current Clinical Pharmacology*, 2(3), 217–226. <https://doi.org/10.2174/157488407781668811>
- Perdomo, N. A. C. (2010). CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XXXV , Número 3 PROCESO DE INTEGRACIÓN DE LA GESTIÓN DE LA CIENCIA , LA (System to calculate the effectiveness and efficiency of the integration process of the science management , technological innovation and the environment i. *CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XXXV, Número 3 Julio-Septiembre 2010 SISTEMA*, 1.
- Perumalla, C. A., & Gitlin, R. A. (2017). *Machine Learning and Adaptive Signal Processing Methods for Electrocardiography Applications*. (10601727), 91.
- Pi, R. (2020). Raspberry Pi 4 Computer Model B. *Raspberrypi.Org*, (May), 1–6. Retrieved from www.raspberrypi.org
- Quintero, C., Merchán, F., Cornejo, A., & Galán, J. S. (2018). Uso de Redes Neuronales Convolucionales para el Reconocimiento Automático de Imágenes de Macroinvertebrados para el Biomonitorio Participativo. *KnE Engineering*, 3(1), 585. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1462>
- Raspberry Pi para la industria – Raspberry Pi. (2021). Retrieved March 24, 2022, from <https://www.raspberrypi.com/for-industry/>
- Rodriguez, E., & Castellanos, F. (2013). *Algunos aspectos de la actividad eléctrica en el tejido cardíaco utilizando elementos finitos* (Vol. 53). Universidad EAFIT, Medellín.
- Sacristán, L. (2019). Samsung Galaxy A30s: características, precio y ficha técnica.
- Steers, R. M., & Osland, J. S. (2019). Mechanical Design Engineering Handbook. In *Management across Cultures* (2nd ed.). <https://doi.org/10.1017/9781108681209.011>
- Tarjeta de Captura de Ritmo Cardíaco AD8232 | SANDOROBOTICS. (2019). Retrieved April 6, 2022, from <https://sandorobotics.com/producto/sen-12650/>
- Toshinori, M. (2008). *Fundamentals of the new Artificial Intelligence* (2^a ed). Cleveland: Springer.
- Tosini, M., Leiva, L., Vázquez, M., Goñi, O., & TOLOZA, J. (2021). *XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación 772*. 772–776.
- Utmel, E. (2021). Difference between ADS1115 and ADS1015 ADS1115 VS ADS1015.
- Wahyudi, W. T., Karyanto, S., Si, M. T., Antosia, M., & Si, S. (2016). *Rancang Bangun Alat Resistivitas Berbasis Arduino Menggunakan Modul ACS712 dan ADS1115*. 1–7.
- Walter, B., Daly, J., & Bondurant, S. (1962). Effects of oxygen breathing on the heart rate , blood pressure , and cardiac index of normal men-resting , with reactive hyperemia , and after

atropine. *Journal of Clinical Investigation*, 41(1), 126–132.

Weber, B. (2019). MATLAB vs Python: Why and How to Make the Switch.

Yan, G. X. (2020). Management of cardiac arrhythmia. In P. P. Toth (Ed.), *Clinical Medicine, Journal of the Royal College of Physicians of London* (3^a ed, Vol. 8). <https://doi.org/10.7326/0003-4819-137-3-200208060-00027>

ANEXOS

Anexo 1: Entrevista realizada al Dr. Fernando Cruz Cevallos

Fecha: 27/01/2022

Nombre del Entrevistado: Dr. Fernando Cruz Cevallos

Objetivo: Conocer los requerimientos de salida y de entrada con el propósito de desarrollar un prototipo de monitoreo remoto de arritmias cardiacas basado en el procesamiento de señales con Deep Learning.

PREGUNTAS:

1.- ¿Qué tipo de electrodos son usados para realizar un electrocardiograma?

Utilizamos los electrodos precordiales, superficiales del lado izquierdo, del lado derecho y del centro.

2.- ¿Donde se ubican los electrodos para monitorear las señales eléctricas del corazón?

Utilizamos los focos del lado derecho para las cavidades derechas a nivel del foco pulmonar derecho al izquierdo a nivel del ventrículo izquierdo y en el adjunto o en el apiz al corazón por la quinta costilla a nivel del pezón.

3.- ¿Cuenta con pacientes que sufren enfermedades cardiovasculares como bradicardia y taquicardia?

Sí, estamos en control constante y diario de este tipo de pacientes porque parte de la rutina en el examen físico es monitorizar la frecuencia cardiaca.

4.- ¿Que datos Ud. cree que son importantes para llevar el registro de un paciente en una aplicación móvil?

En una aplicación móvil ser el nombre del paciente, la edad, numero de cedula. Pienso que solamente que una cosa así tan fácil se puede llevar un monitoreo móvil.

Anexo 2: Datasheet módulo AD8232



Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End

Data Sheet

AD8232

FEATURES

- Fully integrated single-lead ECG front end
- Low supply current: 170 μ A (typical)
- Common-mode rejection ratio: 80 dB (dc to 60 Hz)
- Two or three electrode configurations
- High signal gain ($G = 100$) with dc blocking capabilities
- 2-pole adjustable high-pass filter
- Accepts up to ± 300 mV of half cell potential
- Fast restore feature improves filter settling
- Uncommitted op amp
- 3-pole adjustable low-pass filter with adjustable gain
- Leads off detection: ac or dc options
- Integrated right leg drive (RLD) amplifier
- Single-supply operation: 2.0 V to 3.5 V
- Integrated reference buffer generates virtual ground
- Rail-to-rail output
- Internal RFI filter
- 8 kV HBM ESD rating
- Shutdown pin
- 20-lead 4 mm \times 4 mm LFCSP package

APPLICATIONS

- Fitness and activity heart rate monitors
- Portable ECG
- Remote health monitors
- Gaming peripherals
- Biopotential signal acquisition

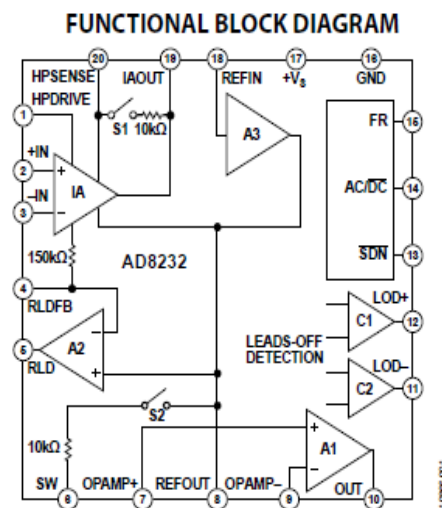


Figure 1.

Anexo 3: Datasheet módulo ADS1115



www.ti.com

SBAS444A – MAY 2009 – REVISED AUGUST 2009

ADS1113
ADS1114
ADS1115

Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference

Check for Samples: [ADS1113](#) [ADS1114](#) [ADS1115](#)

FEATURES

- **ULTRA-SMALL QFN PACKAGE:**
2mm × 1,5mm × 0,4mm
- **WIDE SUPPLY RANGE: 2.0V to 5.5V**
- **LOW CURRENT CONSUMPTION:**
Continuous Mode: Only 150µA
Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
- **PROGRAMMABLE DATA RATE:**
8SPS to 860SPS
- **INTERNAL LOW-DRIFT
VOLTAGE REFERENCE**
- **INTERNAL OSCILLATOR**
- **INTERNAL PGA**
- **I²C™ INTERFACE: Pin-Selectable Addresses**
- **FOUR SINGLE-ENDED OR TWO
DIFFERENTIAL INPUTS (ADS1115)**
- **PROGRAMMABLE COMPARATOR
(ADS1114 and ADS1115)**
- **OPERATING TEMPERATURE: –40°C to +140°C**

APPLICATIONS

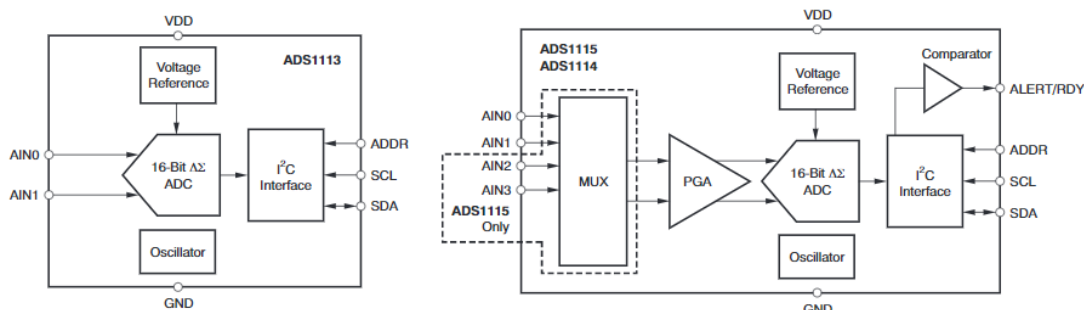
- **PORTABLE INSTRUMENTATION**
- **CONSUMER GOODS**
- **BATTERY MONITORING**
- **TEMPERATURE MEASUREMENT**
- **FACTORY AUTOMATION AND PROCESS
CONTROLS**

DESCRIPTION

The ADS1113, ADS1114, and ADS1115 are precision analog-to-digital converters (ADCs) with 16 bits of resolution offered in an ultra-small, leadless QFN-10 package or an MSOP-10 package. The ADS1113/4/5 are designed with precision, power, and ease of implementation in mind. The ADS1113/4/5 feature an onboard reference and oscillator. Data are transferred via an I²C-compatible serial interface; four I²C slave addresses can be selected. The ADS1113/4/5 operate from a single power supply ranging from 2.0V to 5.5V.

The ADS1113/4/5 can perform conversions at rates up to 860 samples per second (SPS). An onboard PGA is available on the ADS1114 and ADS1115 that offers input ranges from the supply to as low as ±256mV, allowing both large and small signals to be measured with high resolution. The ADS1115 also features an input multiplexer (MUX) that provides two differential or four single-ended inputs.

The ADS1113/4/5 operate either in continuous conversion mode or a single-shot mode that automatically powers down after a conversion and greatly reduces current consumption during idle periods. The ADS1113/4/5 are specified from –40°C to +125°C.



Anexo 4: Datasheet módulo AMS1117

Advanced Monolithic Systems

AMS1117

1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR

RoHs Compliant

FEATURES

- Three Terminal Adjustable or Fixed Voltages*
1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V and 5.0V
- Output Current of 1A
- Operates Down to 1V Dropout
- Line Regulation: 0.2% Max.
- Load Regulation: 0.4% Max.
- SOT-223, TO-252 and SO-8 package available

APPLICATIONS

- High Efficiency Linear Regulators
- Post Regulators for Switching Supplies
- 5V to 3.3V Linear Regulator
- Battery Chargers
- Active SCSI Terminators
- Power Management for Notebook
- Battery Powered Instrumentation

GENERAL DESCRIPTION

The AMS1117 series of adjustable and fixed voltage regulators are designed to provide up to 1A output current and to operate down to 1V input-to-output differential. The dropout voltage of the device is guaranteed maximum 1.3V, decreasing at lower load currents.

On-chip trimming adjusts the reference voltage to 1.5%. Current limit is set to minimize the stress under overload conditions on both the regulator and power source circuitry.

The AMS1117 devices are pin compatible with other three-terminal SCSI regulators and are offered in the low profile surface mount SOT-223 package, in the 8L SOIC package and in the TO-252 (DPAK) plastic package.

ORDERING INFORMATION:

PACKAGE TYPE			OPERATING JUNCTION TEMPERATURE RANGE
TO-252	SOT-223	8L SOIC	
AMS1117CD	AMS1117	AMS1117CS	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.5	AMS1117-1.5	AMS1117CS-1.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.8	AMS1117-1.8	AMS1117CS-1.8	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.5	AMS1117-2.5	AMS1117CS-2.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.85	AMS1117-2.85	AMS1117CS-2.85	-40 to 125° C
AMS1117CD-3.3	AMS1117-3.3	AMS1117CS-3.3	-40 to 125° C
AMS1117CD-5.0	AMS1117-5.0	AMS1117CS-5.0	-40 to 125° C

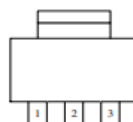
*For additional available fixed voltages contact factory.

PIN CONNECTIONS

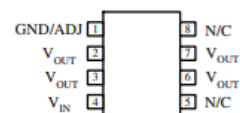
3 PIN FIXED/ADJUSTABLE VERSION

- 1- Ground/Adjust
- 2- V_{OUT}
- 3- V_{IN}

SOT-223 Top View



8L SOIC Top View



TO-252 FRONT VIEW



Anexo 5: Datasheet placa Raspberry Pi 4



Raspberry Pi 4 Model B Datasheet
Copyright Raspberry Pi (Trading) Ltd. 2019

1 Introduction

The Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) is the first of a new generation of Raspberry Pi computers supporting more RAM and with significantly enhanced CPU, GPU and I/O performance; all within a similar form factor, power envelope and cost as the previous generation Raspberry Pi 3B+.

The Pi4B is available with either 1, 2 and 4 Gigabytes of LPDDR4 SDRAM.

2 Features

2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
 - Up to 6x UART
 - Up to 6x I2C
 - Up to 5x SPI
 - 1x SDIO interface
 - 1x DPI (Parallel RGB Display)
 - 1x PCM
 - Up to 2x PWM channels
 - Up to 3x GPCLK outputs

2.3 Software

- ARMv8 Instruction Set
- Mature Linux software stack
- Actively developed and maintained
 - Recent Linux kernel support
 - Many drivers upstreamed
 - Stable and well supported userland
 - Availability of GPU functions using standard APIs

3 Mechanical Specification

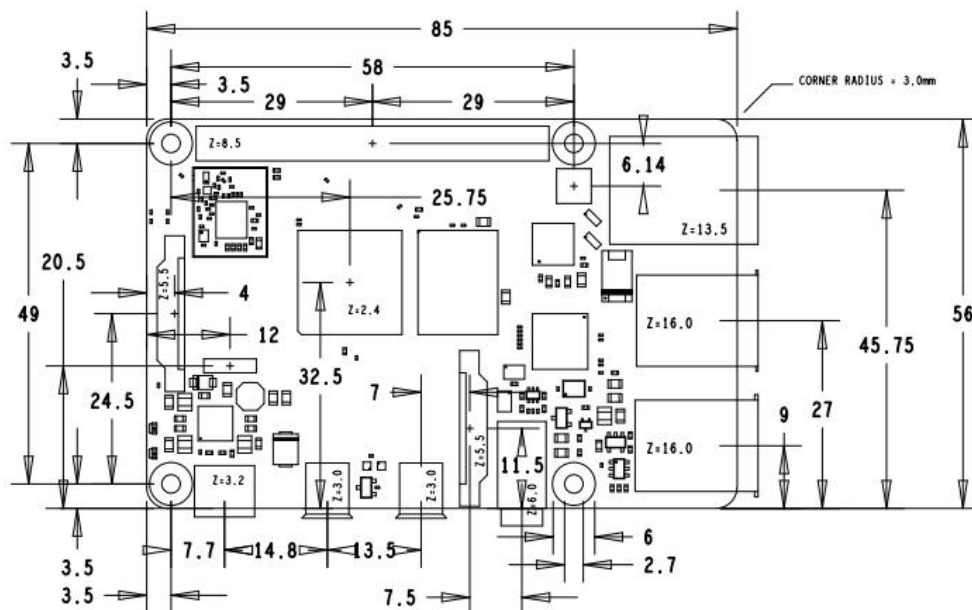


Figure 1: Mechanical Dimensions

4 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 2 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VIN	5V Input Voltage	-0.5	6.0	V

Table 2: Absolute Maximum Ratings

Please note that VDD_IO is the GPIO bank voltage which is tied to the on-board 3.3V supply rail.

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V_{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	-	-	TBD	V
V_{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	TBD	-	-	V
I_{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	TBD	μA
C_{IN}	Input capacitance	-	-	TBD	-	pF
V_{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOL = -2mA	-	-	TBD	V
V_{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOH = 2mA	TBD	-	-	V
I_{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 0.4V	TBD	-	-	mA
I_{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 2.3V	TBD	-	-	mA
R_{PU}	Pullup resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ
R_{PD}	Pulldown resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

Table 3: DC Characteristics

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time ^a	-	TBD	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time ^a	-	TBD	-	ns

^a Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IO = 3.3V

Table 4: Digital I/O Pin AC Characteristics



Figure 2: Digital IO Characteristics

5 Peripherals

5.1 GPIO Interface

The Pi4B makes 28 BCM2711 GPIOs available via a standard Raspberry Pi 40-pin header. This header is backwards compatible with all previous Raspberry Pi boards with a 40-way header.

5.1.1 GPIO Pin Assignments

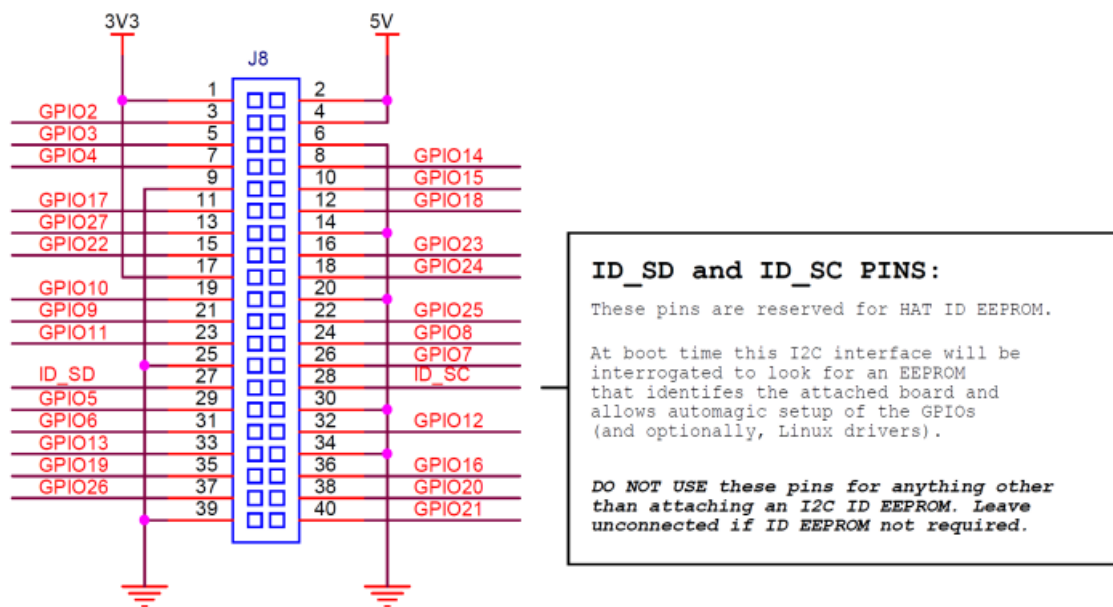


Figure 3: GPIO Connector Pinout

As well as being able to be used as straightforward software controlled input and output (with programmable pulls), GPIO pins can be switched (multiplexed) into various other modes backed by dedicated peripheral blocks such as I2C, UART and SPI.

In addition to the standard peripheral options found on legacy Pis, extra I2C, UART and SPI peripherals have been added to the BCM2711 chip and are available as further mux options on the Pi4. This gives users much more flexibility when attaching add-on hardware as compared to older models.

Anexo 6: Código de la Placa de desarrollo

```

#Librerias
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.animation as animation
import sys
o mantenidas por el intérprete.
import numpy as np
import board
import busio
import time
from time import sleep
from scipy.signal import find_peaks
import mysql.connector
datos
#Librerias de CNN
import tfLite_runtime.interpreter as tflite
Tensorflow
import argparse
lectura amigable

#Comunicación I2C
i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
import adafruit_ads1x15.ads1115 as ADS
from adafruit_ads1x15.analog_in import AnalogIn
ads = ADS.ADS1115(i2c)

# Parametros de Ploteado
x_len = 200
y_range = [0, 4]

# Crear figura para trazar
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(1, 1, 1)
pero suponiéndolo en una matriz de columnas y filas
xs = list(range(0, 200))
ys = [0] * x_len

#Librería de ploteo para gráficos
#Librería de ploteo con animaciones complejas
#Este módulo provee acceso a algunas variables usadas

#Librería para el cálculo numérico y análisis de datos
#Librería que trabaja con los pines GPIO
#Librería que trabaja con buses de comunicación
#Librería estándar que proporciona fechas y horas
#Librería estándar que proporciona fechas y horas
#Librería para el procesamiento de señales
#Permite que un programa de Python accede a la base de

#Librería que permite la lectura de un modelo en

#Modulo que define argumentos o paquetes para una

#Lectura de pines I2C "SCL SDA"
#Liberia de lectura del módulo I2C 1115
#Modulo de lectura analogica
#Nombramiento de modulo

#Parámetros en X
#Parámetros en Y

#Propiedades de un figura
#Parámetro que añade un conjunto de ejes a la misma

#Estructura de datos
#Asignación de un nuevo valor para graficacion

```



```

ax.set_ylim(y_range)                                #Límites del rango de una figura

# Cree de una línea en blanco que se actualiza
line, = ax.plot(xs, ys)

# Agregar etiquetas
plt.title('ECG')                                    #Etiqueta de título
plt.xlabel('Samples')                               #Etiqueta del eje x
plt.ylabel('Pulsos ')                              #Etiqueta del eje y

data=[]
y = 0.0                                             #Creación de un vector vacío
alpha = 0.5                                         #Declaración e inicialización de variable en "0"
s = 0.0                                             #Declaración e inicialización de variable en "0.5"
max_position=0                                     #Declaración e inicialización de variable en "0"
max_position1=0                                    #Declaración e inicialización de variable en "0"
aux_seleccion=0                                    #Declaración e inicialización de variable en "0"
aux_autent=0                                       #Declaración e inicialización de variable en "0"

#Conexion a base de datos
db=mysql.connector.connect(user='rnauser', password='rnauser', host='localhost', database='rnadb')
#Interaccion con base de datos Usuario, Password, Host, Nombre de la base de datos
cursor=db.cursor()                                #Asigna un objeto a la conexión con la base de datos

# Funcion que se llama periodicamente FuncAnimation
def animate(i, ys):                                #Modulo que trabaja en funciones de graficacion
    complejas

    size=1000                                       #Declaración e inicialización de variable en "1000"
    for i in range(size):                           #Bucle para recorrer elementos de un objeto

        chan = AnalogIn(ads, ADS.P0)               #Lectura del puerto analógico con dirección "0"
        ecg=chan.voltage                            #Asignación de valor obtenido

        y=(2.5)-(ecg)                               #
        z=np.array(ys[-1:])                         #Función de filtrado de EMA
        s=(alpha*y)+((1-alpha)*z)                  #

```

```

        ys.append(s)
        #nuevoDato= chan.voltage
        data.append(float(s))

    x=np.array(data)

    ys = ys[-x_len:]
obtenidos
    line.set_ydata(ys)

    aux_w=data[0:500]
    w=x[0:187]
    print(len(w))
    #print(aux_w)

    p=np.array([w])
    p.shape
obtencion de la dimension del objeto
    a_add_dimension = (np.expand_dims(p,axis=-1))
    a_add_dimension.shape
obtencion de la dimension del objeto
    peaks, _ = find_peaks(x, distance=16)
    distancias = np.diff(peaks)
    media = np.mean(distancias)
    bpm = (x.size/media)/(x.size/1500)
    print(distancias)
    #print(peaks.size, end='\n')
    #plt.plot(data)
    print(bpm)
    #plt.plot(peaks, x[peaks], "x")
    data.clear()
    print(p.T)

print("FIN")
#Concatenado de valores obtenidos
#Asignación y concatenado a una nueva variable
#Transformación de datos a un array
#Función de cálculo para graficar con los datos
#
#Toma de muestra para análisis
#
#Impresión de longitud de vector

#Transformación de datos de un vector a un array
#Devuelve el valor del array en forma de tupla para la
#Añade un dimensión al vector
#Devuelve el valor del array en forma de tupla para la
#Obtención de picos que se encuentran en una grafica
#Obtención de la distancia entre picos
#Obtención de la media de las distancias
#Función de cálculo de los BPM
#Impresión de las distancias

#Impresion de los BPM

#Función de borrado de datos para un nuevo calculo
#Impresión de vector con su transpuesta

```

```

#Modelo Red Neuronal
if __name__ == '__main__':
    Python lee código fuente de un archivo, ejecuta todo el código dentro del mismo
    parser = argparse.ArgumentParser() #Cada vez que el intérprete de
    sintactico #Creación de un analizador
    parser.add_argument(
        '-i',
        '--image',
        #default='/tmp/grace_hopper.bmp',
        help='ecg to be classified')
    parser.add_argument( #Llamado de argumentos para la
        '-m', #Modelo
        '--model_file', #Archivo del modelo
        default='/home/pi/Documents/ECG/ecg_arrhythmia.tflite', #Nombre del modelo
        help='.tflite model to be executed') #Extension del modelo
    parser.add_argument(
        '--input_mean',
        default=127.5, type=float,
        help='input_mean')
    parser.add_argument(
        '--input_std',
        default=127.5, type=float,
        help='input standard deviation')
    parser.add_argument(
        '--num_threads', default=None, type=int, help='number of threads')
    args = parser.parse_args() #Información almacenada y guardada
    interpreter = tflite.Interpreter(model_path=args.model_file) #Interprete de tensorflow lite
    llamando por el nombre al modelo
    interpreter.allocate_tensors() #Asignación de metodo de llamado
    del interprete

    input_details = interpreter.get_input_details() #Obtención de los elementos de
    requeridos a la entrada por el interprete lite

    output_details = interpreter.get_output_details() #Obtención de los elementos de
    salida como resultado del interprete lite

```

```

    input_shape = input_details[0]['shape']
de entrada al interprete
    print(input_shape)
de entrada al interprete

    input_data = np.array(a_add_dimension.T, dtype=np.float32)
entrada del interprete de tensorflow

    print(input_data)
    interpreter.set_tensor(input_details[0]['index'], input_data)
la entrada del interprete lite

    interpreter.invoke()
interprete para realizar el calculo
    output_data = interpreter.get_tensor(output_details[0]['index'])
salida del interprete
    print(output_data)
clasificacion
    #print(output_data.argmax())
    aux_output=max(max(output_data))
clasificacion

    if aux_output >0.80:
para la clasificacion
        #print(output_data.argmax())
        max_position=output_data.argmax()
        print(max_position)

    else:
        max_position=1

    #print(max_position)

    aux_bpm=663
#Datos de envio a la base de datos

```

#Obtención de la forma del vector

#Impresión de la forma del vector

#Asignación de valores a la

#Impresión de la entrada de datos

#Establece un valor de tensor para

#Invoca a la función del

#Obtención de los valores de

#Impresión de resultado de la

#Calculo del máximo valor de la

#Parámetros de exactitud tomados

#

#Ubicación del valor máximo

#Impresión del valor máximo

#Cuando no existe una lectura

```

    aux=str(aux_w) #Transformación de datos a formato
string

    aux_valor=str(bpm) #Transformación de datos a formato
string
    aux_estado=str(max_position) #Transformación de datos a formato
string
    test=("UPDATE pulsos SET data='"+aux+"', valor="+aux_valor+", estado="+aux_estado+" WHERE pulsos.id=1")
#Concatenado de valores y asignacion a la base de datos
    cursor.execute(test)
#Funcion que ejecuta la funcion de concatenado
    db.commit()
#Funcion que permite la transicion a la base de datos
    return line,
#Termina la funcion periodica

ani = animation.FuncAnimation(fig,animate,fargs=(ys,),interval=10,blit=True)
#Funcion que realiza llamados de forma repetitiva
plt.show()

```

Anexo 7: Código de la aplicación móvil

```
#Librerías usadas en el desarrollo de la aplicación móvil

import { FontAwesome } from '@expo/vector-icons';

import { createBottomTabNavigator } from '@react-navigation/bottom-
tabs';

import { NavigationContainer, DefaultTheme, DarkTheme } from
 '@react-navigation/native';

import { createNativeStackNavigator } from '@react-
navigation/native-stack';

import * as React from 'react';

import { ColorSchemeName, Pressable } from 'react-native';

import Colors from '../constants/Colors';
import useColorScheme from '../hooks/useColorScheme';
import ModalScreen from '../screens/ModalScreen';
import NotFoundScreen from '../screens/NotFoundScreen';
import TabOneScreen from '../screens/TabOneScreen';
import TabTwoScreen from '../screens/TabTwoScreen';

import { RootStackParamList, RootTabParamList, RootTabScreenProps }
from '../types';

import LinkingConfiguration from './LinkingConfiguration';

export default function Navigation({ colorScheme }: { colorScheme:
ColorSchemeName }) {

  return (

    <NavigationContainer

      linking={LinkingConfiguration}

      theme={colorScheme === 'dark' ? DarkTheme : DefaultTheme}>

      <RootNavigator />

    </NavigationContainer>

  );

}

/**
```

```
# Creación de un navegador de pila raíz que se usa a menudo para mostrar
modales sobre el resto del contenido.
```

```
* https://reactnavigation.org/docs/modal
```

```
*/
```

```
const Stack = createNativeStackNavigator<RootStackParamList>();
```

```
function RootNavigator() {
```

```
  return (
```

```
    <Stack.Navigator>
```

```
      <Stack.Screen name="Root" component={BottomTabNavigator}
options={{ headerShown: false, title: 'RnaApp' }} />
```

```
      <Stack.Screen name="NotFound" component={NotFoundScreen}
options={{ title: 'Oops!' }} />
```

```
      <Stack.Group screenOptions={{ presentation: 'modal' }}>
```

```
        <Stack.Screen name="Modal" options={{ title: 'Historial' }}
component={ModalScreen} />
```

```
      </Stack.Group>
```

```
    </Stack.Navigator>
```

```
  );
```

```
}
```

```
/**
```

```
# Cracion de botones de pestañas en la parte inferior de la pantalla para
cambiar de pantalla
```

```
* https://reactnavigation.org/docs/bottom-tab-navigator
```

```
*/
```

```
const BottomTab = createBottomTabNavigator<RootTabParamList>();
```

```
function BottomTabNavigator() {
```

```
  const colorScheme = useColorScheme();
```

```
  return (
```

```
    <BottomTab.Navigator
```

```

initialRouteName="TabOne"
screenOptions={{
  tabBarActiveTintColor: Colors[colorScheme].tint,
  title:''

}}>
<BottomTab.Screen
  name="TabOne"
  component={TabOneScreen}
  options={({ navigation }: RootTabScreenProps<'TabOne'>) =>
({
  title: 'Inicio',
  tabBarIcon: ({ color }) => <TabBarIcon name="home"
color={color} />,
  headerRight: () => (
    <Pressable
      onPress={() => navigation.navigate('Modal')}
      style={({ pressed }) => ({
        opacity: pressed ? 0.5 : 1,
      })}>
      <FontAwesome
        name="bar-chart"
        size={25}
        color={Colors[colorScheme].text}
        style={{ marginRight: 15 }}
      />
    </Pressable>
  ),
)}}
/>
<BottomTab.Screen
  name="TabTwo"
  component={TabTwoScreen}

```



```

        options={{
          title: 'Ingresar',
          tabBarIcon: ({ color }) => <TabBarIcon name="user-plus"
color={color} />,
        }}
      />
    </BottomTab.Navigator>
  );
}

/**
#Exploracion de las familias de íconos integrados y los íconos en la web

*/
function TabBarIcon(props: {
  name: React.ComponentProps<typeof FontAwesome>['name'];
  color: string;
}) {
  return <FontAwesome size={30} style={{ marginBottom: -3 }}
{...props} />;
}

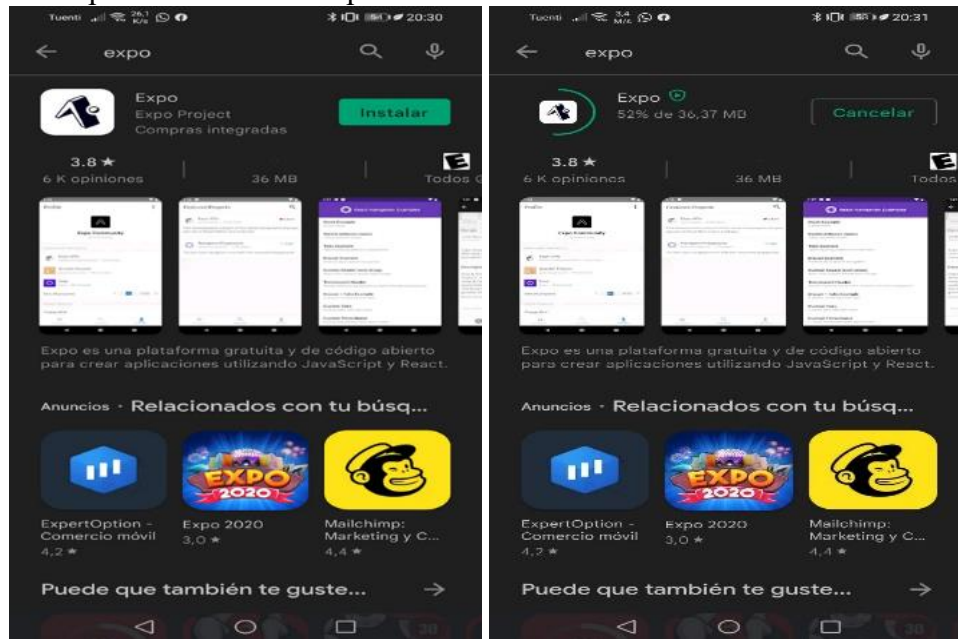
# Ingrese la direccion ip de la placa de desarrollo para establecer
la coneccion.

const UrlBase='http://192.168.0.106/';
export default UrlBase;

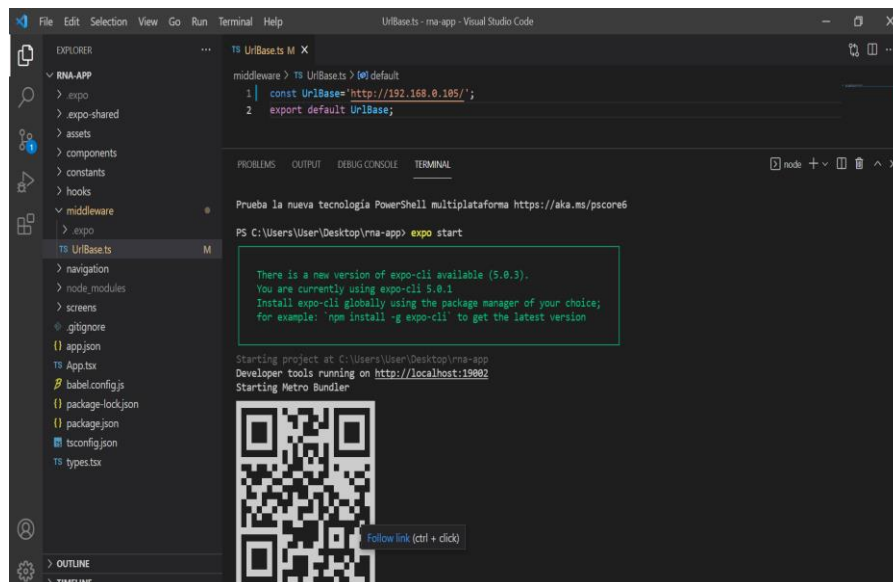
```

Anexo 8: Resultados de prueba de la aplicación móvil “Expo”

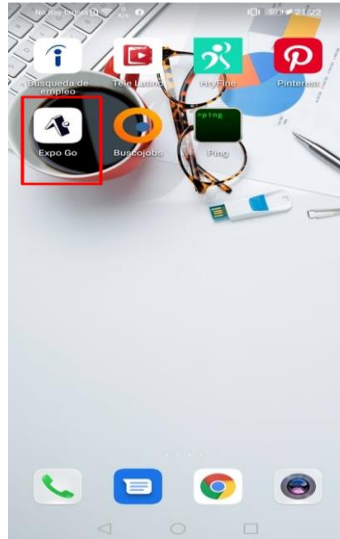
Instalación de aplicación móvil “Expo”



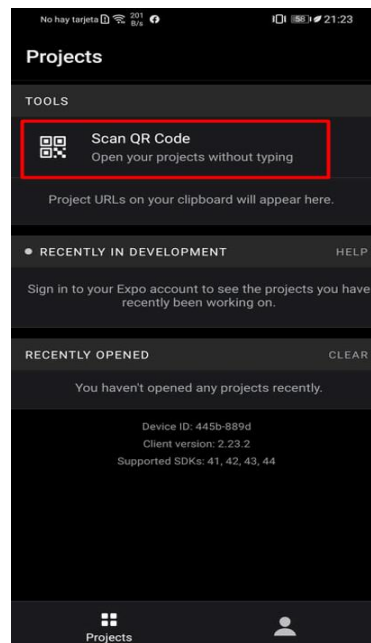
Generación de código QR en Visual Studio.



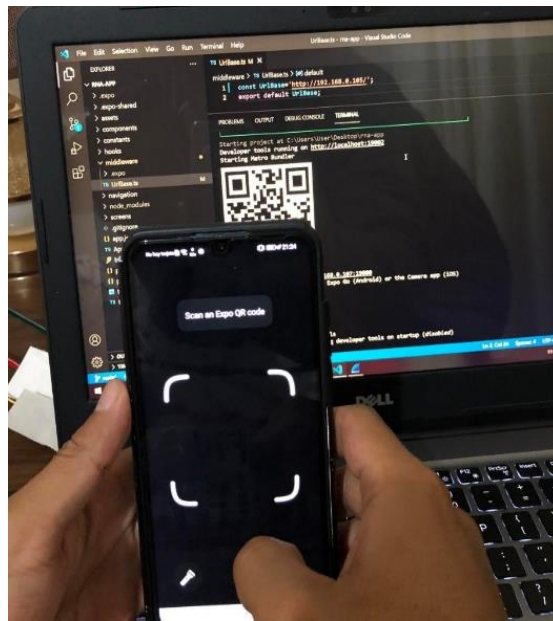
Ejecución de aplicación “Expo”



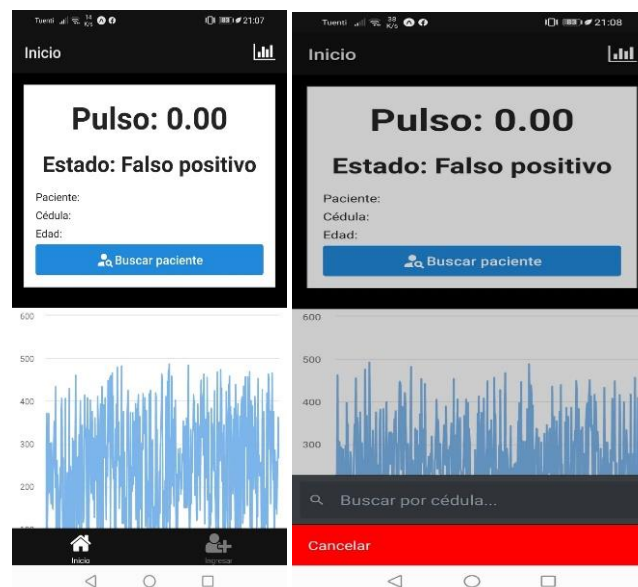
Inicio de escaneo de Código QR en la aplicación “Expo”



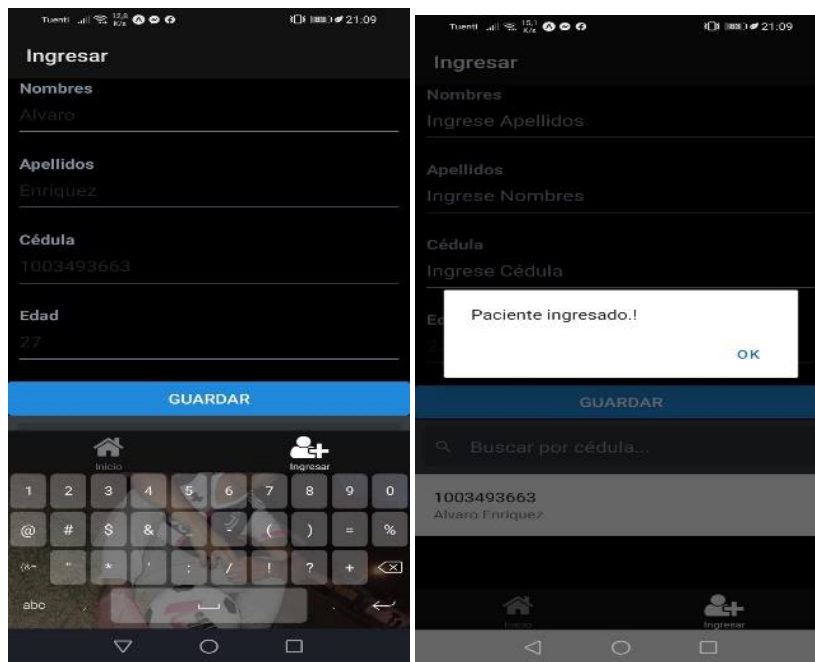
Enfoque de código QR desde la aplicación “Expo”



Pantalla de inicio de aplicación “Expo”



Registro de nuevo paciente en la aplicación “Expo”



Toma de medición de ritmo cardiaco

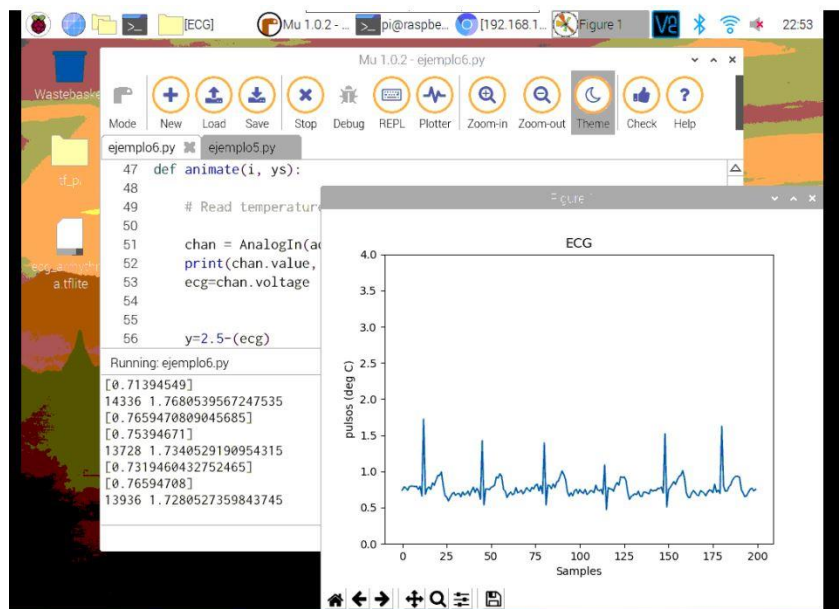


Consulta de paciente registrado



Anexo 9: Resultados de pruebas de adquisición de datos y clasificación de arritmias cardiacas.

Adquisición de datos del sensor con la placa Raspberry y el sensor de ritmo cardiaco.



Señal de entrada para la clasificación de la red neuronal.

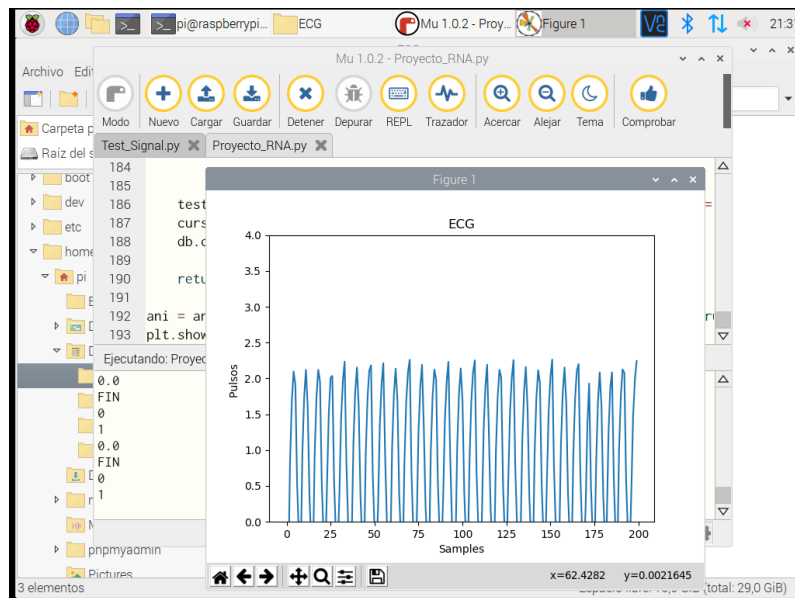
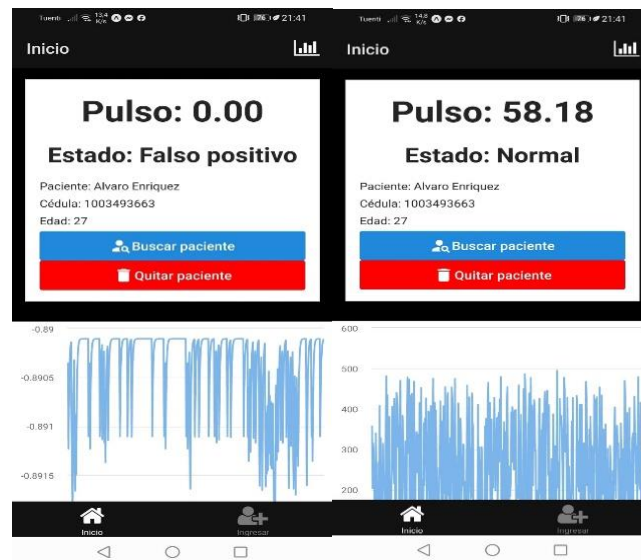


Imagen en tiempo real en la placa de desarrollo Raspberry (izquierda) y en la aplicación móvil "Expo" (derecha).



Comprobación de la clasificación de acuerdo con los estados programados en la red neuronal.



Presentación de ritmo cardiaco medido en la aplicación móvil "Expo".



Datos de paciente registrado en la base de datos.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface with the 'pacientes' table selected. The table contains the following data:

	id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
	1	2022-01-21 02:09:27	2022-01-21 02:09:27	Alvaro	Enriquez	1003493663	27
	2	2022-01-21 02:24:48	2022-01-21 02:24:48	Selene	Pinango	100986543	27
	3	2022-01-27 02:40:49	2022-01-27 02:40:49	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1004802455	29
	4	2022-01-28 17:06:01	2022-01-28 17:06:01	Ibujes	Patricio	1001777100	54

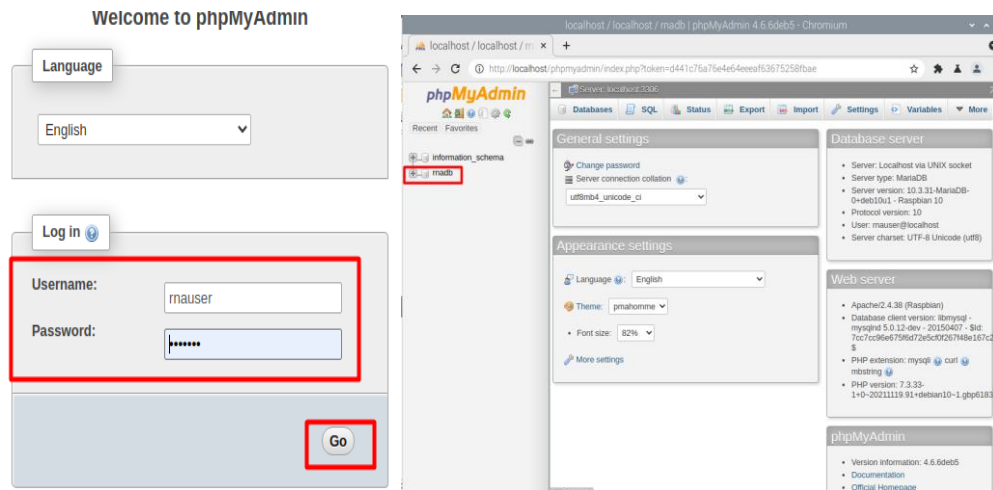
Anexo 10: Resultados de pruebas de funcionamiento de la base de datos.

Acceso de forma rápida mediante url a la base de datos.

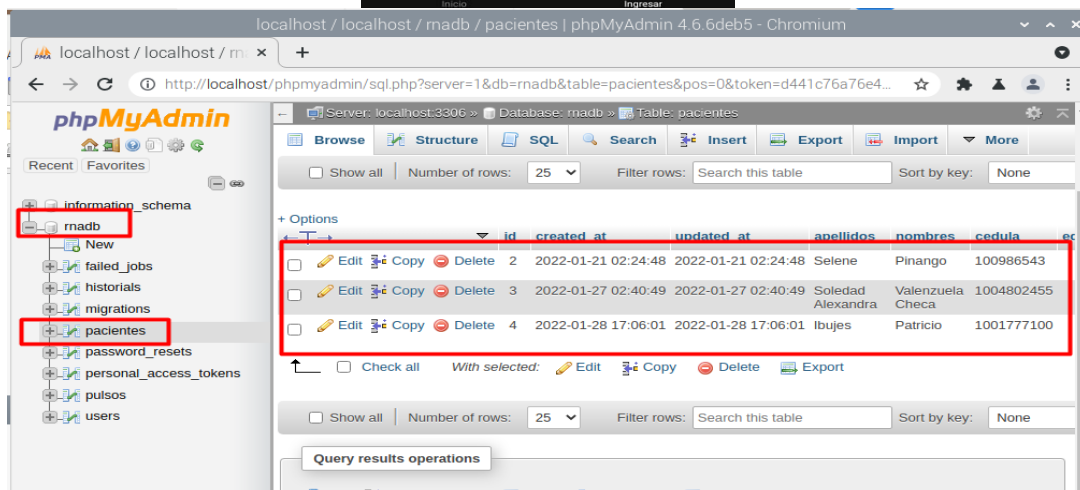
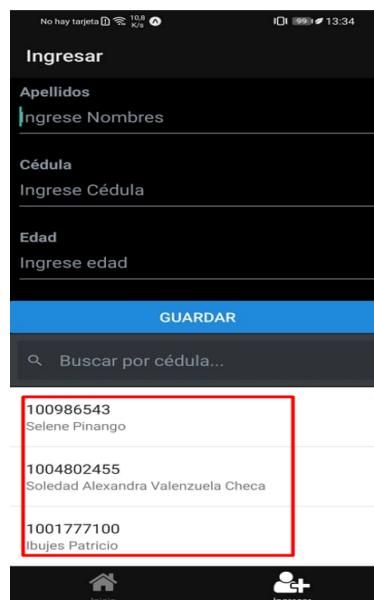
The screenshot shows the phpMyAdmin login page. The URL in the browser address bar is `http://localhost/phpmyadmin/`. The page features a language dropdown menu set to 'English' and a login form with the following fields:

- Username: `mrauser`
- Password: `*****`
- A 'Go' button to submit the login information.

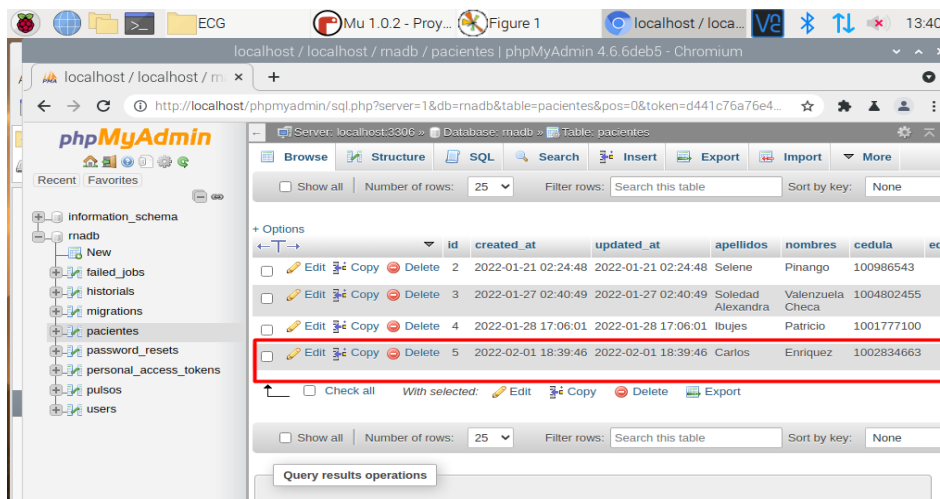
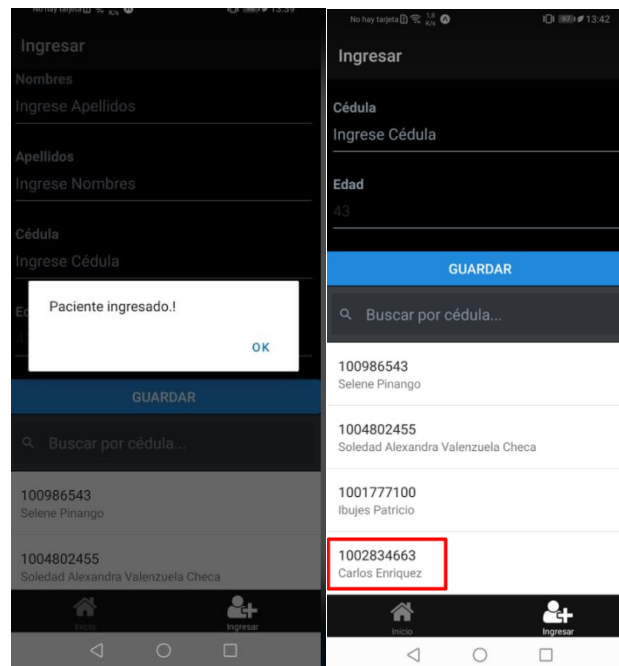
Autenticación mediante usuario y contraseña



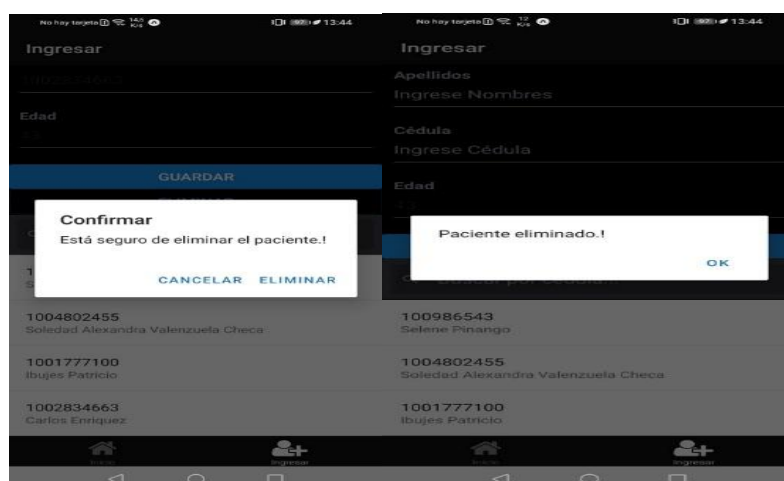
Ingreso de datos en la aplicación móvil “Expo” y comprobación del correcto almacenamiento en la base de datos.



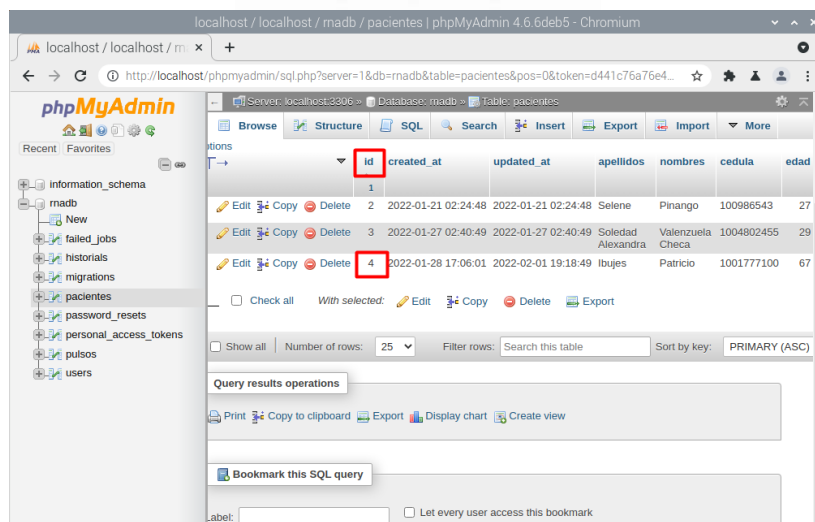
Almacenamiento de datos en tiempo real en la aplicación móvil.

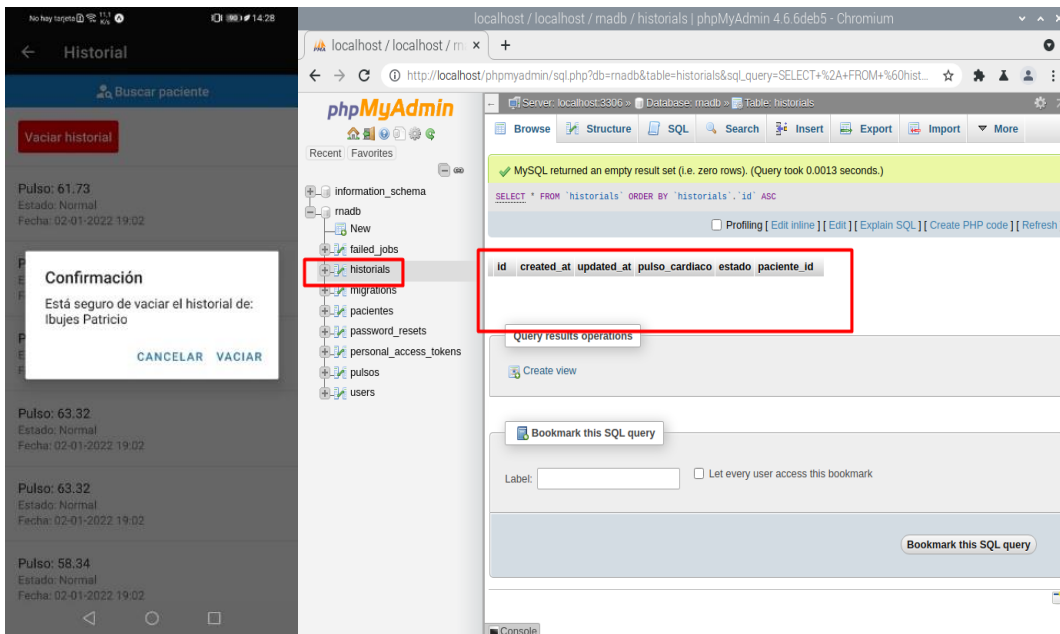


Eliminación del historial médico en la aplicación móvil “Expo” y en la base de datos



Eliminación de historial médico desde la aplicación móvil “Expo” y posterior verificación que se eliminó de la base de datos





Anexo 11: Resultados de pruebas de intercambio de datos del sistema de clasificación de arritmias cardiacas

Direccionamiento
 IP: PC 192.168.0.107

```

Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:

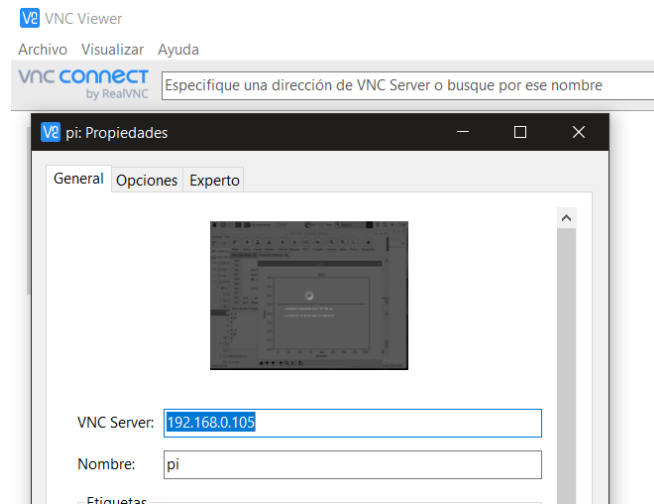
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Vínculo: dirección IPv6 local. . . : fe80::e5d1:46b5:fd11:8b11%57
Dirección IPv4. . . . . : 192.168.0.107
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.0.1

C:\Users\User>
    
```

IP: Celular 192.168.0.100



IP: RASPBERRY 192.168.0.105



Capa física: Contiene una descripción general del marco de datos, donde se puede visualizar como se realiza el envío de paquetes mediante bits.

Capa Enlace de Datos: Es la encargada de establecer la comunicación entre las tramas de 2 dispositivos, además de corregir errores. En este paso podemos encontrar las direcciones MAC.

Capa de red (o la capa de Internet en TCP / IP): Es la encargada de determinar la mejor ruta hacia el destino del paquete ip

Capa Transporte: Establece y garantiza la conexión de extremo a extremo en forma de segmento, puede ser TCP /UDP

Capa Aplicación: Es la encargada de mostrar los servicios de red o la aplicación en forma de datos.

The image shows a Wireshark network capture of HTTP traffic. The packet list pane displays the following data:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
142	1.559648	192.168.0.1	192.168.0.107	HTTP	391	HTTP/1.1 500 Internal Server Error (text/html)
23	21.660273	77.234.46.107	192.168.0.107	HTTP	395	HTTP/1.1 200 OK
23	21.664310	192.168.0.107	77.234.46.107	HTTP	360	GET /R/A3sKIDHh2UjmgfK0NFkzRmG3hM1ZjUzYjh1MjeYzFegQEAQ1iG1QCTgEAWggIB8Cn4-eXASoICAWQ2p2
74	66.687780	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	661	GET / HTTP/1.1
80	76.709048	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	661	GET / HTTP/1.1
86	84.089665	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	862	HTTP/1.1 200 OK
86	84.149257	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	255	GET /assets/assets/images/icon.png HTTP/1.1
86	84.189217	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	840	HTTP/1.1 200 OK (PNG)
86	84.209891	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	257	GET /assets/assets/images/splash.png HTTP/1.1
86	84.277886	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	986	HTTP/1.1 200 OK (PNG)
87	84.300847	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	179	GET /status HTTP/1.1
87	84.301462	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	381	HTTP/1.1 200 OK
87	84.511495	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	284	GET /node_modules%5Cexpo%5CAppEntry.bundle?platform=android&dev=true&hot=false&minify=false HT
87	84.511495	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	362	GET /message/device=WAR-LX3A%20-%2010%20-%20AP1%2029%20app=host.exp.exponent&clientid=DevSupport
87	84.511969	192.168.0.100	192.168.0.107	HTTP	338	GET /inspector/device=name=WAR-LX3A%20-%2010%20-%20AP1%2029%20app=host.exp.exponent HTTP/1.1
87	84.514548	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	183	HTTP/1.1 101 Switching Protocols
87	84.518260	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP	183	HTTP/1.1 101 Switching Protocols
16	93.411699	192.168.0.107	192.168.0.100	HTTP/JSON/JSON/JS...	1483	HTTP/1.1 200 OK , JavaScript Object Notation (application/json), JavaScript Object Notation (a

The packet details pane for frame 7447 shows the following layers:

- Frame 7447: 661 bytes on wire (5288 bits), 661 bytes captured (5288 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-4180-8C1A-E898F3087958}, id 0 **Capa 1, Física**
- Ethernet II, Src: HuaweiTe_7e:de:93 (e4:fd:al:7e:de:93), Dst: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71) **Capa 2, Enlace de Datos**
- Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.100, Dst: 192.168.0.107 **Capa 3, Red**
- Transmission Control Protocol, Src Port: 36880, Dst Port: 19000, Seq: 1, Ack: 1, Len: 607 **Capa 4, Transporte**
- Hypertext Transfer Protocol **Capa Aplicacion**

En la imagen se observa los 42 bytes que han sido capturados, además el medio de comunicación que en este caso es ethernet, su tamaño de la trama, y su protocolo a nivel de capa física.

```

<
v Frame 4: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41BD-8C1A-E898F30B7958}, ^
  > Interface id: 0 (\Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41BD-8C1A-E898F30B7958})
    Encapsulation type: Ethernet (1)
    Arrival Time: Feb  1, 2022 15:11:15.295137000 Hora est. Pacifico, Sudamérica
    [Time shift for this packet: 0.000000000 seconds]
    Epoch Time: 1643746275.295137000 seconds
    [Time delta from previous captured frame: 0.000053000 seconds]
    [Time delta from previous displayed frame: 0.000053000 seconds]
    [Time since reference or first frame: 0.000442000 seconds]
    Frame Number: 4
    Frame Length: 42 bytes (336 bits)
    Capture Length: 42 bytes (336 bits)
    [Frame is marked: False]
    [Frame is ignored: False]
    [Protocols in frame: eth:ethertype:arp]
    [Coloring Rule Name: ARP]
    [Coloring Rule String: arp]
  <
  
```

El router envía un paquete de broadcast para conocer los dispositivos que se encuentran conectados en la misma red.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
49	0.502976	HonHaiPr_a2:f9:71	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.0.254? Tell 192.168.0.107
50	0.502989	HonHaiPr_a2:f9:71	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.0.245? Tell 192.168.0.107
51	0.503032	HonHaiPr_a2:f9:71	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.0.243? Tell 192.168.0.107
52	0.652607	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	468	NOTIFY * HTTP/1.1
53	0.652607	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	469	NOTIFY * HTTP/1.1
54	0.652607	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	532	NOTIFY * HTTP/1.1
55	0.652607	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	524	NOTIFY * HTTP/1.1
56	0.652607	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	469	NOTIFY * HTTP/1.1
57	0.652607	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	508	NOTIFY * HTTP/1.1

```

<
v Frame 49: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41BD-8C1A-E898F30B7958}, id 0
  > Ethernet II, Src: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
    > Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
      Address: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
      ....1. .... = LG bit: Locally administered address (this is NOT the factory default)
      ....1. .... = IG bit: Group address (multicast/broadcast)
    > Source: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71)
      Address: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71)
      ....0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      ....0. .... = IG bit: Individual address (unicast)
    Type: ARP (0x8806)
  > Address Resolution Protocol (request)
    Hardware type: Ethernet (1)
    Protocol type: IPv4 (0x0800)
    Hardware size: 6
    Protocol size: 4
    Opcode: request (1)
    Sender MAC address: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71)
    Sender IP address: 192.168.0.107
    Target MAC address: 00:00:00:00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
    Target IP address: 192.168.0.254
  <
  0000 ff ff ff ff ff d4 6a 6a a2 f9 71 08 06 00 01 .....j j--q----
  0010 08 00 06 04 00 01 d4 6a 6a a2 f9 71 c0 a8 00 6b .....j j--q--k
  0020 00 00 00 00 00 00 c0 a8 00 fe .....
  
```

Nos muestra a nivel de capa enlace de datos, el sentido en la cual se va a realizar la comunicación mediante tramas entre 2 dispositivos, además si la comunicación es unicast (1 a 1) o multicast (1 a varios), donde podemos verificar la dirección MAC del router que es Source (d4:6a:6a:a2:f9:71), y la Destination (ff:ff:ff:ff:ff:ff) se muestra de esta forma ya que se envió un paquete de broadcast.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
48	0.502933	HonHaiPr_a2:f9:71	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.0.244? Tell 192.168.0.107

```

<
v Frame 36: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41BD-8C1A-E898F30B7958}, id 0
  > Ethernet II, Src: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
    > Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
      Address: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
      ....1. .... = LG bit: Locally administered address (this is NOT the factory default)
      ....1. .... = IG bit: Group address (multicast/broadcast)
    > Source: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71)
      Address: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71)
      ....0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      ....0. .... = IG bit: Individual address (unicast)
    Type: ARP (0x8806)
  <
  
```

Se envía un paquete SSPD para buscar si existen algunos servicios HTTP dentro de la red con una instrucción NOTIFY.

LOCATION: se muestra la dirección (URL) en este caso está la dirección 192.168.0.1 que es la puerta de enlace, con su puerto 1900.

NTS: nos muestra la notificación Sub Type

USN: nos muestra la URL.

```

69 0.748747      192.168.0.1      239.255.255.250      SSDP      469 NOTIFY * HTTP/1.1
<
NOTIFY * HTTP/1.1\r\n
  [Expert Info (Chat/Sequence): NOTIFY * HTTP/1.1\r\n]
  Request Method: NOTIFY
  Request URI: *
  Request Version: HTTP/1.1
  HOST: 239.255.255.250:1900\r\n
  CACHE-CONTROL: max-age=300\r\n
  LOCATION: http://192.168.0.1:1900/gatedesc.xml\r\n
  OPT: "http://schemas.upnp.org/upnp/1/0/"; ns=01\r\n
  01-NLS: a1ec092a-1dd1-11b2-a891-cbea20be644f\r\n
  NT: urn:schemas-upnp-org:device:WANDevice:1\r\n
  NTS: ssdp:alive\r\n
  SERVER: Linux/3.10.14, UPnP/1.0, Portable SDK for UPnP devices/1.6.19\r\n
  X-User-Agent: redsonic\r\n
  USN: uuid:9f0865b3-f5da-4ad5-85b7-7484637fdf38::urn:schemas-upnp-org:device:WANDevice:1\r\n
  \r\n
  [Full request URI: http://239.255.255.250:1900*]

```

A nivel de la capa de red nos muestra el camino de los paquetes desde la dirección origen 192.168.0.107 al destino 74.125.139.188 para poder establecer comunicación mediante el protocolo de internet IPV4. Además del tamaño de la cabecera 20 bytes.

```

78 1.016564      192.168.0.107      74.125.139.188      TCP      55 56451 → 5228 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=512 Len=1
79 1.046795      HonHaiPr a2:f9:71      Broadcast      ARP      42 Who has 192.168.0.191? Tell 192.168.0.107
<
> Frame 78: 55 bytes on wire (440 bits), 55 bytes captured (440 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41B0-8C1A-E898F30B795B}, id 0
> Ethernet II, Src: HonHaiPr a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71), Dst: TP-Link f9:6d:e4 (60:a4:b7:f9:6d:e4)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.107, Dst: 74.125.139.188
  0100 .... = Version: 4
  ... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
  Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
  0000 00.. = Differentiated Services Codepoint: Default (0)
  .... 00 = Explicit Congestion Notification: Not ECN-Capable Transport (0)
  Total Length: 41
  Identification: 0x02b3 (691)
  Flags: 0x00, Don't fragment
  0... .... = Reserved bit: Not set
  ..1... .... = Don't fragment: Set
  ...0... .... = More fragments: Not set
  ...0 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0
  Time to Live: 128
  Protocol: TCP (6)
  Header Checksum: 0x60cf [validation disabled]
  [Header checksum status: Unverified]
  Source Address: 192.168.0.107
  Destination Address: 74.125.139.188

```

Nos muestra los datos del puerto de origen 56451 y destino 5228, las secuencias de segmentos que han sido enviados, además de la verificación (ACK) que se da en el establecimiento de Conexión TCP de tres vías SYN, SYN/ACK y ACK a nivel de la capa de transporte.

```

96 1.086150      74.125.139.188      192.168.0.107      TCP      66 5228 → 56451 [ACK] Seq=1 Ack=2 Win=265 Len=0 SLE=1 SRE=2
97 1.128126      192.168.0.107      157.240.6.10      TLSv1.2      83 Application Data
98 1.147069      157.240.6.10      192.168.0.107      TCP      54 443 → 63691 [ACK] Seq=1 Ack=30 Win=681 Len=0
99 1.242263      157.240.6.10      192.168.0.107      TLSv1.2      79 Application Data
100 1.285315      192.168.0.107      157.240.6.10      TCP      54 63691 → 443 [ACK] Seq=30 Ack=26 Win=513 Len=0
<
78 1.016564      192.168.0.107      74.125.139.188      TCP      55 56451 → 5228 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=512 Len=1
79 1.046795      HonHaiPr a2:f9:71      Broadcast      ARP      42 Who has 192.168.0.191? Tell 192.168.0.107
<
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.107, Dst: 74.125.139.188
> Transmission Control Protocol, Src Port: 56451, Dst Port: 5228, Seq: 1, Ack: 1, Len: 1
  Source Port: 56451
  Destination Port: 5228
  [Stream index: 0]
  [Conversation completeness: Incomplete (12)]
  [TCP Segment Len: 1]
  Sequence Number: 1 (relative sequence number)
  Sequence Number (raw): 3428420446
  [Next Sequence Number: 2 (relative sequence number)]
  Acknowledgment Number: 1 (relative ack number)
  Acknowledgment number (raw): 3192838792
  0101 .... = Header Length: 20 bytes (5)
  > Flags: 0x010 (ACK)
  Window: 512
  [calculated window size: 512]
  [window size scaling factor: -1 (unknown)]
  Checksum: 0x3507 [unverified]
  [Checksum Status: Unverified]
  Urgent Pointer: 0
  > [Timestamps]
  > [SEQ/ACK analysis]
  [Bytes in flight: 1]
  [Bytes sent since last PSH flag: 1]
  TCP payload (1 byte)
  > Data (1 byte)

```


Nos muestra un paquete TLSV1.2, que es proceso de negociación ya que es el intercambio de claves o certificados. Este paquete se muestra al ingresar el usuario y contraseñas en nuestra interfaz del Raspberry Pi 4.

```

97 1.128126 192.168.0.107 157.240.6.10 TLSv1.2 83 Application Data
98 1.147069 157.240.6.10 192.168.0.107 TCP 54 443 → 63691 [ACK] Seq=1 Ack=30 Win=681 Len=0
99 1.242263 157.240.6.10 192.168.0.107 TLSv1.2 79 Application Data
100 1.285315 192.168.0.107 157.240.6.10 TCP 54 63691 → 443 [ACK] Seq=30 Ack=26 Win=513 Len=0
101 1.490653 HonHaiPr_a2:f9:71 Broadcast ARP 42 who has 192.168.0.214? Tell 192.168.0.107
102 1.491015 HonHaiPr_a2:f9:71 Broadcast ARP 42 who has 192.168.0.225? Tell 192.168.0.107
103 1.491195 HonHaiPr_a2:f9:71 Broadcast ARP 42 who has 192.168.0.218? Tell 192.168.0.107
104 1.491251 HonHaiPr_a2:f9:71 Broadcast ARP 42 who has 192.168.0.221? Tell 192.168.0.107
105 1.491305 HonHaiPr_a2:f9:71 Broadcast ARP 42 who has 192.168.0.222? Tell 192.168.0.107

```

```

> Frame 97: 83 bytes on wire (664 bits), 83 bytes captured (664 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41B0-8C1A-E898F3D87958}, id 0
> Ethernet II, Src: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71), Dst: TP-Link_f9:6d:e4 (60:a4:b7:f9:6d:e4)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.107, Dst: 157.240.6.10
> Transmission Control Protocol, Src Port: 63691, Dst Port: 443, Seq: 1, Ack: 1, Len: 29
  > Transport Layer Security
    > TLSv1.2 Record Layer: Application Data Protocol: http-over-tls
      > Content Type: Application Data (23)
      > Version: TLS 1.2 (0x0303)
      > Length: 24
      > Encrypted Application Data: 4867d29f3b932088bcf9f354f97f528400d8a7fd44bca913
        [Application Data Protocol: http-over-tls]

```

Establecimiento de conexión de tres vías TCP entre la Pc (192.168.0.105) y la interfaz de nuestro Raspberry Pi 4 (192.168.0.107), con respectivo puerto. Esta comunicación se da a nivel de la capa de transporte.

```

610 9.366495 192.168.0.107 192.168.0.105 VMC 77
611 9.367252 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=616 Win=501 Len=0
612 9.367430 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=651 Win=501 Len=0
613 9.367430 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=687 Win=501 Len=0
614 9.367430 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=720 Win=501 Len=0
615 9.367430 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=754 Win=501 Len=0
616 9.367430 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=786 Win=501 Len=0
617 9.367430 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=822 Win=501 Len=0
618 9.367430 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=850 Win=501 Len=0
619 9.367703 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 60 5900 → 57497 [ACK] Seq=26 Ack=882 Win=501 Len=0

```

```

> Transmission Control Protocol, Src Port: 5900, Dst Port: 57497, Seq: 26, Ack: 754, Len: 0
  Source Port: 5900
  Destination Port: 57497
  [Stream index: 25]
  [Conversation completeness: Incomplete (28)]
  [TCP Segment Len: 0]
  Sequence Number: 26 (relative sequence number)
  Sequence Number (raw): 3934773012
  [Next Sequence Number: 26 (relative sequence number)]
  Acknowledgment Number: 754 (relative ack number)
  Acknowledgment number (raw): 3141974323
  0101 ... = Header Length: 20 bytes (5)
  > Flags: 0x010 (ACK)
  Window: 501
  [Calculated window size: 501]
  [Window size scaling factor: -1 (unknown)]
  Checksum: 0xf5fd [unverified]
  [Checksum Status: Unverified]
  Urgent Pointer: 0
  > [Timestamps]

```

De igual forma se establece la comunicación de tres vías entre el Raspberry Pi 4 (192.168.0.105) y el celular móvil (192.168.0.100).

```

10. 89.994099 192.168.0.107 192.168.0.100 TCP 66 57497 → 5900 [ACK] Seq=6000000 Ack=231 Win=151972 Len=400 [TCP segment of a reassembled PDU]
10. 89.994095 192.168.0.105 192.168.0.107 TCP 797 [TCP Spurious Retransmission] 5900 → 57497 [PSH, ACK] Seq=1319731 Ack=34502 Win=501 Len=743
10. 89.994095 192.168.0.100 192.168.0.107 TCP 54 36892 → 19000 [ACK] Seq=231 Ack=481428 Win=525312 Len=0
10. 89.995039 192.168.0.107 192.168.0.105 TCP 66 [TCP Dup ACK 1030881] 57497 → 5900 [ACK] Seq=34614 Ack=1320474 Win=513 Len=0 SLE=1319731 SRE=1
10 80 000082 192.168.0.107 192.168.0.100 TCP 1514 19000 → 36892 [ACK] Seq=6000000 Ack=231 Win=131072 Len=1260 [TCP segment of a reassembled PDU]

```

```

> Frame 10347: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-41B0-8C1A-E898F3D87958}, id 0
> Ethernet II, Src: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71), Dst: Raspberr_2f:31:b6 (e4:5f:81:2f:31:b6)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.107, Dst: 192.168.0.105
> Transmission Control Protocol, Src Port: 57497, Dst Port: 5900, Seq: 34614, Ack: 1320474, Len: 0
  Source Port: 57497
  Destination Port: 5900
  [Stream index: 25]
  [Conversation completeness: Incomplete (28)]
  [TCP Segment Len: 0]
  Sequence Number: 34614 (relative sequence number)
  Sequence Number (raw): 3142008183
  [Next Sequence Number: 34614 (relative sequence number)]
  Acknowledgment Number: 1320474 (relative ack number)
  Acknowledgment number (raw): 3936093460

```

```

0000 e4 5f 01 2f 31 b6 d4 6a 6a a2 f9 71 08 00 45 00  . . / : j . q . E .
0010 00 34 17 8d 40 00 00 06 61 12 c0 a8 00 0b c0 a8  4 . . . a . . . k .
0020 00 69 e0 99 17 0c bb 47 3d 77 ea 9c 05 14 80 10  . . . . G m m . . . .
0030 7f 01 39 07 00 00 01 01 05 0a ea 9c 02 2d ea 9c  . . . . .
0040 05 14

```

En el paquete QUIC hace referencia a una parte de la cabecera y una de carga llamada Payload que contiene varias tramas, donde cada paquete es un bloque encriptado protected. Como se muestra en la imagen los datos que han sido autenticados y esos paquetes poseen los payloads los ack, control de datos y finalización de sesiones.

20_158.647666	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	1274 Initial, SCID=73710db3aa04170a, PKN: 4955173, ACK, PADDING
20_158.649818	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	1274 Initial, SCID=73710db3aa04170a, PKN: 4955174, CRYPTO, PADDING
20_158.649818	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	228 Handshake, SCID=73710db3aa04170a
20_158.649818	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	68 Protected Payload (KP0)
20_158.649818	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	97 Protected Payload (KP0)
20_158.650626	192.168.0.107	157.240.6.23	QUIC	123 Handshake, DCID=73710db3aa04170a
20_158.651396	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	67 Protected Payload (KP0)
20_158.651485	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	1274 Protected Payload (KP0)
20_158.651648	157.240.6.23	192.168.0.107	QUIC	1157 Protected Payload (KP0)
20_158.651696	192.168.0.107	157.240.6.23	QUIC	76 Protected Payload (KP0), DCID=73710db3aa04170a
20_158.651914	192.168.0.107	157.240.6.23	QUIC	80 Protected Payload (KP0), DCID=73710db3aa04170a

<

> Frame 20208: 97 bytes on wire (776 bits), 97 bytes captured (776 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-418D-8C1A-E898F3D87958}, id 0

> Ethernet II, Src: TP-Link_F9:6d:e4 (60:a4:b7:f9:6d:e4), Dst: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71)

> Internet Protocol Version 4, Src: 157.240.6.23, Dst: 192.168.0.107

> User Datagram Protocol, Src Port: 443, Dst Port: 49267

▼ QUIC IETF

▼ QUIC Connection information

[Connection Number: 13]

[Packet Length: 55]

▼ QUIC Short Header

0... .. = Header Form: Short Header (0)

.1... .. = Fixed Bit: True

.0... .. = Spin Bit: False

Remaining Payload: 8db96c1ec06807f78d0127956ae310932bd9850db412aca6644e5aa3be266c58d9758e6...

168.260654	192.168.0.105	224.0.0.251	MDNS	82 Standard query 0x0000 PTR _googlecast._tcp.local, "QM" question
168.275110	192.168.0.107	157.240.6.18	TCP	54 56507 → 443 [ACK] Seq=513 Ack=811 Win=513 Len=0
168.291067	192.168.0.105	192.168.0.107	TCP	60 5900 → 57497 [ACK] Seq=1967849 Ack=60668 Win=501 Len=0
168.354668	192.168.0.107	192.168.0.100	WebSocket	76 WebSocket Text [FIN]
168.425933	192.168.0.105	192.168.0.107	VNC	145
168.426393	192.168.0.107	192.168.0.105	VNC	86

<

> Frame 21994: 76 bytes on wire (608 bits), 76 bytes captured (608 bits) on interface \Device\NPF_{EC50F27F-21F8-418D-8C1A-E898F3D87958}, id 0

> Ethernet II, Src: HonHaiPr_a2:f9:71 (d4:6a:6a:a2:f9:71), Dst: HuaweiTe_7e:de:93 (e4:fd:a1:7e:de:93)

> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.107, Dst: 192.168.0.100

> Transmission Control Protocol, Src Port: 19000, Dst Port: 36896, Seq: 1868, Ack: 3366, Len: 22

▼ WebSocket

1... .. = Fin: True

.000... .. = Reserved: 0x0

.... 0001 = Opcode: Text (1)

0... .. = Mask: False

.001 0100 = Payload length: 20

Payload

▼ Line-based text data (1 lines)

("event": "getPages")

Anexo 12: Datasheet MD300C2

MD300C2

Fingertip Pulse Oximeter

Pulse oximeter is a very important and common device to check oxygen saturation (SpO₂) and pulse rate. As a small, compact, simple, reliable and durable physiological monitoring device, Fingertip pulse oximeter is widely applied in clinic, hospital, social medical organization, first aid etc.



TECHNICAL SPECIFICATIONS		FEATURES	
Application Range		<ul style="list-style-type: none"> ✦ Dual color OLED displays SpO₂, PR, Pulse bar, and waveform ✦ Low power consumption; battery-low indicator ✦ Adjustable brightness, 6 display modes ✦ Automatically power off; 2 AAA alkaline batteries ✦ Optional multi-color silicon rubber boot and carrying case ✦ Suitable for pediatric and adult 	
Adult and Pediatrics			
SpO₂		Environment Requirements	
Measurement range	70~100%	Operation Temperature	5~40℃
Accuracy	70%~100%: ±2% 0%~69% no definition	Storage Temperature	-20~+55℃
Resolution	1%	Ambient Humidity	≤80% no condensation in operation ≤93% no condensation in storage
Pulse Rate		Atmosphere pressure	86kPa~106kPa
Measure range	30~235 BPM	Power Requirements	
Accuracy	30~99bpm, ±2bpm; 100~235bpm, ±2%	Two AAA 1.5V, 600mAh alkaline batteries could be continuously operated as long as 30 hours	
Resolution	1BPM	Product Accessories	
Display		<ul style="list-style-type: none"> • 1pc lanyard • 2pcs AAA-size batteries • 1pc instruction manual 	
Type	OLED display		
Parameters	SpO ₂ , PR, Pulse bar, waveform		

NOTE: The specifications are subject to changes without prior notice.

AUTHORIZED AGENT

Beijing Choice Electronic Technology Co., Ltd

Add.: Bailangyuan Building B, Rm.1127-1128, Fuxing Road A36, 100039 Beijing, P.R.C.
Tel: +86 10 88204188 / 88203520 FAX: +86 10 88204632
Email: market@choiceemmed.com Website: www.choiceemmed.com

ChoiceMMed



Anexo 13: Pruebas realizadas a los pacientes

Paciente: María Digna Ramírez

Edad: 82 años

Cedula: 1000505717

Fecha: 03/03/2022

Pulso: 32.18, 32.18,32.74

Estado: Bradicardia

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL
PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS
CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.

Ibarra, 03 de Marzo del 2022.

Yo, María Digna Ramírez con CI. 1000505717 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.

Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.

Firma del profesional

Firma del estudiante

Firma del paciente

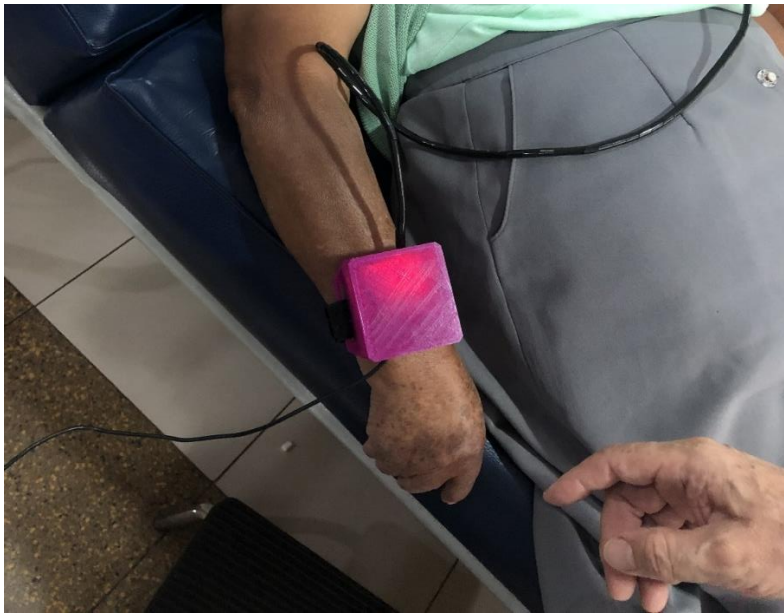
Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.



Colocar lo electrodos:

- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón v1
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.



Ingresar los datos del paciente, nombre cedula, edad en la aplicación móvil.

No hay tarjeta 2.1 12:49

Ingresar

Nombres
María Digna

Apellidos
Ramírez

Cédula
1000505717

Edad
82

GUARDAR

Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.





Verificacion con el pulsioximetro



Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'rnadb' and a table named 'pacientes'. The SQL query executed is 'SELECT * FROM `pacientes` ORDER BY `id` ASC'. The result shows one row with the following data:

Options	id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	4	2022-03-03 17:49:42	2022-03-03 17:49:42	María Digna	Ramirez	1000505717	82

Below the table, there are options for 'Check all', 'With selected:', 'Edit', 'Copy', 'Delete', and 'Export'. There are also options for 'Show all', 'Number of rows: 25', and 'Filter rows: Search this table'. At the bottom, there are options for 'Query results operations' (Print, Copy to clipboard, Export, Display chart, Create view) and 'Bookmark this SQL query' (Let every user access this bookmark).

The screenshot shows the phpMyAdmin interface in a web browser. The browser's address bar displays the URL: `http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=rnadb&table=historials&where_clause=%60historials%60%6...`. The phpMyAdmin interface shows the 'historials' table in the 'rnadb' database. A message indicates that 1 row was affected by an update query: `UPDATE `historials` SET `pulso_cardiaco` = '32.74', `estado` = 'Bradicardia' WHERE `historials`.`id` = 1685;`. Below this, a query execution summary shows 'Showing rows 0 - 24 (121 total, Query took 0.0018 seconds.) [pulso_cardiaco: 32.18... - 47.05...]'. The table view shows columns: `created_at`, `updated_at`, `pulso_cardiaco`, `estado`, and `paciente_id`. The `estado` column contains the value 'Bradicardia' for several rows, which are highlighted with a red box. The `paciente_id` column contains the value '4' for these rows.

	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:25:14	2022-03-03 18:25:14	32.18	Bradicardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:25:46	2022-03-03 18:25:46	32.18	Bradicardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:22:44	2022-03-03 18:22:44	32.74	Bradicardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:22:46	2022-03-03 18:22:46	32.74	Bradicardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:23:34	2022-03-03 18:23:34	32.74	Bradicardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:24:53	2022-03-03 18:24:53	32.74	Bradicardia	4
<input type="checkbox"/>	2022-03-03 18:19:32	2022-03-03 18:19:32	32.74	Bradicardia	4

Paciente: Patricio Ibijes

Edad: 54 años

Cedula: 1001777100

Fecha: 04/03/2022

Pulso: 48.34, 48.08, 47.21

Estado: Bradicardia

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.

Ibarra, 04 de Marzo del 2022

Yo, Patricio Ibijes con CI. 1001777100 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.

Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.


Firma del profesional


Firma del estudiante


Firma del paciente

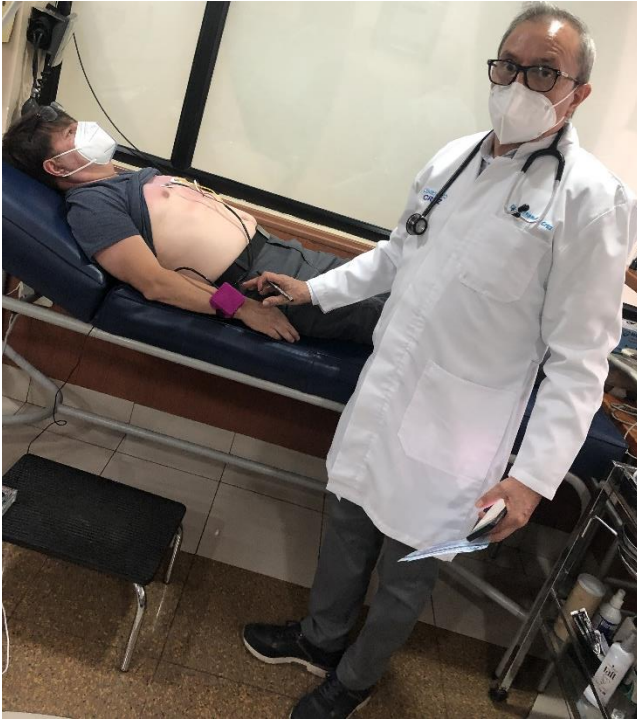
Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.



Colocar lo electrodos:

- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.



Ingresar los datos del paciente, nombre cedula, edad en la aplicación móvil.

Modo avión 16,4 K/s 13:35

Ingresar

Nombre
Ibujes

Cédula
1001777100

Edad
Ingrese edad

GUARDAR

ELIMINAR

Buscar por cédula...

1000505717
María Digna Ramirez

1000989002
Víctor Manuel Valenzuela Ruiz

1001777100
Patricio Ibujes

Inicio Ingresar

Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.



Datos obtenidos con el pulsioximetro



Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / pacientes | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

localhost / localhost / m... x +

http://localhost/phpmyadmin/sql.php?server=1&db=madb&table=pacientes&pos=0&token=cc24c693cb597...

Server: localhost:3306 Database: madb Table: pacientes

SELECT * FROM `pacientes`

Profiling [Edit inline] [Edit] [Explain SQL] [Create PHP code] [Refresh]

Show all Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: None

+ Options

	id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
<input type="checkbox"/>	4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	María Digna	Ramirez	1000505717	82
<input type="checkbox"/>	7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel	Valenzuela Ruiz	1000989002	54
<input type="checkbox"/>	8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Ibujes	1001777100	54

Check all With selected: Edit Copy Delete Export

Show all Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: None

Query results operations

Print Copy to clipboard Export Display chart Create view

Console

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

localhost / localhost / m... +

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=madb&table=historials&where_clause=%60historials%60...

Server: localhost:3306 » Database: madb » Table: historials

phpMyAdmin

Recent Favorites

- information_schema
- madb
 - New
 - failed_jobs
 - historials
 - migrations
 - pacientes
 - password_resets
 - personal_access_token
 - pulsos
 - users

Browse
 Structure
 SQL
 Search
 Insert
 Export
 Import
 More

		id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	Edit	1816	2022-03-04 03:06:35	2022-03-04 03:06:35	48.34	positivo	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1817	2022-03-04 03:06:37	2022-03-04 03:06:37	48.34	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1818	2022-03-04 03:06:39	2022-03-04 03:06:39	48.34	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1819	2022-03-04 03:06:41	2022-03-04 03:06:41	48.34	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1820	2022-03-04 03:06:43	2022-03-04 03:06:43	48.34	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1821	2022-03-04 03:06:45	2022-03-04 03:06:45	48.34	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1822	2022-03-04 03:06:48	2022-03-04 03:06:48	48.08	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1823	2022-03-04 03:06:50	2022-03-04 03:06:50	48.08	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1824	2022-03-04 03:06:52	2022-03-04 03:06:52	48.08	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1825	2022-03-04 03:06:55	2022-03-04 03:06:55	48.08	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1826	2022-03-04 03:06:57	2022-03-04 03:06:57	48.08	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1827	2022-03-04 03:06:59	2022-03-04 03:06:59	48.08	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1828	2022-03-04 03:07:01	2022-03-04 03:07:01	47.21	Bradycardia	8
<input type="checkbox"/>	Edit	1829	2022-03-04 03:07:03	2022-03-04 03:07:03	47.21	Bradycardia	8

Check all
 With selected:
[Edit](#)
[Copy](#)
[Delete](#)
[Export](#)

Console

Paciente: Víctor Manuel Valenzuela Ruiz

Edad: 63 años

Cedula: 1000989002

Fecha: 04/03/2022

Pulso: 53.46, 53.63, 53.63

Estado: Bradicardia

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL
PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS
CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.**

Ibarra, 04 de Marzo del 2022.

Yo, Víctor Manuel Valenzuela Ruiz con CI 1000989002 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.

Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.


Firma del profesional


Firma del estudiante


Firma del paciente

Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.

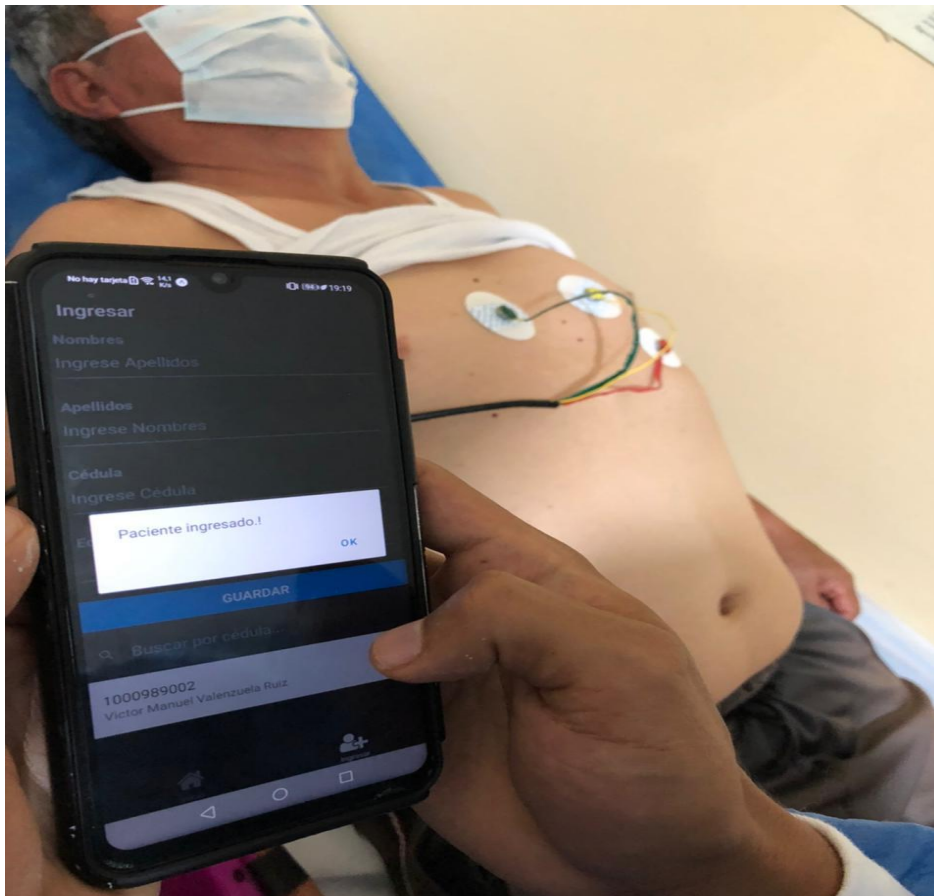


Colocar lo electrodos:

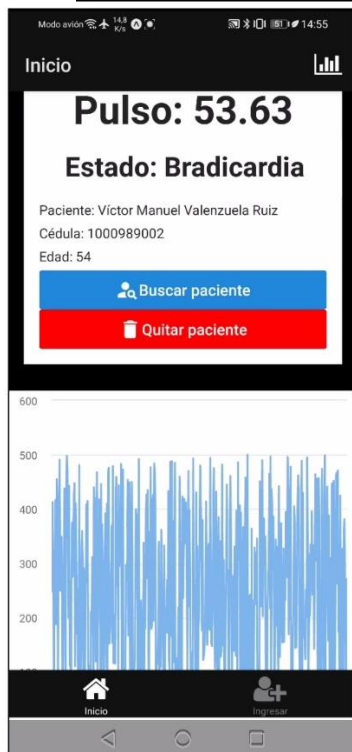
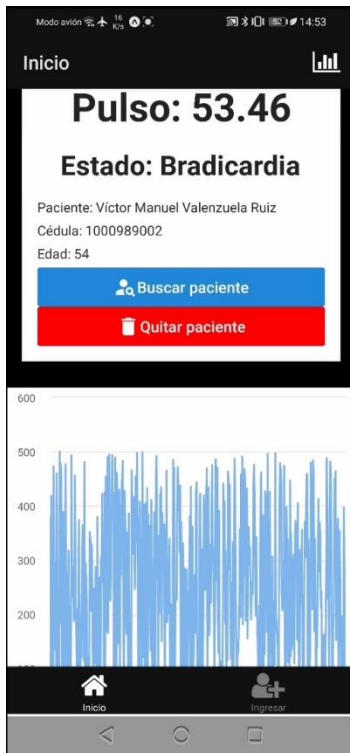
- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.



Ingresar los datos del paciente, nombre cedula, edad en la aplicación móvil.



Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.



Dato obtenido con el pulsioximetro



Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.

Screenshot of a VNC Viewer window showing a Raspberry Pi terminal and a web browser displaying the phpMyAdmin interface. The browser shows the 'pacientes' table in the 'madb' database, with the following data:

id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
1						
4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	Maria Digna	Ramirez	1000505717	82
7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel	Valenzuela Ruiz	1000989002	54
8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	ibujes	1001777100	54
9	2022-03-11 03:05:07	2022-03-11 03:05:07	Rosa Maria	Checa	1000454742	73
10	2022-03-11 03:59:42	2022-03-11 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564	29
11	2022-03-11 04:26:25	2022-03-11 04:26:25	Samia del Rosario	Valenzuela Checa	1002377677	47
12	2022-03-11 06:12:24	2022-03-11 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095	50
13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799	45

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=madb&table=historials&where_clause=%60historials%60...

Server: localhost:3306 » Database: madb » Table: historials

[Browse] [Structure] [SQL] [Search] [Insert] [Export] [Import] [More]

[Edit inline] [Edit] [Create PHP code]

Showing rows 50 - 74 (914 total, Query took 0.0025 seconds.) [paciente_id: 7... - 7...]

```
SELECT * FROM `historials` ORDER BY `paciente_id` ASC
```

Profiling [Edit inline] [Edit] [Explain SQL] [Create PHP code] [Refresh]

<< < 3 > >> Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: histor

+ Options

		id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>		2048	2022-03-04 19:55:29	2022-03-04 19:55:29	53.46	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		1793	2022-03-04 02:51:34	2022-03-04 02:51:34	53.46	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		2049	2022-03-04 19:55:31	2022-03-04 19:55:31	53.46	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		1794	2022-03-04 02:51:36	2022-03-04 02:51:36	53.46	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		2050	2022-03-04 19:55:33	2022-03-04 19:55:33	53.46	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		1795	2022-03-04 02:51:38	2022-03-04 02:51:38	53.63	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		2051	2022-03-04 19:55:36	2022-03-04 19:55:36	53.63	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		1796	2022-03-04 02:51:40	2022-03-04 02:51:40	53.63	Bradycardia	7
<input type="checkbox"/>		2052	2022-03-04 19:55:38	2022-03-04 19:55:38	53.63	Bradycardia	7

Console

Paciente: Rosa Maria Checa

Edad: 73 años

Cedula: 1000454742

Fecha: 04/03/2022

Pulso: 55.19, 55.56, 55.73

Estado: Bradicardia

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL
PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS
CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.**

Ibarra, 04...de Marzo...del 2022.

Yo, Rosa Maria Checa con CI 1000454742 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.


Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.



Firma del profesional



Firma del estudiante



Firma del paciente

Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.

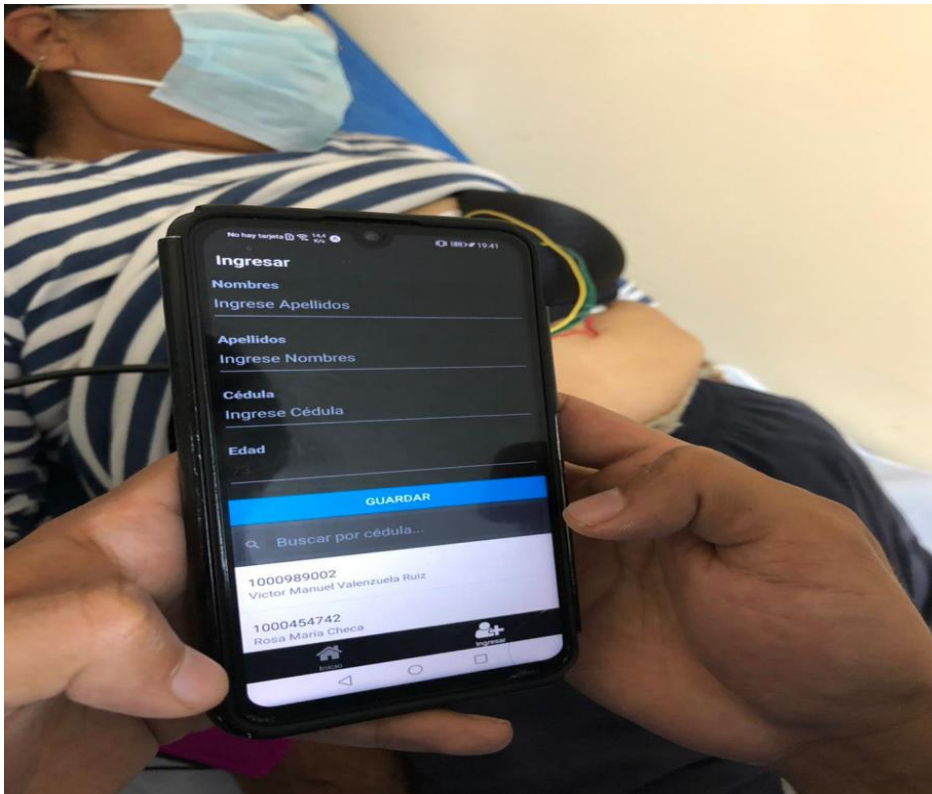


Colocar lo electrodos:

- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.



Ingresar los datos del paciente, nombre cédula, edad en la aplicación móvil.



Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.





Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / rmadb / pacientes | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=rnadb&table=pacientes&where_clause=%60pacientes%60...

Server: localhost:3306 Database: rnadb Table: pacientes

Options: Show all | Number of rows: 25 | Filter rows: Search this table | Sort by key: PRIMARY (ASC)

	id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
<input type="checkbox"/>	1						
<input type="checkbox"/>	4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	María Digna	Ramirez	1000505717	82
<input type="checkbox"/>	7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel	Valenzuela Ruiz	1000989002	54
<input type="checkbox"/>	8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Ibujes	1001777100	54
<input type="checkbox"/>	9	2022-03-04 03:05:07	2022-03-04 03:05:07	Rosa María	Checa	1000454742	73
<input type="checkbox"/>	10	2022-03-11 03:59:42	2022-03-11 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564	29
<input type="checkbox"/>	11	2022-03-11 04:26:25	2022-03-11 04:26:25	Samia del Rosario	Valenzuela Checa	1002377677	47
<input type="checkbox"/>	12	2022-03-11 06:12:24	2022-03-11 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095	50
<input type="checkbox"/>	13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799	45

Console results operations

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=madb&table=historials&where_clause=%60historials%60...

Server: localhost:3306 » Database: madb » Table: historials

	id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	2304	2022-03-04 03:18:13	2022-03-04 03:18:13	55.19	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2305	2022-03-04 03:18:15	2022-03-04 03:18:15	55.19	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2306	2022-03-04 03:18:18	2022-03-04 03:18:18	55.19	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2307	2022-03-04 03:18:20	2022-03-04 03:18:20	55.19	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2308	2022-03-04 03:18:22	2022-03-04 03:18:22	55.19	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2309	2022-03-04 03:18:24	2022-03-04 03:18:24	55.56	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2310	2022-03-04 03:18:26	2022-03-04 03:18:26	55.56	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2311	2022-03-04 03:18:28	2022-03-04 03:18:28	55.56	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2312	2022-03-04 03:18:30	2022-03-04 03:18:30	55.56	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2313	2022-03-04 03:18:32	2022-03-04 03:18:32	55.56	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2664	2022-03-04 06:19:25	2022-03-04 06:19:25	55.73	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2181	2022-03-04 03:06:29	2022-03-04 03:06:29	55.73	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2182	2022-03-04 03:13:50	2022-03-04 03:13:50	55.73	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2183	2022-03-04 03:13:52	2022-03-04 03:13:52	55.73	Bradicardia	9
<input type="checkbox"/>	2184	2022-03-04 03:13:54	2022-03-04 03:13:54	55.73	Bradicardia	9

Console Check all With selected: Edit Copy Delete Export

Paciente: Soledad Alexandra Valenzuela Checa

Edad: 29 años

Cedula: 1003841564

Fecha: 04/03/2022

Pulso: 62, 62.50, 62

Estado: NormaL

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL
PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS
CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.**

Ibarra, 04 de Marzo del 2022

Yo, Soledad Alexandra Valenzuela Checa con C.I. 1003841564 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.

Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.



Firma del profesional



Firma del estudiante



Firma del paciente

Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.

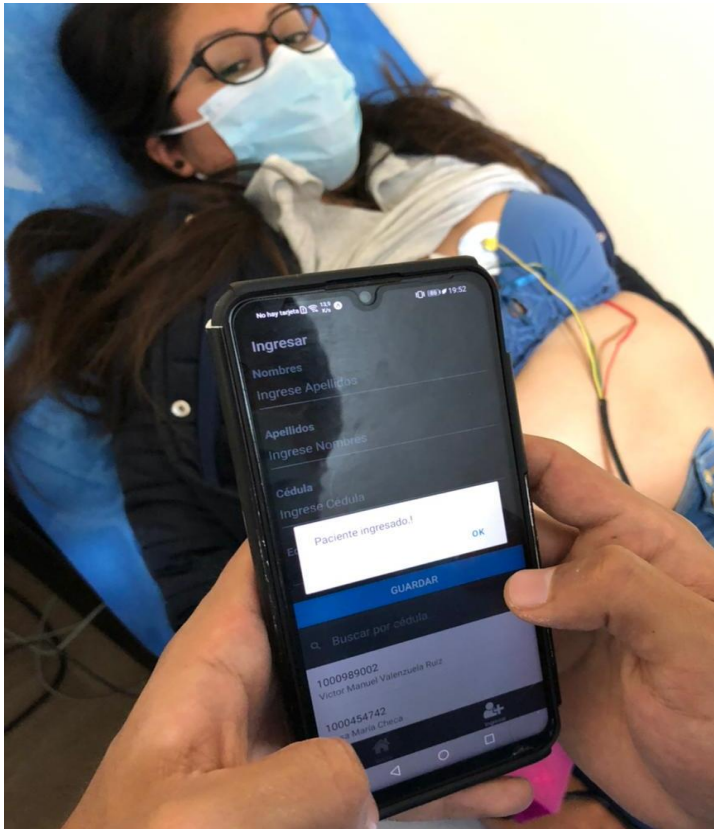


Colocar lo electrodos:

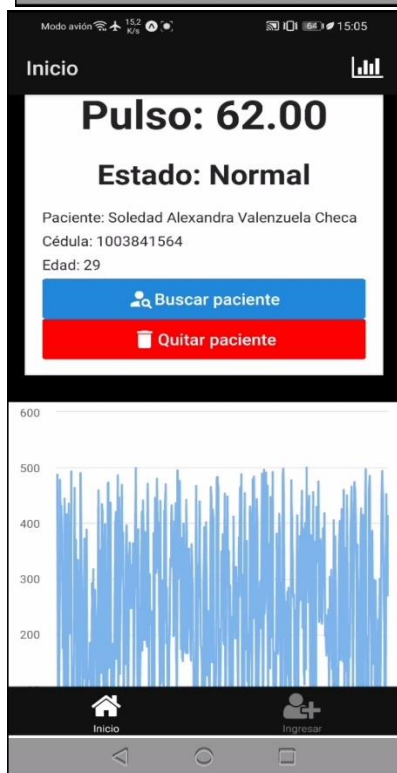
- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.

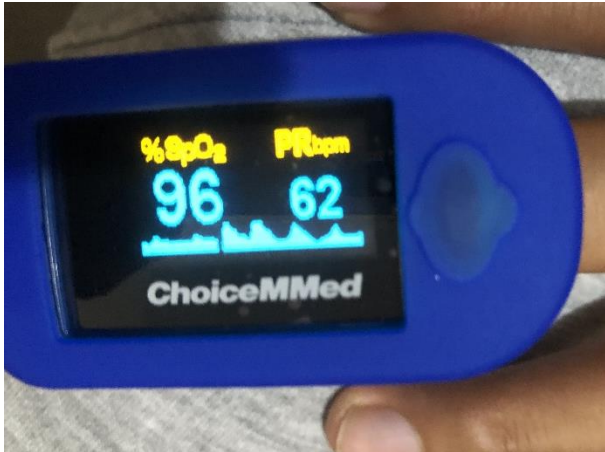


Ingresar los datos del paciente, nombre cedula, edad en la aplicación móvil.



Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.





Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.

Screenshot of a VNC Viewer window showing a Raspberry Pi desktop environment. The browser displays the phpMyAdmin interface for a database named 'pacientes' on a local host. The table 'pacientes' is visible, containing patient records. The record for Soledad Alexandra Valenzuela Checa (ID 10) is highlighted with a red box.

id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	María Digna	Ramirez	1000505717	82
7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel	Valenzuela Ruiz	1000989002	54
8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Ibujes	1001777100	54
9	2022-03-04 03:05:07	2022-03-04 03:05:07	Rosa Maria	Checa	1000454742	73
10	2022-03-11 03:59:42	2022-03-11 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564	29
11	2022-03-11 04:26:25	2022-03-11 04:26:25	Samia der Rosario	Valenzuela Checa	1002377677	47
12	2022-03-11 06:12:24	2022-03-11 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095	50
13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799	45

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

localhost / localhost / m... x +

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=rnadb&table=historials&where_clause=%60historials%60...

Server: localhost:3306 Database: rnadb Table: historials

Browse Structure SQL Search Insert Export Import More

SELECT * FROM `historials` ORDER BY `paciente_id` ASC

Profiling [Edit inline] [Edit] [Explain SQL] [Create PHP code] [Refresh]

<< < 21 > >> Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: histor

+ Options

		id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2320	2022-03-04 04:03:25	2022-03-04 04:03:25	62.00	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2321	2022-03-04 04:03:27	2022-03-04 04:03:27	62.00	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2322	2022-03-04 04:03:29	2022-03-04 04:03:29	62.00	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2323	2022-03-04 04:03:31	2022-03-04 04:03:31	62.00	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2324	2022-03-04 04:03:33	2022-03-04 04:03:33	62.00	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2325	2022-03-04 04:03:35	2022-03-04 04:03:35	62.50	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2326	2022-03-04 04:03:38	2022-03-04 04:03:38	62.50	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2327	2022-03-04 04:03:40	2022-03-04 04:03:40	62.50	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2328	2022-03-04 04:03:42	2022-03-04 04:03:42	62.50	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2329	2022-03-04 04:03:44	2022-03-04 04:03:44	62.50	Normal	10
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2330	2022-03-04 04:03:46	2022-03-04 04:03:46	62.00	Normal	10

Console

Paciente: Samia del Rosario Valenzuela Checa

Edad: 47 años

Cedula: 1002377677

Fecha: 04/03/2022

Pulso: 75, 75, 75

Estado: Normal

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL
PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS
CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.**

Ibarra, 04 de Marzo del 2022.

Yo, Samia del Rosario Valenzuela Checa con CI 1002377677 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.

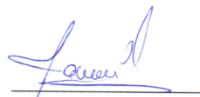
Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.



Firma del profesional



Firma del estudiante



Firma del paciente

Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.

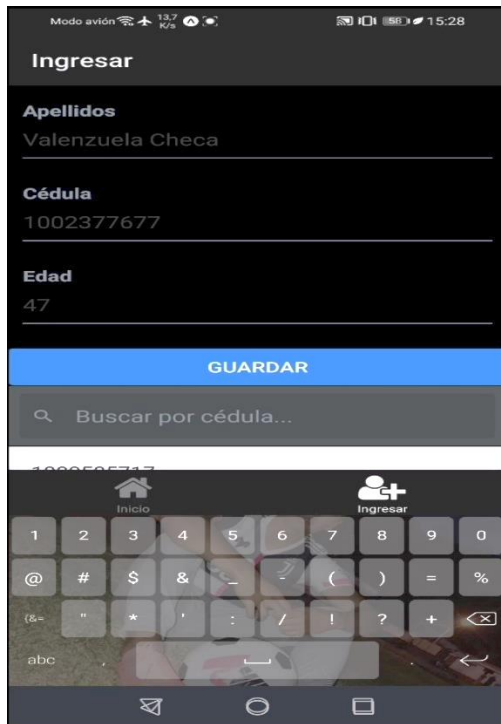


Colocar lo electrodos:

- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.



Ingresar los datos del paciente, nombre cédula, edad en la aplicación móvil.



The screenshot shows a mobile application interface for patient registration. The title is "Ingresar". The form contains three input fields: "Apellidos" with the value "Valenzuela Checa", "Cédula" with the value "1002377677", and "Edad" with the value "47". Below the form is a blue "GUARDAR" button. Underneath the button is a search bar with the placeholder text "Buscar por cédula...". At the bottom of the screen, there is a navigation bar with two icons: "Inicio" (Home) and "Ingresar" (Add Patient). A numeric keypad is visible over the bottom part of the screen, indicating that the user is in the process of entering data.

Modo avión 13.7 Hz 15:28

Ingresar

Apellidos
Valenzuela Checa

Cédula
1002377677

Edad
47

GUARDAR

Buscar por cédula...

Inicio Ingresar

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
@ # \$ % & ' () = +
{&- " * : / ! ? +
abc

Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.





Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.

Screenshot of a VNC Viewer window showing a web browser displaying the phpMyAdmin interface. The browser address bar shows the URL: `http://localhost/phpmyadmin/sql.php?server=1&db=madb&table=pacientes&pos=0&token=45b5308b25ba...`

The phpMyAdmin interface shows the 'pacientes' table in the 'madb' database. The table structure and data are as follows:

	id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
	1						
	4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	María Digna	Ramirez	1000505717	82
	7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel Ruiz	Valenzuela Ruiz	1000989002	54
	8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Ibujes	1001777100	54
	9	2022-03-04 03:05:07	2022-03-04 03:05:07	Rosa María	Checa	1000454742	73
	10	2022-03-11 03:59:42	2022-03-11 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564	29
	11	2022-03-11 04:26:25	2022-03-11 04:26:25	Samia del Rosario	Valenzuela Checa	1002377677	47
	12	2022-03-11 06:12:24	2022-03-11 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095	50
	13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799	45

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

localhost / localhost / m... x +

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=madb&table=historials&where_clause=%60historials%60...

Server: localhost:3306 » Database: madb » Table: historials

Browse Structure SQL Search Insert Export Import More

[Edit inline] [Edit] [Create PHP code]

Showing rows 600 - 624 (914 total, Query took 0.0063 seconds.) [paciente_id: 11... - 11...]

```
SELECT * FROM `historials` ORDER BY `paciente_id` ASC
```

Profiling [Edit inline] [Edit] [Explain SQL] [Create PHP code] [Refresh]

<< < 25 > >> Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: histor

+ Options

			id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id	
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2566	2022-03-04 04:39:02	2022-03-04 04:39:02	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2567	2022-03-04 04:39:04	2022-03-04 04:39:04	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2568	2022-03-04 04:39:07	2022-03-04 04:39:07	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2569	2022-03-04 04:39:09	2022-03-04 04:39:09	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2570	2022-03-04 04:39:11	2022-03-04 04:39:11	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2571	2022-03-04 04:39:13	2022-03-04 04:39:13	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2572	2022-03-04 04:39:15	2022-03-04 04:39:15	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2573	2022-03-04 04:39:17	2022-03-04 04:39:17	75.00	Normal	11
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	2574	2022-03-04 04:39:19	2022-03-04 04:39:19	75.00	Normal	11

Console

Paciente: Diego Ruben Leon Espinoza

Edad: 50 años

Cedula: 1002063095

Fecha: 08/03/2022

Pulso: 103.00, 103.61, 103.00

Estado: Taquicardia

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL
PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS
CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.**

Ibarra.....de.....del.....

Yo, Diego Ruben Leon Espinoza.....con C.I. 1002063095 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.

Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.



Firma del profesional



Firma del estudiante



Firma del paciente

Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.

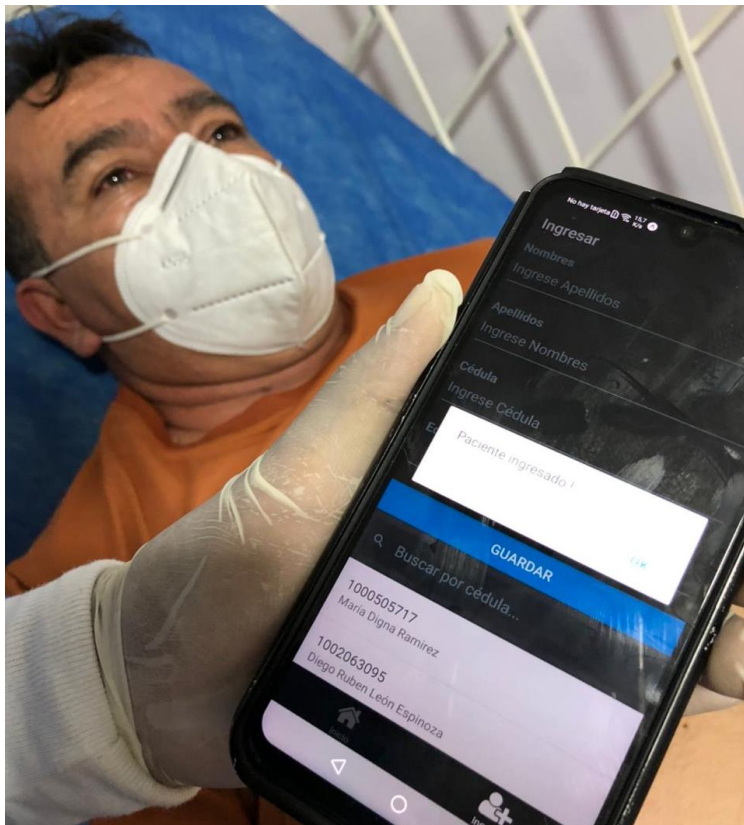


Colocar los electrodos:

- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.



Ingresar los datos del paciente, nombre cedula, edad en la aplicación móvil.



Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.



Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'rnadb' and a table named 'pacientes'. The table contains 13 rows of data. The row with ID 12 is highlighted with a red box. The table structure is as follows:

ID	Timestamp 1	Timestamp 2	First Name	Last Name	Phone Number	Age
4	2022-03-04 17:49:42	2022-03-04 17:49:42	Maria Digna	Ramirez	1000505717	82
7	2022-03-04 02:49:58	2022-03-04 03:05:53	Victor Manuel	Valenzuela Ruiz	1000989002	54
8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Ibujes	1001777100	54
9	2022-03-04 03:05:07	2022-03-04 03:05:07	Rosa Maria	Checa	1000454742	73
10	2022-03-04 03:59:42	2022-03-04 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564	29
11	2022-03-04 04:26:25	2022-03-04 04:26:25	Samia del Rosario	Valenzuela Checa	1002377677	47
12	2022-03-08 06:12:24	2022-03-08 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095	50
13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799	45

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

localhost / localhost / m... x +

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=rnadb&table=historials&where_clause=%60historials%60...

Server: localhost:3306 » Database: rnadb » Table: historials

Browse Structure SQL Search Insert Export Import More

Showing rows 629 - 649 (507 total, Query took 0.001 seconds.) [paciente_id: 12...]

SELECT * FROM 'historials' ORDER BY 'paciente_id' ASC

Profiling [Edit inline] [Edit] [Explain SQL] [Create PHP code] [Refresh]

<< < 34 > >> Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: histor

+ Options

		id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2646	2022-03-08 06:13:25	2022-03-08 06:13:25	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2647	2022-03-08 06:13:28	2022-03-08 06:13:28	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2648	2022-03-08 06:13:40	2022-03-08 06:13:40	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2649	2022-03-08 06:13:42	2022-03-08 06:13:42	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2650	2022-03-08 06:13:45	2022-03-08 06:13:45	103.00	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2651	2022-03-08 06:13:47	2022-03-08 06:13:47	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2652	2022-03-08 06:13:49	2022-03-08 06:13:49	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2653	2022-03-08 06:13:51	2022-03-08 06:13:51	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2654	2022-03-08 06:13:53	2022-03-08 06:13:53	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2655	2022-03-08 06:13:55	2022-03-08 06:13:55	103.61	Taquicardia	12
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2656	2022-03-08 06:13:57	2022-03-08 06:13:57	103.00	Taquicardia	12

Console

Paciente: Alexandra Jadira Semper Ruiz

Edad: 45 años

Cedula: 1002623799

Fecha: 08/03/2022

Pulso: 123.00, 123.60, 123.00

Estado: Taquicardia

Informar al paciente el procedimiento que se va a realizar y hacerle firmar el consentimiento.

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR PRUEBAS EN PACIENTES CON EL
PROTOTIPO DE MONITOREO Y DIAGNOSTICO REMOTO DE ARRITMIAS
CARDIACAS, BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES CON DEEP LEARNING.**

Ibarra.....de.....del.....

Yo, Alexandra Jadira Semper Ruiz.....con CI. 1002623799 en forma voluntaria consiento en que el Dr. Fernando Cruz Cevallos y el estudiante Alvaro Alexander Enriquez Pilataxi me realicen el monitoreo y diagnóstico de arritmias cardiacas. Entiendo que este procedimiento consiste básicamente en la colocación de unos electrodos en la piel, para registrar la actividad eléctrica del corazón.

Yo he entendido sobre el procedimiento que se me va a practicar, en tales condiciones consiento que se me realice el diagnóstico y monitoreo de arritmias cardiacas.



Firma del profesional



Firma del estudiante



Firma del paciente

Descubrir la parte superior del paciente y colocar sobre la camilla de tal forma que se encuentre como y relajado.



Limpiar con una gasa y alcohol la parte donde se va a ubicar los electrodos.



Colocar el prototipo en la muñeca derecha del paciente.

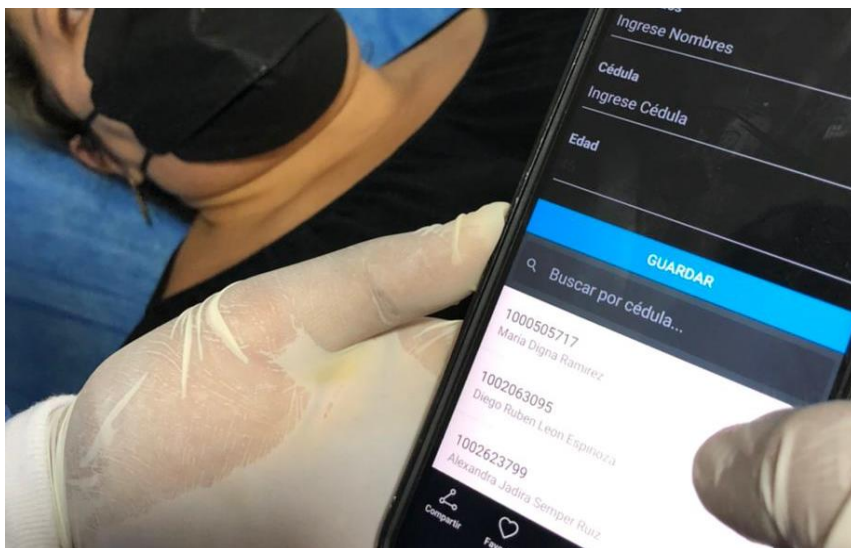


Colocar los electrodos:

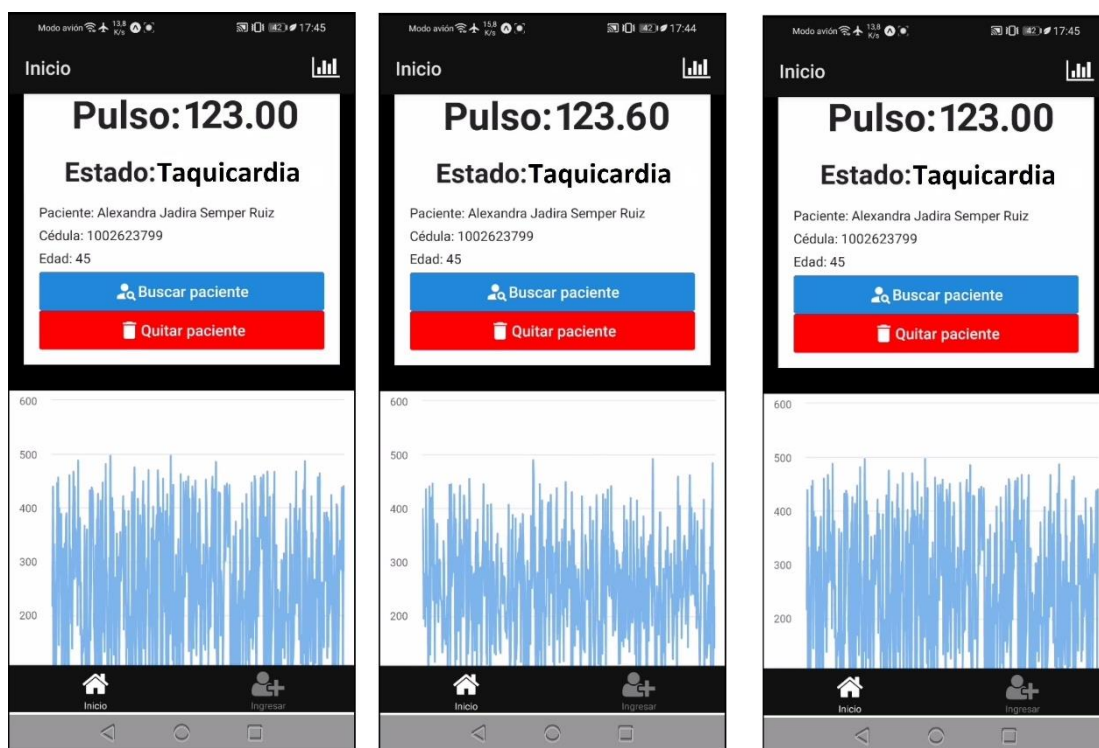
- El cable verde en el intercostal derecho junto al esternón
- El cable amarillo en el intercostal izquierdo junto al esternón
- El cable rojo en el intercostal izquierdo bajo el pezón izquierdo.



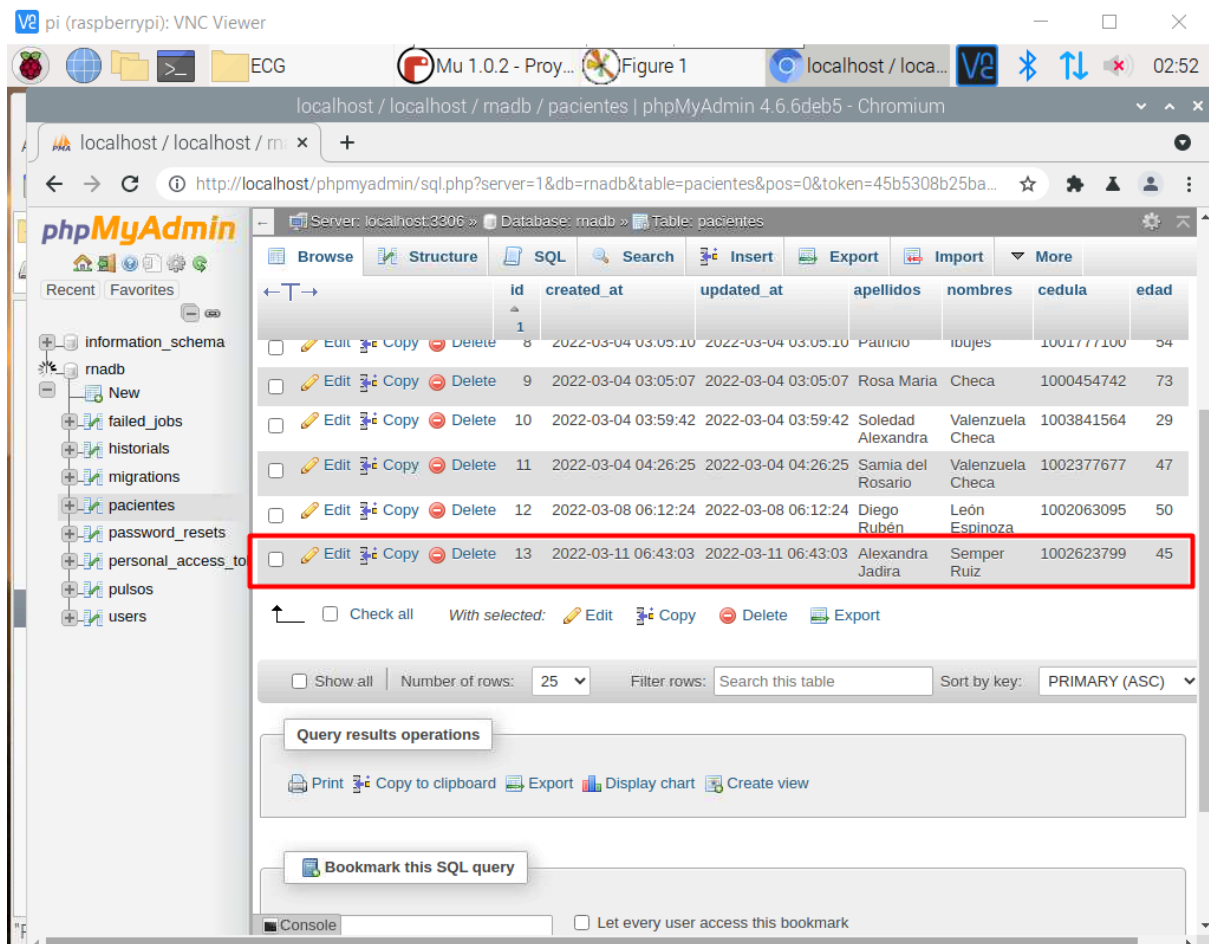
Ingresa los datos del paciente, nombre cédula, edad en la aplicación móvil.



Verificar las derivaciones obtenidas en la aplicación móvil.



Abrir la base de datos para verificar que se encuentran almacenados los resultados obtenidos.



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'madb' and a table named 'pacientes'. The table contains the following data:

id	created_at	updated_at	apellidos	nombres	cedula	edad
8	2022-03-04 03:05:10	2022-03-04 03:05:10	Patricio	Irujes	1001777100	54
9	2022-03-04 03:05:07	2022-03-04 03:05:07	Rosa Maria	Checa	1000454742	73
10	2022-03-04 03:59:42	2022-03-04 03:59:42	Soledad Alexandra	Valenzuela Checa	1003841564	29
11	2022-03-04 04:26:25	2022-03-04 04:26:25	Samia del Rosario	Valenzuela Checa	1002377677	47
12	2022-03-08 06:12:24	2022-03-08 06:12:24	Diego Rubén	León Espinoza	1002063095	50
13	2022-03-11 06:43:03	2022-03-11 06:43:03	Alexandra Jadira	Semper Ruiz	1002623799	45

The row with id 13 is highlighted in red. The interface also shows navigation options like 'Browse', 'Structure', 'SQL', 'Search', 'Insert', 'Export', 'Import', and 'More'. The 'Query results operations' section includes 'Print', 'Copy to clipboard', 'Export', 'Display chart', and 'Create view'. The 'Bookmark this SQL query' section is also visible.

pi (raspberrypi): VNC Viewer

localhost / localhost / madb / historials | phpMyAdmin 4.6.6deb5 - Chromium

localhost / localhost / m: x +

http://localhost/phpmyadmin/tbl_change.php?db=madb&table=historials&where_clause=%60historials%60...

Server: localhost:3306 » Database: madb » Table: historials

Browse Structure SQL Search Insert Export Import More

`SELECT * FROM `historials` ORDER BY `paciente_id` ASC`

Profiling [Edit inline] [Edit] [Explain SQL] [Create PHP code] [Refresh]

<< < 37 Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: historials_pac

+ Options

		id	created_at	updated_at	pulso_cardiaco	estado	paciente_id
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2729	2022-03-08 06:46:30	2022-03-08 06:46:30	123.60	Taquicardia	13
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2730	2022-03-08 06:46:32	2022-03-08 06:46:32	123.60	Taquicardia	13
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2731	2022-03-08 06:46:34	2022-03-08 06:46:34	123.00	Taquicardia	13
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2732	2022-03-08 06:46:36	2022-03-08 06:46:36	123.00	Taquicardia	13
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2733	2022-03-08 06:46:38	2022-03-08 06:46:38	123.00	Taquicardia	13
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2734	2022-03-08 06:46:40	2022-03-08 06:46:40	123.00	Taquicardia	13
<input type="checkbox"/>	Edit Copy Delete	2735	2022-03-08 06:46:42	2022-03-08 06:46:42	123.00	Taquicardia	13

↑ Check all With selected: [Edit](#) [Copy](#) [Delete](#) [Export](#)

<< < 37 Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: historials_pac

Console results operations