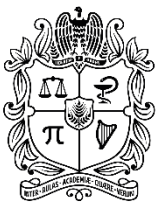


UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PORTATIL DE MEDICIÓN DE SIGNOS VITALES PARA PACIENTES CON REQUERIMIENTOS DE MEDICIÓN CONSTANTE, PARA LA RECOMENDACIÓN DE ACCIONES BASADAS EN LA PATOLOGÍA DEL PACIENTE.

David Pulgarín Velásquez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de minas, Departamento de las ciencias de la computación y la decisión

Medellín, Colombia

2019

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PORTATIL DE MEDICIÓN DE SIGNOS VITALES PARA PACIENTES CON REQUERIMIENTOS DE MEDICIÓN CONSTANTE, PARA LA RECOMENDACIÓN DE ACCIONES BASADAS EN LA PATOLOGÍA DEL PACIENTE.

David Pulgarin Velasquez

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería de Sistemas

Director (a):

Ph.D. Jaime Alberto Guzmán Luna

Línea de Investigación:

Biomédica y Electrónica

Grupo de Investigación:

SintelWeb

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de minas, Departamento de las ciencias de la computación y la decisión

Medellín, Colombia

2019

Resumen

El presente trabajo detalla el proceso de diseño e implementación de un sistema portátil de medición de signos vitales en pacientes con requerimientos de medición constante que permite dar a conocer el estado del paciente, identificar anomalías médicas específicas y recomendarle cómo proceder en estos casos. Igualmente, el sistema permite comunicar a un acompañante del paciente, un estado de alerta y las respectivas recomendaciones a proceder cuando se identifica algún tipo de anomalía.

Para el desarrollo de este sistema se realizó un análisis de las diferentes plataformas de sensado que ofrece el mercado, junto con los sistemas de visualización que permiten darle al paciente la información necesaria. Durante el diseño e implementación del sistema se contó con un experto en el área médica quien ayudó a definir los requerimientos y el conjunto de recomendaciones que brinda el sistema a los usuarios del equipo. Una vez implementado el sistema, se realizaron las pruebas de validación con el fin de verificar que las mediciones tengan el nivel de fidelidad deseado y que el sistema de alarmas trabaje correctamente, tanto a nivel de medición como de notificación de algún evento y realice la recomendación adecuada.

Palabras clave: pulso oximetría, ritmo cardiaco, biomédica, saturación, arritmia, baja saturación, asistolia.

Title

IMPLEMENTATION OF A PORTABLE VITAL SIGNS MEASUREMENT SYSTEM FOR PATIENTS WITH CONSTANT MEASUREMENT REQUIREMENTS, FOR THE RECOMMENDATION OF ACTIONS BASED ON THE PATIENT'S PATHOLOGY.

Abstract

The present work details the process of design and implementation of a portable vital signs measurement system in patients with constant measurement requirements that allows to publicize the patient's condition, identify specific medical abnormalities and recommend how to proceed in these cases. Likewise, the system allows communicating to a patient's companion, a state of alert and the respective recommendations to proceed when any type of anomaly is identified.

For the development of this system, an analysis was made of the different sensing platforms offered by the market, together with the visualization systems that allow the patient to be given the necessary information. During the design and implementation of the system, there was an expert in the medical area who helped define the requirements and the set of recommendations that the system provides to the users of the equipment. Once the system was implemented, validation tests were carried out in order to verify that the measurements have the desired level of fidelity and that the alarm system works correctly, both at the measurement level and in the notification of some event and make the recommendation adequate.

Keywords: pulse oximetry, heart rate, biomedical, saturation, arrhythmia, low saturation, asystole.

Contenido

Pág.

1. Descripción General 16
1.1 Planteamiento del Problema 16
1.2 Justificación 18
1.3 Objetivos 19
1.3.1 Objetivo General 19
1.3.2 Objetivos Específicos 19
1.4 Metodología y Alcance 20

2. Capítulo 2: Marco Teórico 21
2.1 Arritmia Cardiaca 21
2.1.1 Frecuencia Cardíaca 22
2.2 Baja Saturación 24
2.2.1 El Oxígeno 24
2.2.2 La Hemoglobina 25
2.3 Asistolias 26

3. Arquitectura del sistema 27
3.1 Componentes de Hardware del sistema 27
3.1.1 Hardware para la Medición de Arritmias 28
3.1.2 Hardware para la Medición de Baja Saturaciones de Oxígeno 28
3.1.3 Hardware para la Medición de Asistolias 29
3.2 Arquitectura del Sistema 30

4. Diseño del Sistema 32
4.1 Diseño del sistema del paciente 33
4.1.1 Actores 33
4.1.2 Requisitos funcionales 33
4.1.3 Casos de uso del sistema paciente 34
4.1.4 Pseudocodigo del sistema paciente 36
4.2 Diseño del sistema acompañante 39
4.2.1 Actores 39
4.2.2 Requisitos funcionales 39
4.2.3 Casos de uso del sistema acompañante 39
4.2.4 Pseudocodigo del sistema acompañante 41
4.3 Diseño del sistema Wereable 43
4.3.1 Elección de los sensores del sistema a utilizar 43
4.3.2 Diseño físico (Hardware) del sistema Wereable 46

4.3.3 Diseño del software del sistema wereable 50
4.4 Recomendaciones del Sistema 56
4.4.1 Recomendaciones para las arritmias 56
4.4.2 Recomendaciones para las asistolias 57
4.4.3 Recomendaciones ante bajas saturaciones de oxigeno 58
4.5 Interacción de componentes y diagrama de actividades 59

5. Implementación del Sistema Rebeca 62
5.1 Implementación del sistema Wereable 62
5.1.1 Implementación de componente físico (Hardware) 62
5.1.2 Implementación del software 66
5.2 Implementación del sistema paciente 67
5.3 Implementación del sistema acompañante 70

6. Pruebas del sistema 73
6.1 Validaciones funcionales del sistema 73
6.2 Validaciones no funcionales 76
6.3 Conclusiones de las pruebas 78

7. Conclusiones y trabajo futuro 79
7.1 Conclusiones 79
7.2 Trabajos futuros 80

Anexos del proyecto……81

Lista de Ilustraciones

Pág.

Ilustración 1: Sistema eléctrico del corazón (Santiago & Alonso, 2010) 22
Ilustración 2: Hemoglobina (Fin & Ingenier, 2015) 26
Ilustración 3: Arquitectura del sistema (diseño propio) 30
Ilustración 4: casos de uso del sistema paciente 34
Ilustración 5:casos de uso sistema acompañante 40
Ilustración 6: Esquemático del sistema 47
Ilustración 7: Etapas del sistema 47
Ilustración 8: Diseño de la PCB 49
Ilustración 9: Capa superior de la PCB 49
Ilustración 10: Capa inferior de la PCB 49
Ilustración 11: casos de uso sistema wereable 51
Ilustración 12: formato del archivo de guardado 54
Ilustración 13 : Componentes del sistema Rebeca y sus funcionalidades 59
Ilustración 14: Diagrama de actividades 60
Ilustración 15: implementación de la placa PCB diseñada (capa superior e inferior) 63
Ilustración 16: implementación del prototipo 63
Ilustración 17 : sistema físico 65
Ilustración 18: fragmento de código de guardado de la información 66
Ilustración 19: fragmento de código de emisión de alarmas 66
Ilustración 20: pantallas de la aplicación rebeca 68
Ilustración 21: recomendaciones de la aplicación rebeca 69
Ilustración 22: código de recomendación auditiva 70
Ilustración 23: interfaces del acompañante 71
Ilustración 24: fragmento de código apagado de la alarma 72
Ilustración 25: pantalla de sensado con botones de simulación 74
Ilustración 26: sistema físico con implementación para simulación 75

Ilustración 27: app rebeca para el paciente 83
Ilustración 28: teléfono para él envió de mensaje 83
Ilustración 29: pantalla de visualización 84
Ilustración 30: campo número de cedula 85
Ilustración 31: botón solicitar datos 85
Ilustración 32: conexión 86
Ilustración 33: botón recomendaciones 87
Ilustración 34: recomendación auditiva 88
Ilustración 35: borrar datos 89
Ilustración 36: botón de llamado 89
Ilustración 37: app acompañante 90
Ilustración 38 : pin out arduino nano 97
Ilustración 39 :pin put max30100 98
Ilustración 40 :pin out hc-06 99
Ilustración 41 : encuesta pregunta 1 99
Ilustración 42: encuesta pregunta 2 100
Ilustración 43: encuesta pregunta 3 100
Ilustración 44: encuesta pregunta 4 101
Ilustración 45: encuesta pregunta 5 101
Ilustración 46: encuesta pregunta 6 102
Ilustración 47: encuesta pregunta 7 102

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1: Valores de frecuencia cardíaca en reposo (Fin & Ingenier, 2015) 23
Tabla 2: valores normales y críticos de las variables 30
Tabla 3: sensores existentes en el mercado para la medición de signos vitales 45
Tabla 4: respuesta de la encuesta 77
Tabla 5: fortalezas y debilidades 78

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
V	Voltage	V	Flujo de carga.
I	Corriente	Amp	Capacidad de mantener el flujo de carga.

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ECG	Electrocardiograma
PCB	Printed Circuit Board
Datasheet	Hoja de datos del elemento electrónico
SpO2	Saturación porcentual de oxigeno
SaO2	Saturación de oxigeno
BPM	Beat per minute
PPM	Pulsaciones por minuto

Introducción

La presente investigación presenta el diseño, la implementación y las pruebas de validación para un sistema de medición de signos vitales. Este sistema nace de observar cómo pacientes con ciertas patologías, como hipertensión o diabetes son enviados por sus respectivas eps-s a que se realicen unos procedimientos llamados seriados. En estos, el paciente realizará medidas de su ritmo cardiaco, de su índice de saturación de oxígeno y de su temperatura. El paciente debe llevar registro de estos datos y dárselos luego a su médico. En el transcurso de estos seriados, los pacientes normalmente no saben identificar los datos que les entregan los dispositivos. Junto a esto, deben utilizar un dispositivo para cada variable. Una falencia de estos dispositivos es el costo, este suele ser elevado. Junto a esta falencia, también se encuentra el cómo se le da el dato al paciente, motivo por el cual para este trabajo se tiene como meta no solo darle al paciente una información clara, si no también darle algo que los sistemas de medición del mercado no ofrecen, y es un sistema de recomendación basado en los signos vitales del usuario, en donde se le indicará qué hacer dependiendo de su estado y anomalía médica identificada. Este sistema se pensó para aquellas personas sin un conocimiento medico básico, que le permita brindar de forma cómoda y práctica la información de sus signos vitales y las indicaciones a seguir en caso de alguna Anomalía. Igualmente, el sistema se pensó que fuera altamente portátil y de muy bajo costo. Por último, es sistema debe permitir que un acompañante pueda recibir un estado de alerta cuando una anomalía médica del paciente ocurra.

El desarrollo del sistema consta de seis capítulos. En el primer capítulo se presenta el problema a solucionar, su justificación, objetivos y la metodología a seguir para su solución. En el segundo capítulo, se describe el marco teórico del proyecto donde se explican todos los conceptos que serán necesarios para el desarrollo y el entendimiento de las variables

que se ven involucradas en el sistema. En el tercer capítulo, se define la arquitectura básica del sistema que se va a implementar. El capítulo cuatro detalla el diseño del sistema de medición de signos vitales y recomendación de anomalías médicas tanto a nivel de hardware como del software. En el capítulo cinco se presenta los detalles de la implementación del sistema. En el capítulo seis se describen las pruebas de validación del sistema con el fin de verificar que el sistema de mediciones y alarmas trabaje correctamente, tanto a nivel de medición como de notificación de algún evento y realice la recomendación adecuada, además de que el desarrollo del sistema final tendrá colaboración con un especialista del área médica, el cual nos brindara piezas claves para el desarrollo del sistema como su certificación después de realizar una evaluación completa al sistema.

1. Descripción General

En este capítulo se presenta el planteamiento del problema, su justificación, objetivos y la metodología y alcance de este trabajo final de maestría.

1.1 Planteamiento del Problema

En el ámbito de las hospitalizaciones, o en el caso de pacientes con patologías específicas, las entidades médicas ven necesario que el paciente esté permanentemente conectado a una serie de dispositivos que le permitan monitorear sus signos vitales, ya sea si está hospitalizado en casa o en las instalaciones médicas. Esto amerita que, constantemente se le estén realizando chequeos a los signos vitales del paciente.

Lo anterior, requiere de personal especializado que esté en capacitad de realizar estos tipos de chequeos ya sea en las instalaciones hospitalarias como en casa, con el fin de interpretar los resultados que estos mostrarán y así saber qué acciones tomar en el cuidado del paciente.

Las instituciones facilitan a los pacientes una serie de dispositivos que son de gran tamaño, así que si el paciente desea moverse por su casa, o por su habitación en el hospital debe desplazarse con el equipo entero, lo que hace que pierda movilidad. Estos equipos son grandes y costosos, lo que lleva a que su reparación sea más compleja, dado el caso que se presente una falla técnica o algún accidente, mientras que en un dispositivo de fabricación económica y de mucho menor tamaño, si se presenta alguno de estos casos el reemplazo del equipo o la reparación de este es mucho más fácil y de menor costo.

Esto, llevó a pensar en la viabilidad de un sistema portable para la medición de los signos vitales del paciente cuyos materiales sean de bajo costo, haciendo que el sistema sea económico en cuanto a fabricación y reparación, dándole así más tranquilidad al paciente, a su acompañante y al centro de salud, ya que en caso de daños el sistema requerirá una mínima cantidad de dinero para su reparación o su cambio, además puede permitirle al paciente moverse con más libertad ya que no tendría que desplazar una serie de grandes dispositivos con él. El dispositivo de medición se planteó que recolectara datos, con el fin de que sean analizados posteriormente por el mismo sistema, dándole al paciente y a su acompañante, el conocimiento de la interpretación de los datos y en caso de producirse alguna anomalía que ambos (paciente y acompañante) conozcan el tipo de anomalía. Lo anterior, el sistema lo realizaría sin limitar la movilidad del paciente.

En este trabajo, el sistema a desarrollado tiene como objetivo tratar los siguientes tipos de anomalía: una arritmia, una baja saturación de oxígeno o una asistolia que vienen siendo los problemas más comunes en cuanto a la medición de signos vitales. A su vez, se busca que la aplicación informe acerca de las posibles acciones a realizar para manejar este tipo de anomalía. De esta manera tanto el paciente como su acompañante tendrán el conocimiento de que acciones tomar.

Como conclusión, lo que se buscaba con este proyecto, era el cómo por medio de sistemas integrados sensar de manera fácil, cómoda y principalmente económica los signos vitales, tales como electrocardiograma (ppm) y pulso oximetro (sao2), con el fin de determinar, arritmias, bajas saturaciones de oxígeno o asistolias, de un paciente específico sin limitar su movilidad. De igual manera este sistema permitiría ayudar no solo al paciente sino también a su acompañante, brindándoles información acerca del estado del paciente, diferenciando este sistema de los dispositivos que están actualmente en el mercado los cuales son de un costo relativamente alto, no entregan la información de manera fácil y entendible. Se planteó entonces un sistema que sea intuitivo al usuario y que su costo sea más económico al de los dispositivos actualmente en el mercado, y que además permite informar lo que debe hacer el paciente y su acompañante en caso de que esté ocurriendo alguna de las anomalías a tratar en este trabajo.

1.2 Justificación

El diseño e implementación de un sistema portátil de medición de signos vitales por medio de la utilización de sistemas integrados, para pacientes que requieran cuidados específicos, tenía como objetivo ayudar a las personas que debido a una patología específica requieran estar en constante monitoreo, o necesiten mediciones periódicas. Dependiendo de esta, el paciente debe ir al hospital a que le revisen sus signos vitales, ya que tanto el paciente como su acompañante en la mayoría de los casos no están capacitados para dicha revisión.

Para ello se propuso diseñar e implementar un sistema portátil de signos vitales, que no solo le permita al paciente moverse con mayor facilidad, ya que estaría portado un dispositivo inalámbrico el cual sensará los signos vitales específicos para la identificación de arritmias, bajas saturaciones de oxígeno o asistolias y brindando esta información tanto a él como a su acompañante, sin importar el lugar donde se encuentre el paciente. Además, se buscó que el sistema fuera lo más económico posible frente a las soluciones existentes, brindándole al usuario mayor tranquilidad y comodidad, al igual que una mayor calidad de vida y autonomía para que realice sus obligaciones y que conozca su diagnóstico exacto de la mano de un dispositivo que sea ligero y principalmente económico.

Este sistema no solo beneficia a los pacientes, otorgándoles más movilidad y ayudándoles a entender su estado actual de salud, sino que también ayuda al acompañante, ya que ellos no siempre poseen el conocimiento acerca de las variables que se ven involucradas en la medición de los signos vitales y qué hacer ante alguna anomalía. El sistema les entrega de una manera entendible el estado del paciente y en caso de ocurrir una anomalía brindar una guía inicial de cómo tratarla primariamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema portátil de medición de signos vitales relacionados a un conjunto de condiciones específicas, para pacientes con requerimiento de medición constante, junto a un sistema de información y alarma que permita dar a conocer el estado del paciente y recomendarle como proceder en caso de anomalías.

1.3.2 Objetivos Específicos

Identificar los tipos de elementos que se usarán en el diseño del sistema portátil de medición de signos vitales, basados en la revisión de la literatura, para definir qué tipo de elementos deben usarse para sensar los signos vitales relacionados a las arritmias, bajas saturaciones de oxígeno y asistolias y definir los componentes de software que permita el tratamiento de la señal de los sensores y realice la medición, identificación de anomalías y las recomendaciones a seguir basado en estas.

Diseñar el sistema de sensado de signos vitales por medio de la utilización de sistemas integrados con el fin de identificar las características detalladas de la placa PCB (printed circuit board) que alojará el sistema de sensado, además de diseñar el código que permitirá el tratamiento de la señal y la identificación de anomalías en la misma para permitir la emisión de alertas.

Implementar el sistema de sensado de signos vitales junto con su sistema de alarmas y recomendaciones, basado en anomalías en la placa PCB (printed circuit board) con el fin de tener un producto de validación del diseño propuesto.

Diseñar e implementar las pruebas de validación del sistema con el fin de verificar que las mediciones tengan el nivel de fidelidad deseado y que el sistema de alarmas trabaje

correctamente, tanto a nivel de medición como de notificación de algún evento y realice la recomendación adecuada.

1.4 Metodología y Alcance

El desarrollo del proyecto se realizó en dos fases: Una fase de investigación teórica donde se contempló como primera actividad la identificación de elementos físicos que conforman el sistema portátil de medición de signos vitales y los componentes de software que permiten el tratamiento de la señal de los sensores y realizan la medición, identificación de anomalías y las recomendaciones a seguir. Como segunda actividad se contempló el diseño del sistema por medio de la utilización de sistemas integrados con el fin de identificar las características de placa PCB (*printed circuit board*) que aloja el sistema de sensado, además del diseño detallado del software que permiten el tratamiento de la señal y la identificación de anomalías en la misma mediante la emisión de alertas.

La segunda fase del proyecto contempló un punto de vista aplicativo, donde se realizó primero la implementación del sistema de sensado de signos vitales junto con su sistema de alarmas y recomendaciones basado en anomalías en la placa PCB (printed circuit board). Luego se realiizó el diseño y la implementación de las pruebas de validación del sistema con el fin de verificar que las mediciones tuvieran el nivel de fidelidad deseado y que el sistema de alarmas trabaje correctamente, tanto a nivel de medición como de notificación de algún evento y realice la recomendación adecuada.

El proyecto deja como productos, en primer lugar, un listado de los componentes que se usarán en el sistema, junto a esto están los archivos del esquemático el cual es el plano del sistema con cada uno de sus elementos funcionando correctamente. Igualmente se encuentra la placa PCB, la cual fue diseñada en el software libre FRITZING, siendo esta el habitáculo de los componentes, también se codificó el sistema de análisis de las señales junto con el sistema de recomendación y de alarmas implementado. También se obtuvieron los respectivos archivos APK, que contienen las aplicaciones tanto del paciente como del acompañante.

2. Capítulo 2: Marco Teórico

En este capítulo se tiene como finalidad presentar un acercamiento a las definiciones de arritmias, bajas saturaciones de oxígeno y asistolias. Para lograr entender estas definiciones y lo que conlleva cada una de ellas, se presentan primero los términos que están detrás de las arritmias, las bajas saturaciones de oxígeno y las asistolias. Así mismo se presentan definiciones claves como frecuencia cardiaca, oxígeno, hemoglobina, entre otros conceptos relacionados que deben ser explicados si se desea entender tanto el significado de la condición, como lo que la origina.

A medida que se muestran las definiciones y los conceptos, detrás de estas se da un primer vistazo a las variables de medición para la identificación de cada una, variables que son parte fundamental para el progreso de los capítulos posteriores.

2.1 Arritmia Cardiaca

La primera condición a estudiar en este capítulo son las arritmias cardiacas, las cuales constituyen una importante causa de solicitud de los servicios de emergencias y de ingreso a los servicios de urgencias, según (Guerra, 2012) una arritmia cardiaca es una alteración en la producción o conducción normal del estímulo cardiaco, produciendo una alteración en la frecuencia cardiaca, lo que se ve reflejado más comúnmente en latidos irregulares o en algunos casos en un aumento del nivel de latidos normales, lo que normalmente se conoce como una alta presión arterial.

Existen causas leves para la generación de las arritmias como son los altos niveles de potasio en el organismo o la ingesta de sustancias anormales, a su vez también se generan

casos de arritmias pre-infarto o por daños en las paredes del corazón, lo que hace a la identificación de esta condición algo de gran importancia a la hora de realizar un análisis de signos vitales.

Pero para entender completamente las arritmias es necesario conocer el concepto frecuencia cardiaca, su funcionamiento y sus parámetros normales y anormales a la hora de realizar una medición. Ya que, sin ser el punto de origen de las arritmias, la frecuencia cardiaca (ppm) es la variable especifica que afecta esta condición.

2.1.1 Frecuencia Cardíaca

La frecuencia cardíaca, o también conocido como pulso cardíaco, equivale a cuantas veces late el corazón en un minuto, la variable de medición específica para la medición de la frecuencia cardíaca son las pulsaciones por minuto, también llamadas ppm o bpm.

El autor (Santiago & Alonso, 2010) explica el funcionamiento de la generación de latidos debido a que este es una bomba de tejido muscular, que al igual que una bomba eléctrica convencional, necesita una fuente de energía para su funcionamiento, la acción de bombeo del corazón se debe al sistema de conducción eléctrica que este posee y el cual se muestra en la ilustración 1.

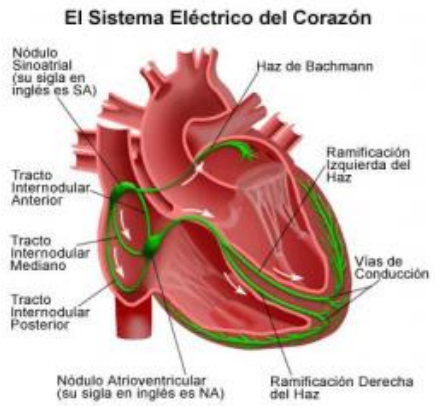


Ilustración 1: Sistema eléctrico del corazón (Santiago & Alonso, 2010)

Este sistema de conducción eléctrico utiliza la sangre que circula por el corazón como un transmisor de pulsos, (Fin & Ingenier, 2015) describen a la sangre como un fluido pulsátil, o un fluido transmisor de pulsos, lo que permite realizar mediciones por medio de sistemas detectores de pulsos, este autor define el comportamiento de la frecuencia cardíaca en reposo de la siguiente manera.

Frecuencia cardíaca en reposo para hombres				
Edad	**Mala**	**Normal**	**Buena**	**Muy buena**
20-29	86 o más	70-84	62-68	60 o menos
30-39	86 o más	72-84	64-70	62 o menos
40-49	90 o más	74-88	66-72	64 o menos
50-59	90 o más	74-88	68-74	66 o menos
60 o más	94 o más	76-90	70-76	68 o menos

Frecuencia cardíaca en reposo para mujeres				
Edad	**Mala**	**Normal**	**Buena**	**Muy buena**
20-29	96 o más	78-94	72-76	70 o menos
30-39	98 o más	80-96	72-78	70 o menos
40-49	100 o más	80-98	74-78	72 o menos
50-59	104 o más	84-102	76-82	74 o menos
60 o más	108 o más	88-106	78-88	78 o menos

Tabla 1: Valores de frecuencia cardíaca en reposo (Fin & Ingenier, 2015)

La tabla 1 expresa los niveles normales y anormales de las pulsaciones por minuto (PPM), y a su vez es una referencia a la hora de identificar anormalidades cardiacas como las arritmias. Como se explicó anteriormente, las arritmias pueden ser consideradas como una falla en el sincronismo de los PPM por lo que a la hora de realizar una medición si el paciente padece de una arritmia así sea leve, se generara una alteración en estos valores normales y si es una arritmia con alta presión arterial, de igual manera se generara una falta de sincronismo en lo que se conoce como presión alta.

2.2 Baja Saturación

Después de explicar en qué consisten las arritmias cardíacas, la segunda condición a analizar, son las bajas saturaciones de oxígeno, condición que al igual que las arritmias son de gran importancia a la hora de realizar un diagnóstico de signos vitales. Según los estudios de (Galilmedical, 2013) la baja saturación de oxígeno se define como la disminución de oxígeno en la hemoglobina presente en la sangre arterial, esta hemoglobina debe ser medida preferiblemente en los dedos de las manos, los pies o las orejas, los cuales son los lugares por donde mejor se puede captar el nivel del oxígeno en la hemoglobina.

Una baja saturación de oxígeno debe ser tratada prontamente ya que la falta de este en la sangre puede causar enfermedades como la anemia, o en casos extremos donde el paciente no conoce su condición, una baja saturación constante puede llegar a ser una leucemia (cáncer en la sangre).

Con el fin de entender mejor la baja saturación de oxígeno a continuación se explicarán los conceptos de oxígeno y hemoglobina, los cuales son la clave para el conocimiento del nivel de saturación de oxígeno.

2.2.1 El Oxígeno

El oxígeno es un elemento químico presente en la vida de todos los seres humanos, conocido simbólicamente como O2, este a su vez es un gas, del cual se compone el 20,9% de la atmosfera terrestre. Según los estudios de (Bencomo, Villazana, & Salas, 2016), el oxígeno es de gran importancia en el ciclo energético de los seres vivos, teniendo alta importancia en el proceso de respiración celular. Esto a su vez es fundamental para la medición de signos como son el pulso cardíaco y la oximetría de pulso.

2.2.2 La Hemoglobina

La hemoglobina es una heteroproteína de la sangre. Es la encargada de que sea de color rojo y cumple la función primordial de transportar el oxígeno a todos los órganos. Una vez llevado, esta recoge el dióxido de carbono hasta los pulmones, lugar donde es eliminado debido a que este es nocivo para el organismo, al momento de que este dióxido de carbono llega a los pulmones se elimina por medio de la exhalación, proceso en el que el cuerpo humano elimina el dióxido de carbono que se puede presentar en el organismo.

Según el autor (Fin & Ingenier, 2015), el cual habla de dos cambios que ocurren en la hemoglobina durante el proceso de oxigenación de la sangre, uno de ellos es la hemoglobina oxigenada (oxihemoglobina). Esta se da cuando la hemoglobina se une con el oxígeno, con el fin de llevarlo a través del cuerpo humano. En este proceso la hemoglobina es de aspecto rojo intenso, el cual es el color característico de la sangre arterial, en este proceso la hemoglobina ya siendo hemoglobina oxigenada, se encarga de oxigenar todas las partes del cuerpo, y cuando esta oxigena el cuerpo, recoge el dióxido de carbono que pueda estar presente en cuerpo, con el fin de expulsarlo. Cuando la hemoglobina libera el oxígeno se llama hemoglobina reducida, para esta parte del proceso la hemoglobina toma un color rojo oscuro o azulado, la cual es conocida como la sangre venosa. La diferencia entre estas dos hemoglobinas es lo que permite identificar el nivel de saturación de oxígeno, si la sangre a la hora de la medición presenta principalmente un tono rojo intenso significa que está bien oxigenada, y que está repartiendo este oxígeno a través del cuerpo, mientras que si se presenta principalmente de un tono oscuro o azul significa que el cuerpo no está realizando la debida oxigenación, y está represando el dióxido de carbono el cual es nocivo para la salud. este concepto es necesario a la hora de realizar la medición del pulso oximetría, concepto al cual se le llama saturación de oxígeno y se le determino la variable sao2. la ilustración 2 muestra los cambios en la hemoglobina a la hora de transportar el oxígeno y el dióxido de carbono. La identificación de estos cambios en la hemoglobina a la hora de transportar el oxígeno por el cuerpo son

los datos necesarios para efectuar la medición, dándonos a conocer el nivel de saturación de oxígeno.

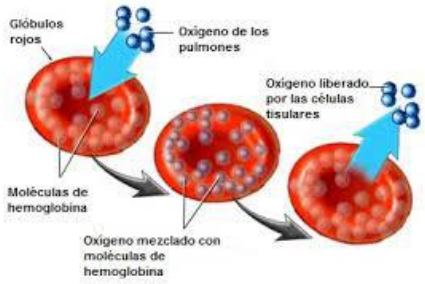


Ilustración 2: Hemoglobina (Fin & Ingenier, 2015)

2.3 Asistolias

Una vez entendido el concepto de arritmia y baja saturación de oxígeno, y los conceptos que van ligados a este, es momento de analizar el concepto de la última condición a tratar, la asistolia.

De acuerdo a las investigaciones de (Pacheco, Ramón, & Espinal, 2000), las asistolias son producidas por la mezcla de la falta de oxígeno en la sangre, y la disminución de ritmo cardíaco, condición la cual una vez se identifica un descenso en estas dos variables debe ser tratado inmediatamente, esto se debe a que si no se trata con prontitud, el paciente podrá entrar en un estado de paro cardiorrespiratorio.

Esta condición está ligada con las definiciones anteriores de frecuencia cardíaca, oxígeno y hemoglobina, debido a que unifica los dos conceptos, llevándola a ser una de las condiciones más peligrosas si no se trata inmediatamente.

Esta condición como tal no tiene una variable ya que esta se presenta en combinación de las dos variables anteriores, iniciar con una disminución de las variables de saturación de oxígeno (sao2) y frecuencia cardíaca (ppm), por lo que si se identifica se debe poner suma atención al procedimiento a seguir, o en caso de identificarse tarde, el paciente deberá entrar al sistema de urgencias ya que puede estar sufriendo un paro cardiorrespiratorio.

3. Arquitectura del sistema

En este capítulo se identifican los diferentes componentes que conformarán el sistema portátil de medición de signos vitales, que permite sensar los signos vitales relacionados a las arritmias, bajas saturaciones de oxígeno y asistolias para obtener la medición, identificación de anomalías y las recomendaciones a seguir basado en estas.

Primero se describe Primero se identifican los componentes de hardware requerido, Luego se detalla la arquitectura general del sistema de información a desarrollar describiendo sus principales componentes.

3.1 Componentes de Hardware del sistema

Para esta sección se analizarán componentes principales a nivel de hardware que requiere el sistema, se describen a continuación asociando cada una de las variables a medir como son: arritmias, asistolias y bajas saturaciones de oxígeno.

3.1.1 Hardware para la Medición de Arritmias

En este apartado se realiza un análisis de las arritmias, pero ya no a nivel teórico como se hizo en el capítulo 2, si no a un nivel más práctico, identificando el método de medición para poder realizar la elección correcta del dispositivo en el capítulo siguiente.

Las arritmias como se explicó anteriormente son la alteración de la frecuencia cardíaca (ppm). La medición e identificación de las arritmias se hace mediante el uso de la frecuencia cardíaca como se analizó en el capítulo 2. Para su medición, de manera portátil, sencilla y no invasiva, se busca la utilización de un dispositivo que permita el análisis de la hemoglobina presente en las venas y la identificación de la frecuencia cardiaca.

El dispositivo para la medición no invasiva debería ser un dispositivo de haz de luz, el cual sea emitido por el sensor y nos permita captar la frecuencia cardiaca, el dispositivo preferiblemente de ser de luz roja, este tipo de luz en específico tiene una frecuencia muy alta del orden de los 8x10^14Hz, esta frecuencia tan alta permite atravesar la piel y los músculos que rodean las venas Una vez llega a estas, la luz rebotará cada vez pase un flujo de sangre renovada la cual viene directamente del corazón, el constante paso de la sangre es lo que llamamos frecuencia cardíaca, esta también variable también se le conoce como pulsos por minuto y sus siglas son PPM, siendo esta la variable a medir para este caso en específico. El número de pulsos por minuto será resumido por la sigla PPM. Si el flujo de sangre no se presenta dentro de los rangos establecidos por la medicina, rangos los cuales nos fueron otorgados por un médico experto de los cuales se hablarán en las siguientes secciones, el sensor permitirá la detección de una anomalía.

3.1.2 Hardware para la Medición de Baja Saturaciones de Oxígeno

La medición de la baja saturación de oxígeno a nivel de hardware busca la medición de la del nivel de oxígeno existente en la sangre, Una **saturación de oxígeno** en la **sangre** inferior al 90% implicaría una hipoxia que puede ser originada, por varios factores, como la anemia, a esta medición se le conoce como SaO2 (saturación de oxígeno).

Para la medición de la saturación de oxígeno, el sensor deseado constaría de 2 partes: un emisor de luz y un detector de luz. Los haces de luz brillan a través de los tejidos de un lado del sensor a otro. La sangre y los tejidos, a medida que se libera el oxígeno cambian su tono permitiendo mayor paso de luz, parte de la luz emitida por el sensor regresa a este.

La luz absorbida por la sangre varía dependiendo del nivel de saturación de la hemoglobina ya que esta cambia de tono dependiendo de cómo está saturando, como lo explica la sección 2.2.2. EL foto-detector detecta la cantidad de luz transmitida a medida que la sangre pulsa a través por los tejidos y el microprocesador calcula un valor para la saturación de oxígeno (SaO2) Resumiendo la función a nivel de hardware del oxímetro, este mide la diferencia de la luz que sale del sensor y la que regresa; dependiendo del tono de la hemoglobina regresara más o menos luz, permitiendo saber el estado de esta y la saturación de oxígeno del paciente. A nivel médico, el dispositivo de sensado más comercial y el más común para la saturación de oxígeno, es el de emisor de luz, debido a que en el mercado este es el único dispositivo capaz de calcular correctamente el estado de la hemoglobina. Por lo anterior en este trabajo se elige usar un sensor emisor de haz de luz para la medición de la SaO2. En el mercado se encuentran sensores cuya diferencia es el precio, un segmento en donde el CJMCU-30100 y el MAX30100 son los competidores más fuertes con un precio de 35.000 COP y 20.000 COP respectivamente.

3.1.3 Hardware para la Medición de Asistolias

Cómo se explicó en la sección 2.3 la medición de la condición de asistolia está basada en las mediciones de Arritmias y de Baja Saturaciones de Oxígeno. Si la saturación de oxígeno disminuye, disminuyendo a su vez la frecuencia cardíaca, se producirá una asistolia. Por lo anterior, el hardware necesario para la realización de esta medición comprende el hardware para la medición de Arritmias y el hardware para la medición de Baja Saturaciones de Oxígeno. Siendo así, la interpretación de esta variable es más un cálculo computacional que se implementa mediante un software.

Una vez identificados todos los requerimientos de hardware, se realizo la tabla con la cual se emitirán las recomendaciones, los valores de la tabla nos fueron dados por el medico asesor del proyecto el Medico Luis Fernando Zuluaga, médico general y especialista en salud ocupacional, cuya respectiva validación se encuentra en la entrevista que se le hizo, ubicada en anexo C.

VARIABLES	**FRECUENCIA CARDIACA (PPM)**	**SATURACION DE OXIGENO (SaO2)**
ESTADO DESEADO	entre 60 y 100	más de 90%
CONDICION	**PUNTO CRITICO**	
	FRECUENCIA CARDIACA (PPM)	**SATURACION DE OXIGENO (SaO2)**
ARRITMIA	mayor a 100 PPM	no aplica
BAJA SATURACION DE OXIGENO	no aplica	menor 90%
ASISTOLA	menor a 60	menor a 80

Tabla 2: valores normales y críticos de las variables

3.2 Arquitectura del Sistema

Para este apartado se presenta la arquitectura general del sistema, describiendo sus componentes, usuarios y cómo cada uno de estos intervienen en el sistema.

Ilustración 3: Arquitectura del sistema (diseño propio)

En la ilustración 3 se identifican dos usuarios de tipo persona en el sistema y un usuario de tipo dispositivo electrónico llamado dispositivo *wereable*. El primer usuario de tipo persona es el *paciente*. Este usuario mediante la app del aplicativo Rebeca se conecta al dispositivo *wereable,* por medio de una comunicación bluetooth, con el fin de que el paciente pueda realizar la correcta visualización de las variables y las recomendaciones correspondientes en caso de necesitarlas. Además, las apps del paciente se encargan de mandar un mensaje de texto a la apps del segundo usuario de tipo persona llamado *acompañante* para alertarlo en caso de que se presente una anomalía en el paciente.

De manera más especifica el sistema Rebeca se compone de: dos usuarios personas (paciente y acompañante), un usuario de tipo dispositivo electrónico (dispositivo wereable), y dos aplicaciones apk completamente independiente asociadas al paciente y al acompañante.

Para iniciar el sistema lo primero que debe hacer el paciente es colocarse el dispositivo, una vez este lo encienda comenzara a sensar. En caso de tener una señal estable en alguna de las 3 variables en ese momento el dispositivo emitirá una alerta sonora en caso de que el paciente haya olvidado realizar la conexión al celular. Una vez el usuario realice la conexión dispositivo-app, se iniciará la comunicación para la visualización, y en caso de que se genere alguna anomalía en el paciente, la app del paciente realiza dos acciones: i) enviar un mensaje de texto (sms) al acompañante, alertándolo de lo sucedido, y ii) emite al paciente una alerta sonora y visual junto con una recomendación que deberá seguir para estabilizar sus variables. En la app del acompañante, una vez recibido el sms, emite al paciente una alerta sonora y visual junto con la recomendación que deberá seguir para estabilizar las variables del paciente.

4. Diseño del Sistema

Este capítulo presenta el diseño detallado de cada uno de los componentes del sistema Rebeca descrito en el capítulo 3. Se describe primero el sistema del paciente, luego el sistema del acompañante y por último el sistema wereable. Por último, se presentan algunos aspectos específicos del sistema como son el guardado de los datos, y la interacción de estos tres sistemas y las recomendaciones que el sistema emite en caso de presentarse alguna anomalía. Estas recomendaciones están avaladas por un profesional en el área de la salud.

En este capítulo se presentarán estas recomendaciones, las cuales, siendo parte del sistema del paciente, se presentarán una a una en la descripción general ya que el acompañante también tendrá acceso a estas, y en la sección de anexos se podrá apreciar el acta de verificación de las recomendaciones a implementar en el sistema.

Este capítulo dejará como producto, el diagrama , y las respectivas tablas de casos de uso del sistema, para cada uno de los sistemas, junto con la elección especifica de los sensores a implementar, los esquemas de diseño del sistema, la arquitectura funcional y el código, para su posterior implementación, además en la sección de anexos se apreciarán las hojas de datos (datasheets) de cada uno de los componentes, además de los casos de uso respectivo del sistema y el acta de validación de las recomendaciones también se encontrará presente en la sección de anexos.

4.1 Diseño del sistema del paciente

En esta sección se realiza la descripción de los actores implicados en el sistema, siguiendo con los requisitos funcionales del paciente, los casos de usos y los pseudocódigo del sistema asociado al asociados al usuario paciente, al acompañante y al hardware del sistema, ya que cada uno tiene casos de usos independientes de los otros subsistemas, además en las sección 4.4 de este capítulo se indican, recomendaciones que fueron previamente evaluadas y validadas por el medico asesor, estas serán las recomendaciones que se mostraran tanto para el sistema paciente como para el acompañante.

4.1.1 Actores

Los actores para este apartado son:

Paciente: Es la persona a la cual se le harán las mediciones de las variables con el fin de emitir una recomendación.

4.1.2 Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales para el paciente son:

- **El sistema debe permitir:** solicitar las variables de saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca al sistema *wereable*.
- **El sistema debe permitir:** que el aplicativo reciba y visualice los datos de sensado de las variables una vez sean solicitados al sistema *wereable*.
- **El sistema debe permitir:** la identificación de las anomalías de tipo asistolias, bajas saturaciones de oxígeno y arritmias, y basado en esto la emisión de recomendaciones, tanto para el paciente como para el acompañante.

El sistema debe permitir: en caso de presentarse en la paciente alguna de las anomalías, generar alertas vía mensaje de texto para el acompañante y sensorica en el propio teléfono celular del paciente con vibración y Sonora en el sistema wereable

4.1.3 Casos de uso del sistema paciente

Los casos de uso a implementar en el sistema se describen a continuación.

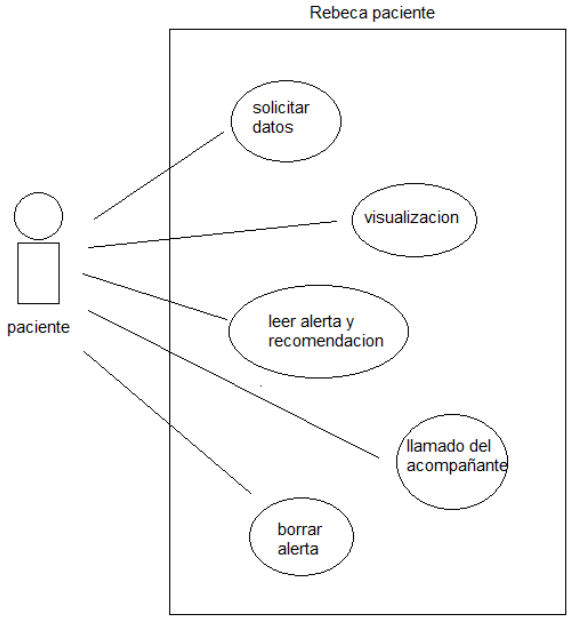


Ilustración 4: casos de uso del sistema paciente

Caso de uso	Solicitar los datos del sistema wereable
Actores	Usuario
Resumen	El solicitara los datos del sensor en el sistema wereable por medio del botón solicitar datos
Precondiciones	App instalada y ejecutándose

Caso de uso	Leer alertas y recomendaciones
Actores	Usuario
Resumen	El usuario podrá leer el tipo de anomalía y las recomendaciones en caso de presentarse una anomalía.
Precondiciones	Identificación de una anomalía

Caso de uso	Llamado de acompañante
Actores	Usuario
Resumen	Por medio del botón llamado el paciente podrá llamar a su acompañante en cualquier momento si lo desea
Precondiciones	App iniciada

Caso de uso	Borrar condición de alerta
Actores	Usuario
Resumen	Borrar datos de la última anomalía
Precondiciones	Identificación de una anomalía

Caso de uso	Reproducción de voz
Actores	Acompañante
Resumen	El acompañante podrá reproducir las recomendaciones del sistema en un audio
Precondiciones	Alerta existente

Caso de uso	Apagado de la alarma vibratoria
Actores	Paciente
Resumen	El acompañante podrá apagar la alarma de vibración que le emite el sistema a la hora de presentarse una alerta
Precondiciones	Alerta existente

4.1.4 Pseudocodigo del sistema paciente

El pseudocodigo del algoritmo principal asociado a este subsistema del paciente se muestra a continuación.

1. Inicializar la app
2. Pantalla de inicio visualiza botones sensado y admin
3. Si admin click
4. Cambia a pantalla de teléfono
5. Se introduce teléfono, click en ingresar almaceno teléfono en variable inicial entonces abre pantalla de sensado, con variable iniciar para envío de mensajes de texto

6. Si 4 no se cumple, si sensar click abre pantalla de sensado
7. Pantalla de sensado inicializa las variables del entorno en 0 (variables para la visualización de ppm y sat)
8. Si solicita el acceso a la visualización click, si acceso es correcto entonces habilita recepción de datos y habilita campos de visualización, aparece mensaje conectado, si no aparece mensaje no se pudo conectar.
9. Si conexión es correcta se reciben datos en lista
10. Se discriminan los datos y almaceando datos en ppm y sat, variables ppm y sat visualizadas en campos de visualización respectivos y habilitados en 8
11. Variables ppm y sat visualizadas en los textbox respectivos, el sistema espera señal estable.
12. Si datos estables correctos, entonces visualizara la palabra buen estado, sistema bloquea variable de envío de mensajes limitando a 1 solo mensaje
13. si ppm estable está en valores críticos entonces activar vibración, emitir sms al acompañante y habilitar la recomendación arritmia (emite audio con la alerta), sistema bloquea variable de envío de mensajes limitando a 1 solo mensaje
14. si sat estable está en valores críticos activar vibración, emitir sms al acompañante y habilitar la recomendación baja saturación de oxígeno (emite audio con la alerta), sistema bloquea variable de envió de mensajes limitando a 1 solo mensaje
15. si sat y ppm estable están en valores críticos entonces activar vibración, emitir sms al acompañante y emitir recomendación asistolia (emite audio con la alerta), sistema bloquea variable de envío de mensajes limitando a 1 solo mensaje
16. si sat y ppm estables sistema desbloquea variables de envío de mensajes, dejándolas libres para alertas posteriores
17. si botón alarma pulsado, desactivar alarma para cualquiera de los casos
18. si botón llamar acompáñate pulsado, enviar sms al acompañante
19. si botón desconectado pulsado, cortar enlace entre app y dispositivo
20. si botón apagar alarma pulsado rompe ciclo de vibración continua
21. si al iniciar la pantalla, variable recomendación tiene dato entonces analizar dato
22. si variable de regreso = 1 mantener activa recomendación arritmia
23. si variable de regreso = 2 mantener activa recomendación asistolia
24. si variable de regreso = 3 mantener activa recomendación arritmia

25. si botón borrar datos pulsado, habilita sí o no, cuando botón si pulsado todas las variables del sistema a 0 menos las variables de visualización ppm y sat, si click en no botones si y no deshabilitar y desaparecer (app continua normal)

el pseudocodigo anterior explica el funcionamiento de la aplicación del paciente, donde una vez iniciada la aplicación el paciente solicitara los datos del dispositivo wereable, con el fin de vitalizarlos, una vez visualizados el paciente podrá conocer el estado de sus variables, y en caso de una alerta el sistema le emitirá una alarma, y le indicara el tipo de alerta a la se asocia el estado del paciente, junto a esto el sistema le habilitara el botón recomendaciones, con el fin de iniciar la atención preliminar, además se adiciona el botón de borrar datos que en términos generales lo que hace es un reseteo parcial de la aplicación.

Por último, a continuación, se describe el pseudocódigo del algoritmo asociado a la funcionalidad del sistema relacionada con mostrarle al paciente las recomendaciones a seguir ante una anomalía.

1. Mostrar recomendación
2. Si botón reproducción auditiva es pulsado entonces reproducir el audio con las recomendaciones
3. Si botón regresar es pulsado, cambiar de pantalla y almacenar el estado de recomendación previamente visitado, dependiendo de la recomendación esta variable hace que la recomendación de esa condición se mantenga habilitada

Para este pseudocodigo la función es que una vez pulsado el botón de recomendación este cambie la pantalla y deje visualizar las recomendaciones para la atención preliminar del paciente, al mismo tiempo se le otorga al paciente un botón de reproducción de audio, el cual una vez pulsado el sistema comenzara a leer las recomendaciones del paciente si este lo desea, si no solo las leerá y comenzara la atención, una vez realizada la atención

está el botón regresar, botón el cual hará que el sistema regrese al apartado de visualización pero dejando habilitada la última recomendación.

4.2 Diseño del sistema acompañante

A continuación, se explicarán los actores, requisitos funcionales, los casos de uso y los pseudocódigos del sistema asociado al acompañante. Las Recomendaciones se muestran en la Sección 4.4 del capítulo.

4.2.1 Actores

Acompañante: es aquel en usuario que acompaña y atiende al paciente. En caso de ocurrir una anomalía al paciente será notificado mediante un mensaje de texto.

4.2.2 Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales para el sistema del acompañante son:

- **El sistema debe permitir:** identificar el tipo de anomalía asociada al mensaje de texto con alerta de anomalía generado por el paciente.
- **El sistema debe permitir:** activar alarma Sonora cuando llegue mensaje de texto asociado a una anomalía del paciente.
- **El sistema debe permitir:** mostrar la anomalía y recomendación a seguir con el paciente luego de identificar el tipo de anomalía del mensaje de texto.

4.2.3 Casos de uso del sistema acompañante

A continuación, presentaremos los casos de uso del sistema acompañante, una vez terminado esto pasaremos a analizar el sistema wereable.

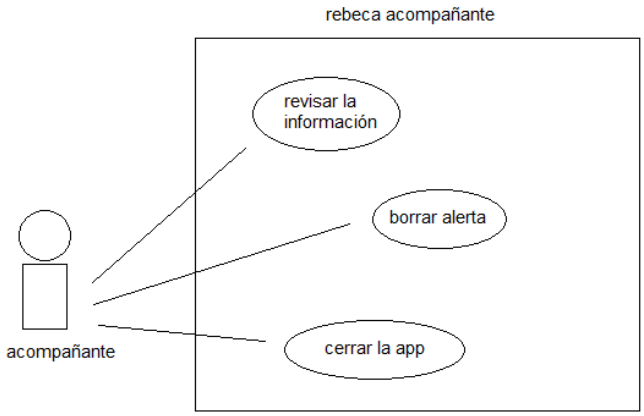


Ilustración 5:casos de uso sistema acompañante

Caso de uso	Revisar la recomendación
Actores	Acompañante
Resumen	leer las recomendaciones una vez se haya identificado el mensaje de texto y su anomalía.
Precondiciones	la identificación previa del tipo de anomalía asociada al mensaje de texto recibido por dicha anomalía.

Caso de uso	Borrar alertas
Actores	Acompañante
Resumen	El acompañante borrara la última alerta en caso de ser necesario.
Precondiciones	Alerta existente

Caso de uso	Reproducción de voz
Actores	Acompañante

Resumen	El acompañante podrá reproducir las recomendaciones del sistema en un audio
Precondiciones	Alerta existente

Caso de uso	Cerrar la app
Actores	Acompañante
Resumen	El acompañante podrá cerrar el app
Precondiciones	La app debe de estar abierta

Caso de uso	Apagado de la alarma sonora y vibratoria
Actores	acompañante
Resumen	El acompañante podrá apagar la alarma de vibración que le emite el sistema a la hora de presentarse una alerta
Precondiciones	Alerta existente

4.2.4 Pseudocodigo del sistema acompañante

Para el sistema del acompañante el pseudocodigo principal es el que se describe a continuación.

1. Inicialización de la aplicación paciente variables de recomendación = 0
2. Si hay mensaje de texto alerta arritmia entrante, habilitar recomendación arritmia
3. Si hay mensaje de texto alerta baja saturación entrante, habilitar recomendación baja saturación
4. Si hay mensaje de texto alerta asistolia entrante, habilitar recomendación asistolia

5. si variable de regreso = 1 mantener activa recomendación arritmia
6. si variable de regreso = 2 mantener activa recomendación asistolia
7. si variable de regreso = 3 mantener activa recomendación arritmia
8. si botón borrar datos pulsado, habilita si o no, cuando botón si pulsado todas las variables del sistema a 0 y limpia textbox de mensaje de alerta, si click en no botones si y no deshabilitar y desaparecer (app continua normal)

Para este pseudocodigo el acompañante inicializara su aplicación y a la hora de que entre un mensaje de texto, el aplicativo lo analizaría, y dependiendo del mensaje, si es uno de los mensajes autorizados el sistema emitirá la debida recomendación a usuario, de igual manera que con la aplicación del paciente el sistema tiene un botón de borrar datos que reiniciara a la misma, deshabilitando recomendaciones que estén previamente habilitadas.

Al acceder a algún apartado de recomendaciones el seudocódigo es el siguiente para cualquiera de las recomendaciones

1. inicializar recomendación
2. Si botón reproducción auditiva es pulsado entonces leer recomendaciones
3. Si botón regresar es pulsado, cambiar de pantalla y almacenar el estado de recomendación previamente visitado, dependiendo de la recomendación esta variable hace que la recomendación de esa condición se mantenga habilitada.

Al igual que en el aplicativo paciente, la función de este es que una vez pulsado el botón de recomendación este cambie la pantalla y deje visualizar las recomendaciones para la atención preliminar del paciente, al mismo tiempo se le otorga al paciente un botón de reproducción de audio, el cual una vez pulsado el sistema comenzara a leer las recomendaciones del paciente si este lo desea, si no solo las leerá y comenzara la atención, una vez realizada la atención está el botón regresar, botón el cual hará que el sistema regrese al apartado de visualización pero dejando habilitada la última recomendación.

4.3 Diseño del sistema Wereable

En esta sección se describe la selección de los componentes, el diseño físico (Hardware), al igual que el software del sistema Wereable.

4.3.1 Elección de los sensores del sistema a utilizar

En esta sección se realiza una revisión de la literatura acerca de los elementos de hardware más comunes para la medición de signos vitales, hablando de las ventajas y desventajas de cada uno de los elementos existentes, y definiendo una tabla de conclusión que permita la elección de los elementos a utilizar en el desarrollo de este módulo. La descripción detallada de los elementos seleccionados en esta sección, se encuentran en el anexo F.

A nivel electrónico, existen múltiples sensores con la capacidad de realizar mediciones de electrocardiograma, pulso-oximetria. Entre estos, uno de los sensores a destacar es el AD8232 el cual es un sensor de electrocardiograma de carácter free-hardware (hardware libre) que realiza las mediciones por medio de la implementación de 3 electrodos. En su trabajo (Gifari, Zakaria, & Mengko, 2015) utilizó este sensor para el diseño de un sistema portátil de medición de electrocardiograma. Este sensor es un sistema de 3 electrodos, los cuales según este autor se ubican, uno en el corazón, uno en la pierna derecha y uno en la pierna izquierda, este sensor permite captar con gran facilidad las señales de electrocardiografía, ya que cada uno de sus nodos capta señales diferentes las cuales son enviadas al sistema central del AD8232 entregando un dato serial el cual sería la línea de picos comúnmente usada en electrocardiografía. Este sensor posee una facilidad de manejo y suele ser usado en el diseño de sistema de medición electrocardiográfica como lo muestra el autor (Chowdhury, Hossain, Saha, & Rahaman, 2017). Este último autor también utiliza el AD8232 para diseñar un sistema de electrocardiograma fijo, que le permita almacenar datos en imágenes para su posterior análisis.

De igual manera el autor (Basari & Agung, 2018) utiliza en su trabajo este sensor para el diseño de un sistema de comunicaciones basados en señales de electrocardiografía, junto con el autor (Patil & Bhole, 2019) el cual en sus estudios analiza el comportamiento del AD8232 en placas como la raspberry pi, dando a conocer que este es un sensor fácil de manejar pero con ciertas limitantes. Las limitantes del AD8232 se centran en el área de medición que este requiere. Al ser un sistema de medición por 3 electrodos, inhabilita a este sistema para ser usado en dispositivos portátiles, ya que el paciente deberá estar conectado a 3 electrodos, con cables que circularían desde las 3 partes seleccionadas del cuerpo hasta el dispositivo emisor de la información, lo que limitaría la movilidad del paciente a la hora de utilizar este dispositivo en la cotidianidad. Además este solo sensa una variable, obligando al paciente a obtener más dispositivos si desea hacerse un monitoreo completo. Por lo anterior, siendo este sensor tan útil a la hora de realizar mediciones de electrocardiograma, no es recomendado para el diseño de sistemas móviles, no por su calidad si no por la limitante de movimiento que este generaría.

Otros de los sensores más utilizados para la medición de signos vitales son el CJMCU-30100 y el MAX30100. Ambos sensores trabajan una medición de medidas doble, estos sensores permiten medir con facilidad las señales electrocardiográficas, junto con las señales de oximetría, además permiten la utilización de estos en el diseño de sistemas portátiles. Para ambos sensores el funcionamiento y la programación es la misma ya que electrónicamente son el mismo sensor, la diferencia radica en que el MAX30100 es más económico que el CJMCU-30100, esto se debe al apogeo del free hardware en el mercado.

Autores como (Wan, Zou, Li, & Wang, 2018) utilizaron en su trabajo el MAX30100 para la medición de signos vitales. Este les permite hacer un fácil empalme entre múltiples plataformas para realizar el procesamiento de las señales adquiridas, y la transmisión de signos vitales. De igual manera, el autor (Yusof & Hau, 2019) por medio de la utilización del MAX30100 busca al igual que el autor anterior la medición de signos vitales, con el fin

de integrar estos datos a un sistema de comunicaciones que envié por medio de mensajes de texto los datos que emita el sistema.

Las aplicaciones de muchos sensores de ritmo cardiaco y pulso-oximetría no está enfocada a personas con algún tipo de condición en específico. En su trabajo (Vn et al., 2019), por medio de la medición de signos vitales en una empresa, busca reducir el riesgo de fatigas por trabajo, ya que cada persona en el lugar del trabajo deberá hacerse una serie de mediciones, que tienen como propósito determinar al final de la jornada laboral que trabajadores tuvieron los niveles más altos, permitiendo así al jefe de la planta tomar decisiones acerca del ritmo de trabajo de estos empleados. Lo que hace de este sensor la opción más acertada a la hora de realizar el diseño del sistema de medición de signos vitales, es que no solo es portátil, si no que en un mismo hardware tenemos las medidas a trabajar en la investigación.

A continuación, presentaremos la tabla 2 la cual tiene como finalidad resumir lo mostrado en esta sección. Esta tabla permite decidir por medio de la recopilación de la información, cual es el sensor para utilizar en la investigación y que nos brindara la información, y el manejo que necesitamos.

SENSOR	**ELECTROCARDIOGRAMA**	**PULSO-OXIMETRIA**	**PORTABILIDAD**
AD8232	SI	NO	NO
CMJCU-30100	SI	SI	SI
MAX30100	SI	SI	SI

Tabla 3: sensores existentes en el mercado para la medición de signos vitales

De la tabla anterior que relaciona los sensores que están en el mercado que permiten la medición de signos vitales, se seleccionó el sensor MAX30100 para ser utilizado en la implementación del dispositivo *wereable*. Este dispositivo fue clasificado por encima del CMJCU-30100 el cual teniendo las mismas características que el MAX30100 no es tan

usado en aplicativos biomédicos como este. Esto se debe a que permite medir las variables de electrocardiograma y pulso-oximetría, además permite su implementación en dispositivos portátiles, permitiéndonos realizar un dispositivo compacto, pero sin sacrificar la eficiencia en la medición del sistema.

Una vez seleccionado el sensor a implementar es necesario conocer qué tipo de plataforma se va a utilizar. Actualmente en el mercado hay múltiples plataformas como son los PIC (integrados reprogramables) y tarjetas de desarrollo como son la Freescale, la Raspberry y el Arduino. Actualmente en la literatura se encuentran autores como el caso de (Garrigos et al., 2017) que hablan de Arduino como una de las mejores plataformas de desarrollo, no solo por su facilidad de programación, sino también por como esta es adaptable a múltiples plataformas físicas, tanto diseñadas como adquiridas en el mercado. A esta opinión se suma el autor (Galadima, 2014), quien describe al Arduino como una de las mejores plataformas para trabajar desarrollos, porque a diferencia de plataformas como el PIC, Arduino tiene gran variedad de plataformas fácilmente adaptables al tipo de aplicación a realizar.

Como conclusión, después de revisar la literatura, se decide la implementación del sensor MAX30100, junto con la plataforma Arduino. En términos específicos, la plataforma Arduino versión Nano se seleccionó ya que es la más pequeña de todo el seriado de Arduino. Dado que como ambos dispositivos son de diseño libre, son fácilmente compatibles. Esto facilita el desarrollo del sistema de medición de signos vitales junto con su sistema de recomendación.

4.3.2 Diseño físico (Hardware) del sistema Wereable

En esta sección se detalla el plano del sistema *wereable*, junto con la arquitectura física y computacional que este conlleva. Particularmente, se detalla el diagrama de conexiones que será la guía para la implementación del mismo, el cual se presenta en su forma esquemática definitiva y es el ante sala al diseño de la placa PCB la cual también se muestra en esta sección. Por último, se describen las diferentes etapas que conlleva el

sistema, detallando así los subprocesos que se deben realizar para darle al usuario la información que él requiere.

A continuación, se muestra la ilustración 6, la cual enseña el esquemático definitivo.

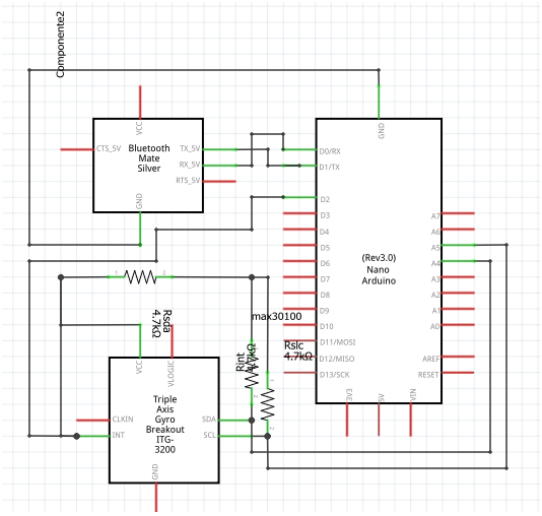


Ilustración 6: Esquemático del sistema

La ilustración 7 muestra los sensores y demás dispositivos a utilizar, junto con las conexiones necesarias en la implementación definitiva. Cada uno de los dispositivos que se pueden apreciar en el esquemático tienen su función y aportes específicos al sistema. Cada uno de estos dispositivos se ubica en una etapa definida dentro de este. La ilustración 9 definirá las etapas del sistema y el aporte de cada dispositivo en este.

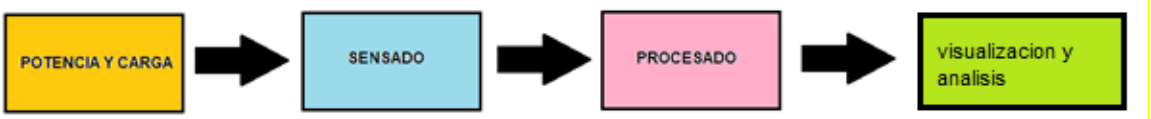


Ilustración 7: Etapas del sistema

La ilustración anterior enseña las etapas del sistema y el orden en que se desarrollan. Esto se debe a que cada una de ellas depende de la anterior. El sistema no puede realizar una etapa sin antes haber realizado las anteriores.

Como primera etapa, el sistema tiene la potencia y carga. Esta es la encargada de mantener un funcionamiento estable, ya que es la etapa que alimenta el circuito con la energía eléctrica que este necesita. Siguiente a la potencia y carga, se encuentra la etapa de sensado, en donde el sensor encargado, una vez alimentado con la energía necesaria se dedicará a tomar mediciones, las cuales no tienen forma de ser interpretadas por si solas, por lo que viene la etapa de procesamiento. La siguiente etapa es la de procesado donde los datos son llevados por medio de códigos a valores que son del entendimiento del usuario humano. Luego sigue la etapa de visualización y análisis. En esta etapa, los datos entendibles por los humanos son enviados al sistema del paciente e igualmente son analizados con el fin de alertar al usuario mediante un sonido que el sistema Wereable emite si en el análisis se identifica una anomalía asociada a la lectura de las variables sensadas.

Una vez se realizó el esquemático y el respectivo análisis de las etapas del sistema, se diseñó la PCB la cual es donde se alojarán todos los componentes del sistema. Esta parte del diseño consiste en usar el software FRITZING, el cual es según el autor (Knörig, Wettach, & Cohen, 2009), este es un software de fácil manejo y gran poder que no solo permite el diseño de esquemáticos si no también de placas pcb para su posterior realización. Este software se usará con el fin de desarrollar la placa con las medidas que esta requiere, ubicando los caminos de conexión entre los sensores y la placa central del sistema. La placa del sistema se realizó en una estructura de dos capas con el fin de tener mejor manejo de los caminos de conexión y prevenir cortos. La ilustración 8 detalla el esquema de la placa PCB del sistema. Las ilustraciones 9 y 10 muestran la capa superior y la capa inferior, por medio de simulación 3D, con el fin de detallar de una mejor manera el diseño físico de la placa PCB del sistema.

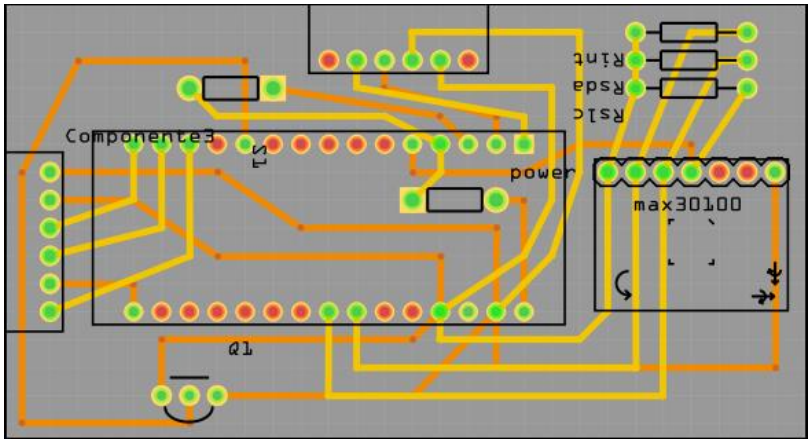


Ilustración 8: Diseño de la PCB

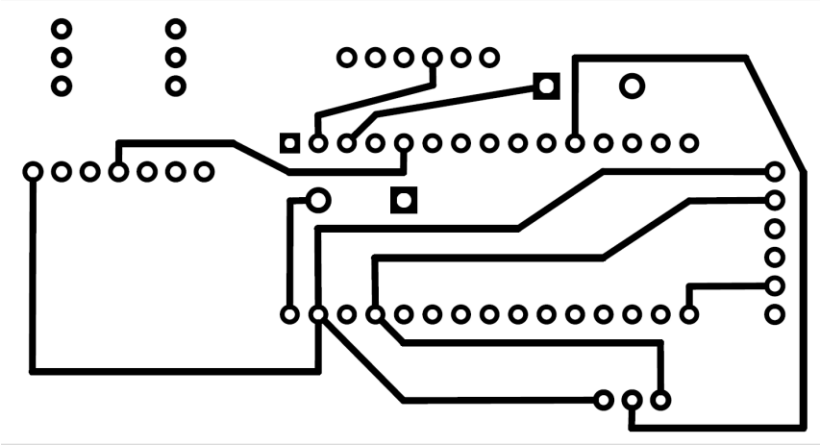


Ilustración 9: Capa superior de la PCB

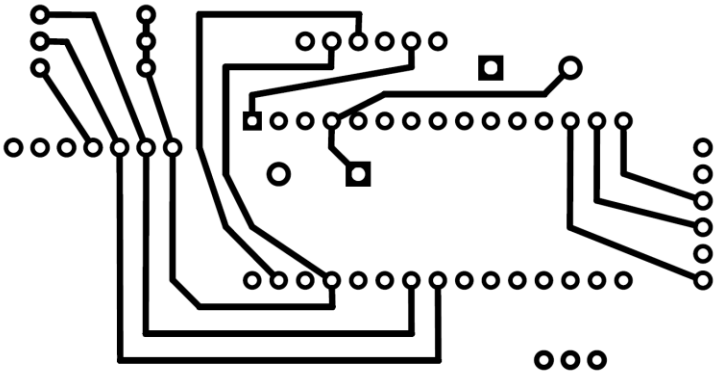


Ilustración 10: Capa inferior de la PCB

4.3.3 Diseño del software del sistema wereable

En esta sección se describen los actores implicados, los requisitos funcionales y los casos de usos del sistema *wereable*.

ACTORES

Para el sistema wereable los actores son:

Paciente: este será la persona sobre la cual el dispositivo *wereable* sensa los datos.

Sistema del paciente: Es el encargado de solicitarle la información de las variables sensadas en formato entendible por el usuario humano.

REQUISITOS FUNCIONALES

Para el sistema wereable los requisitos son:

- **El sistema debe permitir:** sensar las variables de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno.
- **El sistema debe permitir:** el envió de datos por bluetooth para visualizarlos en el aplicativo móvil del paciente
- **El sistema debe permitir:** emitir una alerta sonora al identificar una de las anomalías a partir del análisis de las variables sensadas. Igualmente debe permitir el apagado de esta alerta sonora**.**
- **El sistema debe permitir:** guardar en un archivo los registros de las variables leídas**.**

CASOS DE USO

Para este sistema en específico los casos de uso son:

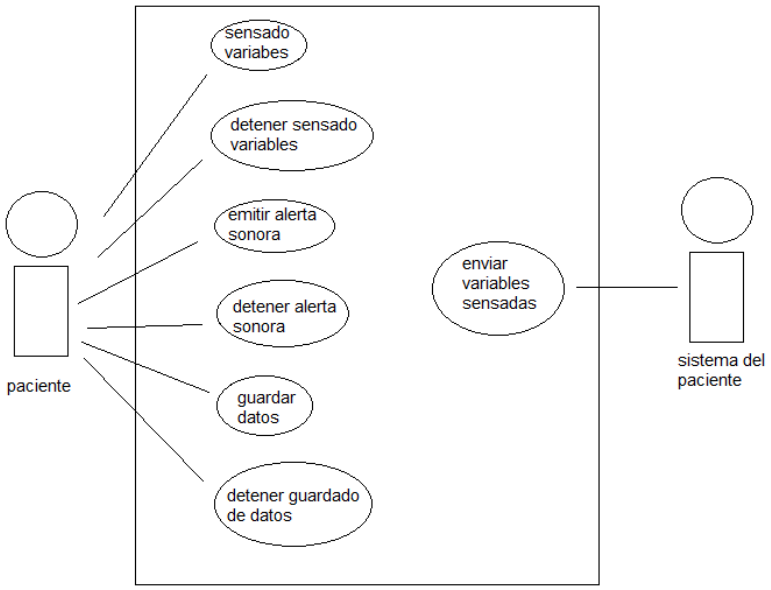


Ilustración 11: casos de uso sistema wereable

Caso de uso	Sensar variables
Actores	El paciente
Resumen	Iniciar el sensado de las variables de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno por parte del sistema
Precondiciones	Estar apagado el sistema Wereable

Caso de uso	Detener sensado de variables
Actores	El Paciente
Resumen	Detener el sensado de las variables de frecuencia cardiaca y saturación de oxigeno por parte del sistema mediante el apagado del sistema wereable.

Precondiciones	Encendido el sistema Wereable

Caso de uso	Emitir alerta sonora
Actores	El Paciente
Resumen	Se dispara una alerta sonora al identificar una anomalía mediante el análisis de las variables sensadas de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno luego de encender el dispositivo *wereable*. El usuario Paciente solicita esto cuando enciende el sistema *wereable*.
Precondiciones	Sistema *wereable* encendido, anomalía identificada y alerta sonora apagada.

Caso de uso	Detener la alerta sonora
Actores	El Paciente
Resumen	El paciente hace uso de un botón físico para detener la alerta sonora encendida.
Precondiciones	Encendido el sistema *wereable* y alerta sonora encendida.

Caso de uso	Guardar datos
Actores	El Paciente
Resumen	Guardar los datos sensados por el sistema Wereable. El usuario Paciente solicita esto cuando enciende el sistema Wereable

Precondiciones	Encendido el sistema *wereable* y datos sensados existentes

Caso de uso	Detener guardar datos
Actores	El Paciente
Resumen	Detener guardar los datos sensados por el sistema Wereable. El usuario Paciente solicita esto cuando apaga el sistema Wereable
Precondiciones	Encendido el sistema *wereable*

Caso de uso	Enviar variables sensadas
Actores	El sistema del Paciente
Resumen	Enviar las variables sensadas de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno al sistema Paciente.
Precondiciones	Recibir mensaje por bluetooth con solicitud de envío de variables por parte del sistema Paciente

PSEUDOCODIGO SISTEMA WEREABLE

El pseudocodigo principal del sistema Wereable se describe a continuación.

1. Inicializar dispositivo
2. Iniciar variables ppm y sat en 0
3. Si dispositivo detecta pulso, comenzar sensado
4. Linealización de datos

5. Ubicar el valor obtenido de la linealización en variables sat y ppm respectivamente
6. Si canal de datos activo, enviar datos por bluetooth
7. si sat estable está en valores críticos activar alerta sonora
8. si ppm estable está en valores críticos activar alerta sonora
9. si sat y ppm estable están en valores críticos entonces activar alerta sonora
10. si ppm está en valores críticos emitir alerta sonora
11. si botón alarma pulsado, desactiva la alerta sonora

Para este subsistema el paciente iniciara el dispositivo wereable por medio del botón de encendido, esto hará que el sistema empiece su funcionamiento, tomando los datos de la persona y haciendo los debidos procesos de ordenamiento, linealización y guardado de estos, al momento de que uno de estos valores se pase de los rangos permitidos este emitirá una alerta sonora, la cual el paciente apagara por medio de otro boton en el sistema.

GUARDADO DE VARIABLES SENSADAS

Las variables sensadas de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno por el sistema Paciente son almacenadas en un archivo de texto el cual a su vez se almacena en una tarjeta de memoria extraíble. En la ilustración 12 se muestra un aparte de la forma en que se establece el formato del archivo.

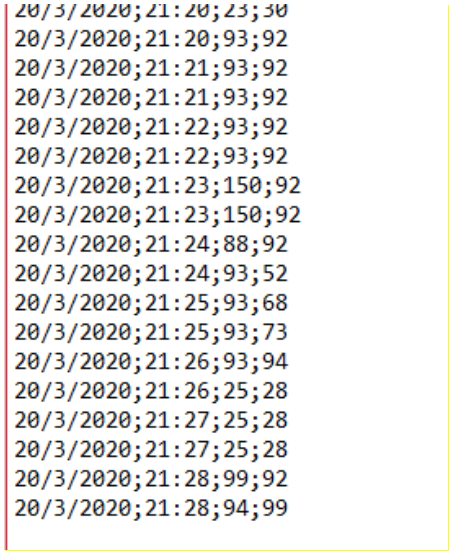


Ilustración 12: formato del archivo de guardado

El formato mostrado en la ilustración 12 se define de la siguiente manera: en primer lugar, va la fecha actual, seguido de una coma (,) seguido de la hora, y otra coma, seguido de la variable de frecuencia cardiaca y finalmente la saturación de oxígeno, estos datos serán guardados en una memoria de 8GB de capacidad lo cual es suficiente para que el dispositivo tenga total libertad de guardado de datos y eliminando el riesgo de que se acabe la memoria de este, en el anexo H se pueden apreciar el análisis realizado para la elección de esta memoria.

4.4 Recomendaciones del Sistema

Esta sección presenta el conjunto de recomendaciones que el sistema le presenta tanto al usuario paciente como al acompañante. Este aspecto es un tema fundamental del proyecto, ya que son las acciones que el paciente debe realizar al momento de tener una anomalía específica. La realización de esas recomendaciones por parte del paciente le dará las herramientas necesarias para estabilizar la variable especifica que alcanza un punto crítico, o le dará el tiempo necesario para que llegue hasta la central de urgencias más cercana, dependiendo de la variable que se encuentre afectada.

Para el diseño de las recomendaciones se buscó al ayuda de un profesional de la salud, con el fin de brindar una información real y validada de acuerdo a los estándares de salud. El médico que realizo la revisión y validación de las recomendaciones fue el Medico Luis Fernando Zuluaga, médico general y especialista en salud ocupacional. En la sección de anexos, en el anexo A se encuentra el acta firmada por el Medico donde avala las recomendaciones para el proyecto. El acta cuenta con la firma física del Médico, cedula y registro medico de este. A continuación, se presentan las recomendaciones para cada una de las 3 condiciones a trabajar.

4.4.1 Recomendaciones para las arritmias

Cuando el dispositivo de medición detecte palpitaciones anormales, o un incremento de los latidos del corazón sin razón aparente, el sistema generará alguna de las siguientes recomendaciones.

1. Interrumpir la actividad que se esté haciendo.
2. Si está bebiendo, fumando, ingiriendo o inhalando sustancias toxicas suspender su ingesta inmediatamente.

3. Guarda reposo y trata de mantener la calma.
4. Adquiere una posición cómoda.
5. Ingiere bebidas refrescantes, no frías y bebe despacio y por pequeños sorbos.
6. Si la arritmia se acompaña de un dolor agudo en el pecho, solicite que lo lleven de inmediato al servicio de urgencias.
7. Si no hay dolor en el pecho, acuda a su médico cuando se sienta mejor y lleve el registro del pulso.

4.4.2 Recomendaciones para las asistolias

Si el dispositivo encuentra un descenso brusco en el ritmo cardiaco junto con la saturación de oxígeno, es posible que se genere vértigo, debilidad o sensación de desmayo, ante esta situación las recomendaciones son:

1. Recuéstese de inmediato en un lugar fresco y sombreado
2. Evite que nadie se le acerque
3. Levante las piernas a 45 grados para oxigenar el cerebro
4. Hiperextiéndale el cuello
5. Despeje las vías aéreas (si posee prótesis dental retírela, si tiene restos de alimentos retírelos).
6. Si se siente capaz de ingerir líquidos, tomar agua, café o bebidas azucaradas.
7. Si las pulsaciones están por debajo de 60 latidos por minuto no es peligrosa, si estas bajan a 40 latidos por minuto acudir inmediatamente al servicio de urgencias (de igual manera presenciara una caída en la saturación de oxígeno)

4.4.3 Recomendaciones ante bajas saturaciones de oxigeno

Las bajas saturaciones de oxígeno se producen cuando los niveles de oxígeno en la sangre están por debajo de lo normal.

Si se detectan bajos niveles en la saturación de oxígeno se pueden generar en el paciente, dolores de cabeza, dificultad para respirar, labios y puntas de las orejas frías y moradas, respiración rápida y superficial, fatiga y debilidad extrema sin causa aparente o falta de coordinación; para esta condición las recomendaciones son:

1. Mantener la calma
2. Trata de alejarte de lugares altos, frio intenso, ambiente toxico o contaminado, gases y humo que son causantes de esta condición.
3. Trata de salir al aire libre y a un ambiente amplio y sin congestiones.
4. Respira hondo y profundo y en forma regular.
5. Colócate en posición decúbito supino (boca arriba) y levanta los pies.
6. Trata de mantenerte en hiperextensión de cuello.
7. Despeje las vías aéreas (si posee prótesis dental retírela, si tiene restos de alimentos retírelos).
8. No ingerir ni líquidos ni alimentos mientras no se tenga coordinación en las extremidades o no se tenga claridad mental.

Tan pronto el cuerpo este en capacidad de moverse o de ser movilizado, acudir al servicio de urgencias.

4.5 Interacción de componentes y diagrama de actividades

En la ilustración 13, se presenta una visualización general de los componentes del sistema Rebeca con sus funcionalidades asociadas a cada uno de los 3 subsistemas que lo conforman: el sistema del paciente, el sistema del acompañante y el sistema *wereable*.

.

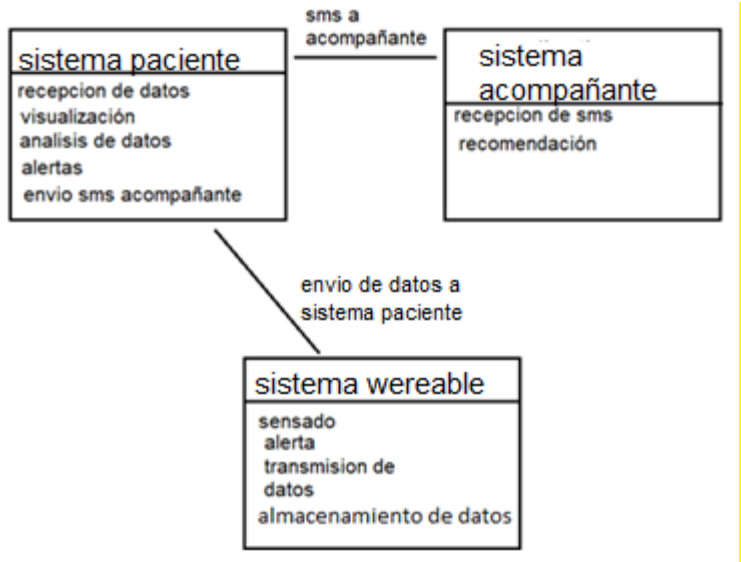


Ilustración 13 : Componentes del sistema Rebeca y sus funcionalidades

El **sistema *wereable***, se encarga de sensar al paciente, de transmitir los datos, de almacenar los datos y finalmente de emitir una alerta sonora en caso de que sea necesitada. Este sistema es el primer acercamiento del paciente en el sistema Rebeca, ya que, mientras el dispositivo wereable este activo, estas funcionalidades las puede realizar de manera independiente a los demás subsistemas a excepción del envío de datos. El **sistema del paciente** es el encargado de habilitar el canal de comunicación con el dispositivo *wereable*, permitiendo visualizar el estado de las variables recibidas al igual que las recomendaciones si es el caso. Además, este sistema es el encargado de enviar el mensaje sms al sistema del acompañante. El **sistema del acompañante** solo se encarga de recibir un sms enviado por el paciente, y alerta al acompañante cuándo el paciente

necesita a este porque ocurre una anomalía. Además, le permite la acompañante leer el conjunto de recomendaciones dependiendo de la condición.

En la ilustración 14 se presenta el diagrama de actividades que el sistema Rebeca debe realizar en su proceso de funcionamiento global.

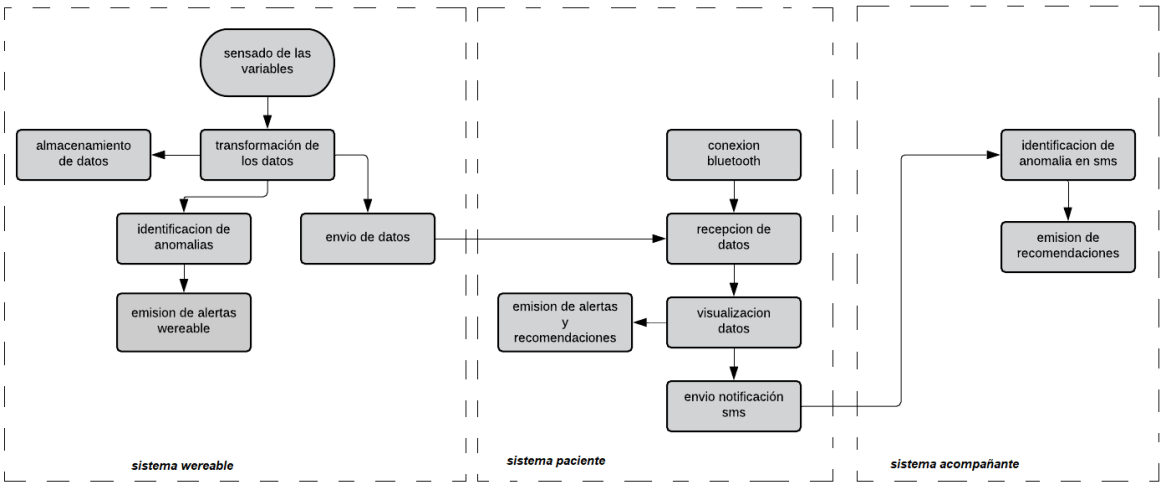


Ilustración 14: Diagrama de actividades

La primera actividad por realizar es el sensado de las variables, actividad donde el dispositivo electrónico toma los datos del paciente, dando paso a la actividad de transformación de los datos. A nivel electrónico, los sensores captan las señales en escalas de milivoltios o miliamperios, y el sistema debe tomar esos datos, linealizarlos y darles su respectivo valor en una escala de la vida real. Como ejemplo, si el sistema recibe 0.3 milivoltios, este lo traducirá como 3 ppm, esto para cada una de las variables que se estén midiendo y para todo tipo de sensor. Una vez transformados los datos, el sistema realiza 3 actividades paralelas, la primera es el almacenamiento de estos datos, donde se tomará el dato y se guardará en un archivo de texto almacenado en una tarjeta de memoria extraíble. La segunda actividad es la identificación de anomalías, para esta actividad el sistema analizará los datos con las condiciones preestablecidas por el Medico Luis Fernando Zuluaga (ver sección 3.1.1 del capítulo anterior). La tercera actividad es el envío de los datos transformados al sistema del paciente. Existe una última actividad la cual es

el lanzar una alerta sonora, esta ocurre si se identifica una anomalía. Con esto se termina la descripción de las actividades que estarían ligadas al sistema *wereable*

El paciente tendrá en su teléfono móvil el sistema del paciente el cual está ligado a un grupo de actividades. El paciente debe realizar la primera actividad, que consiste en iniciar la conexión bluetooth (esta es externa al sistema del paciente). Una vez realizada esa conexión, la siguiente actividad consiste en la recepción de datos (para esto el paciente debe iniciar primero la ejecución del sistema del paciente). Una vez los datos lleguen, el sistema del paciente realiza la actividad de visualización de los datos, y en caso de que se genere alguna anomalía, después de detectar que la señal estuvo en un tiempo prudente de error constante, se efectuaran dos actividades en paralelo: la primera es la emisión de la alerta y las recomendaciones, seguido del envío del sms al acompañante, terminado en estas dos actividades las correspondientes al sistema del paciente.

Como parte final de esta sección está la explicación de las actividades del sistema del acompañante que está en su respectivo teléfono móvil. Una vez el sistema del paciente envía el sms como se mencionó anteriormente, este sistema inicia su primera actividad, la cual es la identificación de la anomalía contenida en el sms que llega al celular del paciente. Luego la segunda actividad entra en función, la cual es remitir a la respectiva recomendación, siendo esta la última de las actividades que se efectúan no solo en el sistema del acompañante sino en el sistema total Rebeca.

5. Implementación del Sistema Rebeca

Para el quinto y último capítulo del proyecto es la implementación de este, aquí analizaremos el montaje del sistema, iniciando desde el prototipo, siguiendo por el montaje de la placa PCB y concluyendo la sección con el montaje definitivo e imágenes del funcionamiento de este.

5.1 Implementación del sistema Wereable

En esta sección se detalla la implementación del componente físico (Hardware) y el software desarrollado de este sistema

5.1.1 Implementación de componente físico (Hardware)

Primero se implementó la placa de circuito impreso (PCB) previamente diseñada (sección 4.3.2) la cual aloja todas las conexiones necesarias entre los componentes del sistema de medición (ver ilustración 15 Detalle de la PCB). Luego se procedió al montaje físico de los componentes físicos de este sistema como se detalla en la ilustración 16.

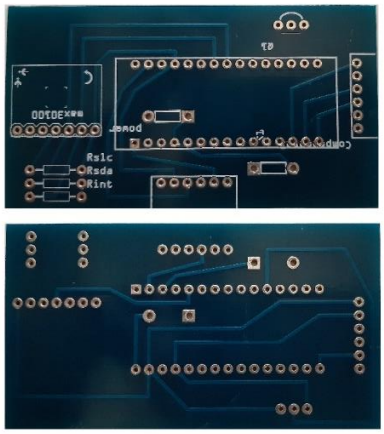


Ilustración 15: implementación de la placa PCB diseñada (capa superior e inferior)

La placa PCB se diseñó en el software libre fritzing, diseño el cual se aprecia en la sección 4.3.2; pensando en la funcionalidad del circuito y la ubicación de sus componentes, se diseñó con unas medidas de 3.9 x 7.3 centímetros, la cual lleva dos capas de circuito para que este fuera lo más pequeño posible, todo eso con un micraje de cobre de 35 micras, se adiciono una mascara de componentes con el fin de que al momento de soldar los componentes no se generaran errores de soldado, el recubrimiento escogido fue el recubrimiento estándar para las PCB el cual es de estaño-plomo y debido a que algunos componentes se soldaran por la capa superior y otros por la inferior, la placa debería tener antisolder, esto permite una conexión correcta del dispositivo independiente de la capa donde estos se solden.

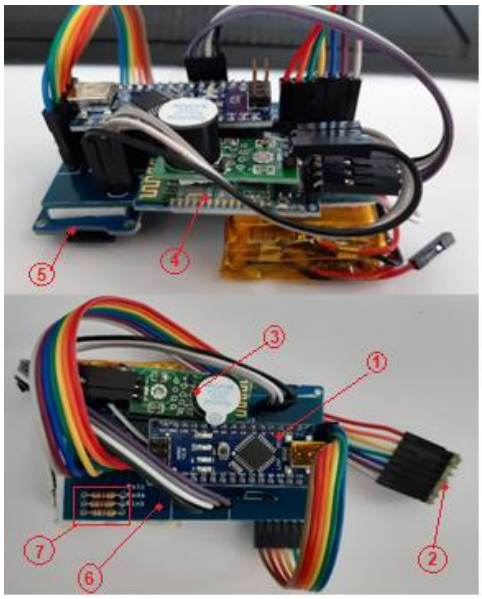


Ilustración 16: implementación del prototipo

La ilustración 16 nos muestra el sistema implementado sin carcaza, en donde se aprecian cada uno de los componentes, los cuales están numerados con el fin de identificarlos correctamente. El sistema wereable se compone de, un arduino nano (1) el cual tiene como función realizar análisis y procesamiento de cada uno de los datos entrantes en el sistema, es el corazón del sistema, como segundo elemento de vital importancia se encuentra el sensor MAX30100 (2) quien tiene como función la detección de las variables las cuales serán analizadas por el arduino con el fin de hacer la identificación de la anomalía, seguido de esta cuando el sensor envía los datos y el arduino analiza y encuentra una anomalía entra en función el buuzer (3), la función de este es la emisión de la alerta sonora en caso de que se presente una anomalía, en la numeración de los elementos del sistema presentes en la ilustración 16 se aprecia el módulo de memoria SD (5) quien tiene como función guardar los datos detectados por el sensor, a su vez se aprecia en modulo HC-06 (4), este cumple la función de emisor y receptor de la información; estos son los dispositivos usados a la hora de la implementación, dispositivos los cuales se encuentran alojados en una placa PCB de diseño propio (6) la cual también se aprecia en la ilustración 15; esta tiene como función alojar los componentes de la manera correcta sin riesgo a cortos o a daños en la corriente lógica por diferencias en las densidades del material conductor.

Las ilustraciones 16 y 17 enseñan el sistema en su implementación final, en esta se pueden apreciar todos los dispositivos que conforman el sistema de medición de signos vitales, además se pueden apreciar en la ilustración 16 el uso de 3 resistencias de 4.7K ohmios, estas se ubican en las conexiones Vin, SDA y SLC, esto con el fin de lograr un divisor de voltaje que redujera los 5 voltios de salida de la placa microcontroladora, a 3.3 voltios, esto se debe a que si este sensor se alimenta en 5 voltios los leds encargados de la medición se quemarían dejando el sensor totalmente fuera de operación, estas resistencias no solo tienen la función de divisor de voltaje, sino también de regulador de la corriente lógica que sale del microcontrolador.

Las conexiones de salida los microcontroladores tienen una corriente específica, la cual es llamada corriente lógica, el sensor requiere para su funcionamiento la corriente lógica total, pero esta corriente es limitada por 3 resistencias en el sensor, evitando su correcto funcionamiento, por lo que estas resistencias fueron retiradas de este, para posteriormente implementar el divisor de voltaje explicado anteriormente, y permitiendo obtener la

corriente lógica necesaria en el sistema, esto es ya que el sensor es muy delicado y una mala corriente quema el sensor inmediatamente.

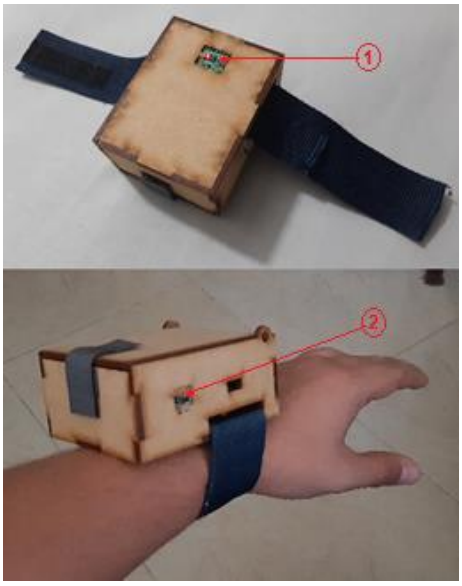


Ilustración 17 : sistema físico

La ilustración 16 explico la implementación del sistema electrónico, ahora el siguiente paso como lo muestra la ilustración 17 es el posicionamiento del circuito final en una carcasa de diseño propio acondicionada para que el paciente la lleve en su muñeca, carcasa la cual solo tiene dos componentes visibles, el interruptor de encendido (2) y el sensor con el que se harán las mediciones (1).

Después de realizar las modificaciones al sensor, se implementó el código de sensado de signos vitales, código el cual estará en la sección de anexos, después de realizar la implementación final del sistema es momento de hablar del último paso del sistema, la visualización y alerta basado en los datos por medio de la app Rebeca, esto se podrá a preciar en la siguiente sección de este capítulo.

5.1.2 Implementación del software

Se implementaron los diferentes algoritmos asociados a los diseños detallados en la sección 4.3.3. Para su construcción se hizo buscó utilizar un software libre que permitiera implementar la comunicación *bluetooth* entre los componentes (en este caso el hc-06).

Esta implementación para el sistema wereable fue hecha por medio del software nativo de la plataforma arduino, el cual se basa en el lenguaje C#; por medio de la utilización de este se estructuro el software del sistema wereable.

```
 archivo = SD.open("datos.txt", FILE_WRITE);
// guardado de los datos
 archivo.print(ced);
 archivo.print(";");
 archivo.print(dia);
 archivo.print("/");
 archivo.print(mes);
```

Ilustración 18: fragmento de código de guardado de la información

En la ilustración 18 podemos contemplar un fragmento de como el sistema ordenaría los datos para realizar su posterior guardado en la memoria SD, se escogió una estructura de ordenamiento por punto y coma (;) con la finalidad de que un software de procesamiento de bases de datos pueda realizar un posterior análisis de los datos.

```
if (prppm < 60 && prsat < 80 )
{
 tone(bip,3000,250);
 delay(3000);
 tone(bip,3000,250);
 delay(3000);
 tone(bip,3000,250);
 delay(3000);
 tone(bip,3000,250);
 delay(3000);
 digitalWrite(bip, HIGH);
```

Ilustración 19: fragmento de código de emisión de alarmas

En la ilustración 19 se muestra un fragmento del código del sistema de alarmas, el cual se realizará por medio de la toma decisiones realizará por el previo análisis de los datos y el estado de las variables; los archivos con los códigos completos del sistema wereable al igual que en los de los sistemas rebeca para el acompañante y paciente se podrán encontrar en la sección de anexos

5.2 Implementación del sistema paciente

Se implementaron los diferentes algoritmos e interfaces asociados a los diseños detallados en la sección 4.1. Para su construcción se buscó utilizar un software libre que permitiera implementar la comunicación *bluetooth* entre los componentes (en este caso el hc-06) y que fuera fácil de programar aplicaciones para dispositivos móviles (apps) en el ambiente Android. Basado en esto, se escogió el programa Appinventor 2, el cual es una plataforma creada por el MIT, la cual acorde a (Wolber, 2011) es una plataforma que por medio de la interacción con un sistema de bloques permite el desarrollo de aplicativos Android. Este genera el código en el lenguaje JAVA.

Las principales interfaces desarrolladas de este módulo se detallan en las ilustraciones 17 y 18. La primera ilustración está asociada al inicio y visualización de las variables sensadas y la segunda asociada a las recomendaciones que presenta este módulo.

Ilustración 20: pantallas de la aplicación rebeca

En la ilustración 20, la imagen de la (izquierda) se aprecia la interface inicial de la app del para el usuario paciente. En ella se detalla el botón *sensar* para solicitar al módulo *wereable* el envío de las variables de sensado. Igualmente, el botón *tel* presenta la interface mostrada en la mitad de la ilustración, mediante la cual se realizar el registro del teléfono del acompañante para el envío de los mensajes de alerta en caso de que ocurran (ilustración 20 centro).

En la imagen de la derecha de la ilustración 20, se detalla la interfaz que muestra las variables sensadas en tiempo real. Igualmente, el sistema habilita un botón de recomendación en caso de que se identifique una anomalía además de mandarle un mensaje de alerta (sms) al teléfono registrado del acompañante. Con este último botón el sistema remite al paciente a la interfaz de recomendaciones. Existen otros botones volver al inicio, apagar la alarma en caso de presentarse una alerta, solicitar datos, la función de este es conectar el celular con el sistema wereable, desconectar, este se usara para desconectar el celular del wereable, cambiar cédula dado el caso de que se necesite cambiar el usuario, botón llamado, el cual tendrá la función de llamar al acompañante

desde el aplicativo paciente en caso de necesitarlo, y por ultimo borrar datos, el cual tiene la funcionalidad de generar un reseteo del sistema, las funcionalidades específicas de cada botón del aplicativo serán explicadas en el manual de usuario en el capítulo A de los anexos al final de este documento.

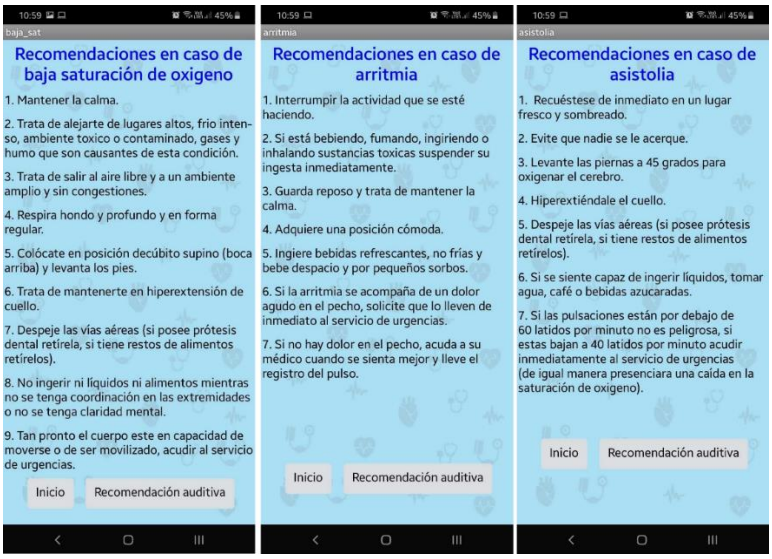


Ilustración 21: recomendaciones de la aplicación rebeca

La ilustración 21 detalla cada una de las interfaces de la aplicación app del paciente usadas para presentar las recomendaciones a seguir para cada anomalía. A la hora de emitir una recomendación, el sistema se remite a una pantalla en donde se expresa los pasos a realizar a la hora de presentarse una de las tres anomalías. El botón *inicio* regresa al apartado de visualización y el botón de *recomendación auditiva* narra por voz las recomendaciones pertinentes en caso de tener alguna dificultad de lectura. Esta misma interfaz es la usada para la aplicación del acompañante. En el caso del paciente, el sistema una vez detectado la anomalía genera un botón que permite remitir al paciente a las recomendaciones tales como se muestran en la ilustración 18 (derecha), para que este las lea o las escuche.

Más detalles sobre las interfaces y su uso se muestran en el anexo A, donde se presenta el manual del usuario. En este se explica cada botón y el funcionamiento de cada uno de estos, dando a conocer de mejor manera cómo funciona este módulo del sistema rebeca.

Por otro lado, en la implementación de los algoritmos, se siguió los lineamientos detallados en sus respectivos diseños de la sección 4.1.4. Como detalle se presenta la ilustración 22, donde se muestra un aparte del código relacionado con el botón de lectura en modo voz de una recomendación ante una anomalía.

```
static Object lambda45()
{
  runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit134, Lit121, Lit31, Lit5);
  return runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit134, Lit29, "RecomendaciÃ³n auditiva",
}

static Object lambda46()
{
  runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit123, Lit139, Boolean.TRUE, Lit10);
  runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit123, Lit140, "asistolia.mp3", Lit7);
  return runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit123, Lit141, Lit142, Lit5);
}
```

Ilustración 22: código de recomendación auditiva

La ilustración 22 muestra el funcionamiento especifico del botón de recomendación, este botón se encuentra presente en cada una de las recomendaciones, tanto para la aplicación del paciente como para el acompañante, una vez se dispare una alarma y el paciente o el acompañante se encuentren en la ventana de recomendación, podrán pulsar este botón el cual activara un archivo de voz precargado en el sistema, cuya función es leerle al usuario de alguna de las aplicaciones las recomendaciones de la condición en la que se encuentra. Esto será de ayuda a personas con ciertas limitantes visuales, ya que podrán escuchar las recomendaciones y realizar a la atención preliminar.

5.3 Implementación del sistema acompañante

Se implementaron los diferentes algoritmos e interfaces asociados a los diseños detallados en la sección 4.2. Para su construcción se utilizar el programa Appinventor 2 igual que en el sistema paciente.

Las principales interfaces desarrolladas de este módulo se detallan en la ilustración 23. La primera ilustración está asociada al inicio y visualización de las variables sensadas y la segunda asociada a las recomendaciones que presenta este módulo.

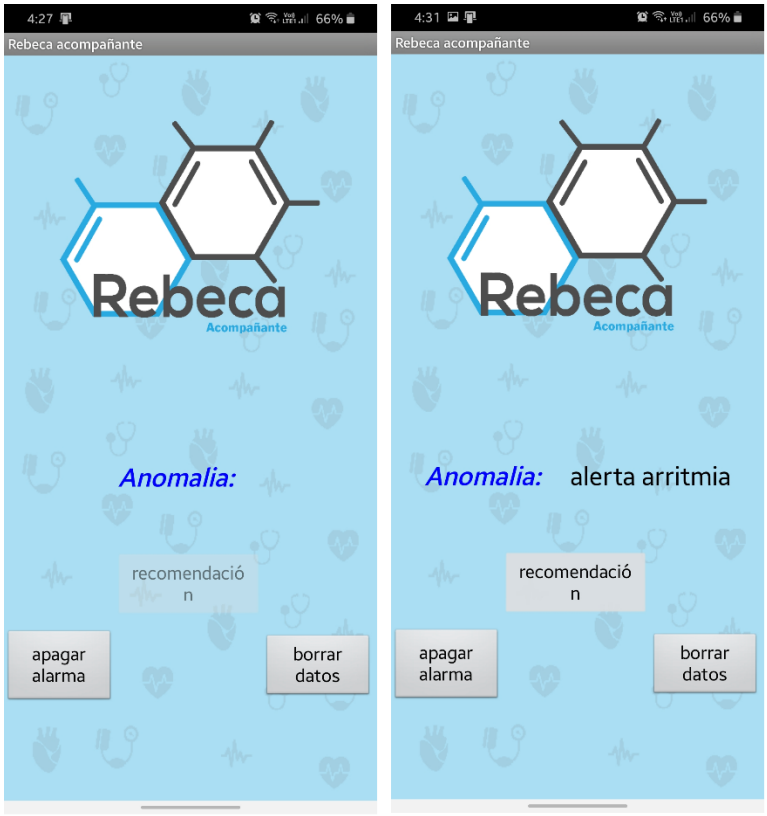


Ilustración 23: interfaces del acompañante

La interfaz mostrada en la ilustración 23 (de la izquierda), es la interfaz de bienvenida de rebeca para el acompañante, con sus respectivos botones, se aprecia el botón recomendación deshabilitado, esto se debe a que este solo se habilita si llega un mensaje de alerta. En caso de que llegue un mensaje de alerta la interfaz cambia ligeramente, se habilita el botón recomendación y en aparecer la anomalía específica, en este momento el usuario puede apagar la alarma por medio del respectivo botón, y borrar datos en caso de que el paciente necesite limpiar el sistema, en el anexo A se explica mas detalladamente el funcionamiento de cada botón del aplicativo.

Como se indica en la sección 5.2, las interfaces de las recomendaciones son similares a las del sistema paciente. Igualmente ocurre con el caso de la lectura de la recomendación.

Por otro lado, en la implementación de los algoritmos, se siguió los lineamientos detallados en sus respectivos diseños de la sección 4.2.4. Como detalle se presenta la ilustración 24, donde se muestra un aparte del código relacionado con el botón de *apagar alarma* que detiene la vibración del teléfono móvil.

```
static Object lambda27()
{
  runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit87, Lit51, Lit88, Lit47);
  runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit87, Lit34, "apagar alarma", Lit13);
  return runtime.setAndCoerceProperty$Ex(Lit87, Lit53, Lit58, Lit47);
}
```

Ilustración 24: fragmento de código apagado de la alarma

en la ilustración 24 podemos apreciar un fragmento de código de como el sistema ejecuta el comando de apagado de la alarma en caso de que llegue, donde el sistema inmediata mente detecta que este botón fue pulsado, y si hay una alarma existente este lo que hace es apagarla en caso de que se esté presentando una anomalía.

6. Pruebas del sistema

En este capítulo 6 se realizará un análisis del sistema una vez implementado en su totalidad, se hablará de las pruebas realizadas y de lo que se hizo para realizar las verificaciones de las aplicaciones y del sistema electrónico.

6.1 Validaciones funcionales del sistema

Una vez el sistema se implementó en su totalidad tal como lo indica en la ilustración 15 y 16, se deben realizar pruebas de funcionamiento, las cuales por cuestiones de seguridad se realizarán por medio de simulaciones tanto físicas como digitales, esto se debe a que las mediciones en personas reales deben estar avaladas por entes de salud y gubernamentales con el fin de garantizar la seguridad en caso de una falla.

Para el sistema digital (las aplicaciones rebeca para el paciente y rebeca para el acompañante) se adiciono una fracción de código al sistema en donde por medio de botones adicionales se pudiera generar un registro de datos que estén dentro del rango de las alertas mencionadas.

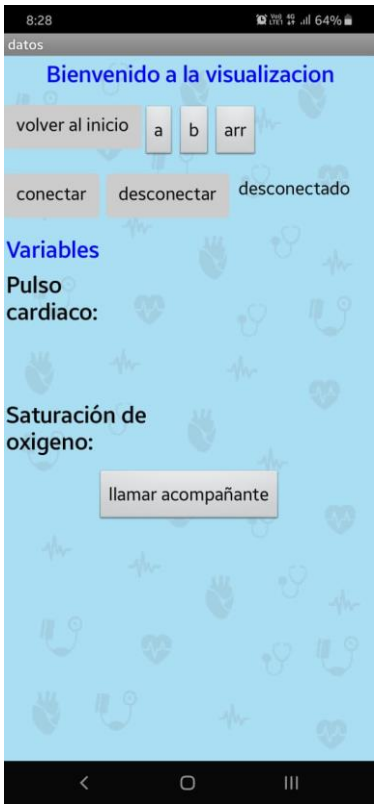


Ilustración 25: pantalla de sensado con botones de simulación

Como se aprecia en la ilustración 20 (derecha) la pantalla de sensado a diferencia de la ilustración 25, tiene 3 botones extras, una a una b y una arr, esto con el fin de abreviar asistolia, baja saturación y arritmia respectivamente, cuando se presiona alguno de estos botones se introduce un ejemplo de caso de alerta de cada una de estas condiciones con el fin de verificar si la aplicación efectúa las acciones que debería ejecutar a la hora de presentarse una de las condiciones.

Una vez se demuestra que las aplicaciones realizan los comportamientos que son debidos pasamos al sistema electrónico, ahora lo que se busca es que, por el medio de la intervención del sistema físico, poder alterar las variables del sistema, con el fin de generar los 3 estados deseados. Esto se busca implementar por medio del uso de dos potenciómetros se altera la señal de medición del sistema, permitiendo llevar a este a cada uno de los casos de alerta que fueron informados por el médico especialista en salud ocupacional.

Ilustración 26: sistema físico con implementación para simulación

En la ilustración 26 se aprecian los dos potenciómetros instalados en el sistema para alterar la señal, cada uno de estos me permite alterar a voluntad cada una de las variables a trabajar en el sistema, esto con el fin de revisar si el sistema está enviando los datos como es debido y si el sistema electrónico, está realizando las debidas alertas, junto con una correcta conexión a la aplicación rebeca para el acompañante, ya que estas serían las pruebas del sistema completo, en donde este deberá conectarse, para realizar visualización y la emisión de alertas tal como se especifica en el proyecto, además se realizaron pruebas específicas donde se demostró la validez de cada uno de los casos de usos expuestos en el capítulo 4.

Se validaron todos los casos de uso del sistema para cada uno de los sistema y se generó la debida documentación en video, en donde se puede apreciar que el sistema reacciona correctamente a la emisión de una arritmia, de una asistolia o de una baja saturación de oxígeno, de igual forma se realizó otra prueba con las 3 condiciones pero utilizando al función de registro de un nuevo teléfono, con la cual cambiamos de teléfono y se volvió a realizar la revisión de todos los casos de uso del sistema, en la sección de anexos apartado D se puede apreciar los videos de verificación donde se prueba cada caso de uso del sistema, y se muestra su correcto funcionamiento.

Además se eso se buscó validar el sistema desde la óptica media, por lo que se le enseño el funcionamiento del sistema al Medico Luis Fernando Zuluaga, médico general y especialista en salud ocupacional, en su posición como asesor profesional, para que desde su óptica y desde la visión del área médica, se comprobara el funcionamiento del sistema, y con este obtener un avala en el sistema Rebeca desde la óptica médica, dándonos a

conocer el sistema como algo de gran ayuda y un aporte al área médico, de igual manera certificando su funcionamiento desde el sensado hasta las alertas en las dos aplicaciones móviles, esta carta se encuentra firmada y sellada por el medico asesor en la sección de anexos, apartado E.

6.2 Validaciones no funcionales

En el diseño original de los casos de uso no se contempló una comprobación de los requisitos no funcionales del sistema pero con el fin de poder plantear futuras mejoras al sistema se realizó una encuesta la cual se encuentra en anexo G la cual muestra a un grupo de personas la aplicación y ellas responderían si los aplicativos Rebeca se ven fácil de usar, si el diseño gusta, si las recomendaciones son aptas para la lectura, y desde la óptica de una persona común, si la aplicación tiene alguna utilidad, los resultados de esta están en el anexo G, y en resumen la respuesta fue en su mayoría correcta, basado en esto se plantea uno de los trabajos futuros mencionados en la sección 7.2

Los resultados generales de esa encuesta fueron:

aspecto no funcional	si	no	tal vez
inicio de la aplicación amigable	92%	8%	0%
fácil manejo de la interfaz de visualización	64%	4%	32%
recomendaciones fáciles de leer	84%	0%	16%
es necesaria una aplicación de acompañante	84%	4%	12%
es viable el envió de un sms	96%	0%	4%
tiene utilidad el sistema rebeca	100%	0%	0%

Tabla 4: respuesta de la encuesta

Después de analizar los resultados se da a entender de que el en términos generales se el sistema presenta una aprobación general, pero con opiniones muy divididas en cuanto al diseño de la interfaz, por lo que se concluye con esto que una de los puntos que el sistema rebeca necesita una futura mejora es en el diseño de la a aplicación y como esta se visualiza, de manera que sea más amigable y no se generen opiniones tan divididas.

6.3 Conclusiones de las pruebas

Como conclusiones de las pruebas se saco una tabla de fortalezas y debilidades en donde enumero basado en las pruebas, en las encuestas y en el desarrollo general del proyecto que puede mejorar el sistema rebeca y cuales son puntos fuertes de este mismo.

sistema rebeca	
fortalezas	debilidades
el sistema posee validez por el área medica	la interfaz de usuario puede resultar muy plana y compleja de manejar
las recomendaciones son de fácil entendimiento y lectura	el dispositivo wereable es de un tamaño tal que podría molestar en ciertas actividades
tener una aplicación de acompañante que permita mejorar la atención al paciente	
el sistema maneja de manera ordenada los datos y con buen optimiza miento de memoria	

Tabla 5: fortalezas y debilidades

En la tabla 5 se presenta un resumen de las fortalezas y debilidades del sistema rebeca, de las cuales se extrajeron los trabajos futuros expresados en las siguientes secciones (sección 7.2), donde se habla de manera más específica los puntos clave de la mejora de este sistema.

7. Conclusiones y trabajo futuro

En esta última sección se hará el recuento del proceso investigativo realizado, en donde se dará a conocer si se cumplieron los objetivos satisfactoriamente, y que puede mejorar para un trabajo futuro.

7.1 Conclusiones

Como conclusión principal el proyecto se desarrolló de manera exitosa desarrollando de la mejor manera posible cada uno de los objetivos planteados, dejando los productos esperados

La identificación de los elementos que se usaran en el sistema portátil se definió de manera correcta dejando como resultado la identificación de los componentes necesarios para la medición de cada una de las variables a tratar en la investigación, con las cuales y los elementos de hardware y software necesarios para medición de estos.

En diseño del sistema fue implementado totalmente software libre, tanto para el diseño de las apps, la placa PCB y el sistema de emisión de alertas, este segundo objetivo da como producto el diseño completo del sistema, tanto en plano esquemático, placa PCB y la base de el aplicativo móvil, desarrollándose este con éxito, y con los productos deseados, para esta sección fue requerido un profesional de la salud el cual dio aval de las recomendaciones mencionadas y los valores utilizados para la emisión de recomendaciones estas validaciones se encuentran en los anexos B y C, a su vez se dejaron documentados los respectivos casos de uno de cada una de las secciones del sistema las cuales son necesarias para la etapa de pruebas.

La implementación del sistema la cual se presenta como en tercer objetivo, se realizó de la manera deseada, dejando como resultado el sistema completamente implementado y dos aplicativos móviles (Rebeca para el paciente y para el acompañante), y dejando el proyecto listo para la etapa de pruebas.

Como capítulo final del proyecto se realizaron las pruebas pertinentes en donde se inició por probar el funcionamiento de cada uno de los casos de uso existente en cada uno de los subsistemas (dispositivo wereable, Rebeca para el acompañante y rebeca para el paciente), en este proceso se realizaron las pruebas pertinentes de conectividad, guardado de datos , sensado entre otras, cada uno de los casos de uso fueron comprobados y validados con éxito, a su vez se hizo una validación extra mostrándole el funcionamiento del sistema al médico asesor del proyecto, el cual después de analizar cada uno de los componentes del sistema y comprobar emitió un acta donde certifica el sistema Rebeca desde la óptica del área médica no solo validando su funcionamiento si no su utilidad, este acta junto con los enlaces a los videos de validación del sistema se encuentran en los anexos D y E.

7.2 Trabajos futuros

Como primer trabajo futuro se busca mejorar el diseño de las interfaces, por medio del uso de gráficos y animaciones, además darle a la aplicación un mejor uso de métricas de usabilidad y realizar cambios en cuanto a colores y letras.

Como segundo trabajo futuro se plantea el desarrollo de una extensión de la aplicación, que permita remitir en cualquier momento al médico de familia el archivo con las variables del paciente en algún momento dado o fecha predeterminada.

A su vez se plantea una futura reducción en el tamaño del dispositivo, de igual manera se plantea la experimentación con dispositivos mucho más pequeños tipo pulsera, pero sin afectar la eficiencia en la interacción de este con los celulares.

como último apartado en esta sección a futuro se busca una expansión del sistema dándole nuevas funciones que permitan hacer un seguimiento inmediato de los datos por medio de la implementación de funciones estadísticas y la implementación de analítica en los datos guardados por el sistema.

ANEXOS DEL PROYECTO

A continuación, se presentarán los diferentes anexos que tiene el sistema rebeca, todo lo referente al sistema y su desarrollo con el fin de dar a conocer el porqué de las decisiones tomadas, y que actividades se hicieron para el desarrollo de este

A. Manual del usuario

El dispositivo de medición de signos vitales fue diseñado para que cualquier persona pueda usarlos sin ningún tipo de problema, esta se compone de dos aplicaciones, una para el usuario y otra para el acompañante, las cuales se explicaran en el mismo instructivo debido a que son pocos las instrucciones para el funcionamiento del sistema; a continuación, se indicaran los pocos pasos a seguir a la hora de implementar este sistema.

PASO 1: coloca el dispositivo en su muñeca, enciéndalo y realizar la conexión

Una vez el dispositivo este en la muñeca del paciente, y encendido, se inciara el enlace con la aplicación rebeca, una vez descargada, e instalada la app, se podrá visualizar la siguiente pantalla

Ilustración 27: app rebeca para el paciente

En esta pantalla se pueden apreciar dos botones, uno que nos lleva directo a la sección de sensado de las variables, de la cual hablaremos más adelante, y el botón tel que nos permitirá configurar el número de teléfono al cual se le enviara el mensaje de texto en caso de emergencia.

Ilustración 28: teléfono para él envió de mensaje

En esta pantalla el usuario introducirá el número de teléfono de la persona a la cual en caso de emergencias se le enviará el mensaje de texto, una vez introducido el número se dará clic en ingresar, redirigiéndonos a la pantalla de conexión y visualización.

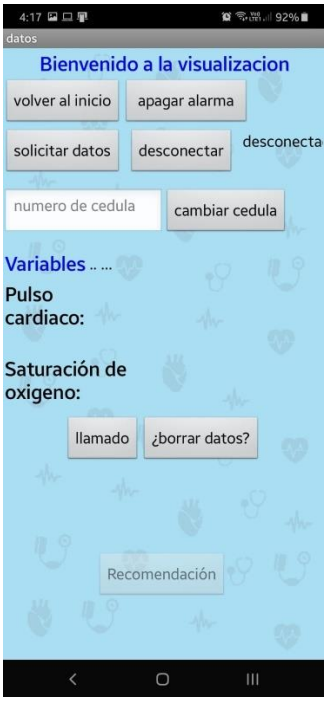


Ilustración 29: pantalla de visualización

En esta pantalla, es necesario introducir el numero de cedula del paciente para que esta se guarde en los datos de sensado.

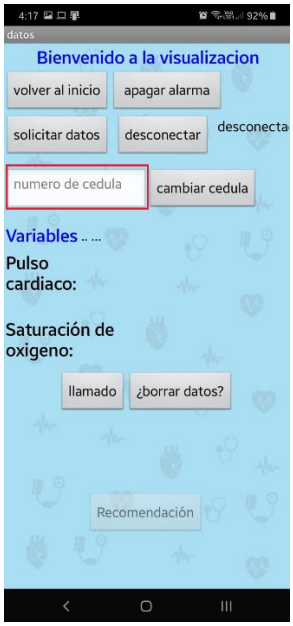


Ilustración 30: campo número de cedula

En el campo subrayado se introducirá el numero de cedula, una vez introducido el numero de cedula, procederemos a conectar el dispositivo, para esto daremos clic en el botón solicitar datos.

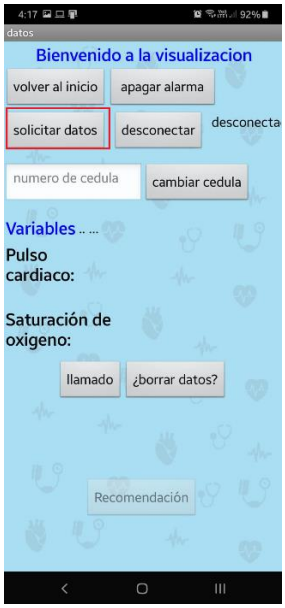


Ilustración 31: botón solicitar datos

Cuando se presione el botón solicitar datos, aparecerá la siguiente lista, en donde buscaremos el dispositivo bluetooth del wereable, el cual sería el HC-06, como lo especifica la siguiente imagen.

Ilustración 32: conexión

Una vez dado clic en este estaremos devuelta en la pantalla de sensado podremos visualizar las variables del paciente y en caso de que el dispositivo detecte anomalías emitirá un beep indicando que se presentó una anomalía, además la aplicación también alertara al paciente y lo remitirá a un conjunto de recomendaciones, paralelo a esto se enviara un mensaje sms al acompañante remitiéndolo a exactamente las mismas recomendaciones.

PASO 2: en caso de anomalía

Cuando se presente el caso de anomalía, se habilitará el botón recomendaciones

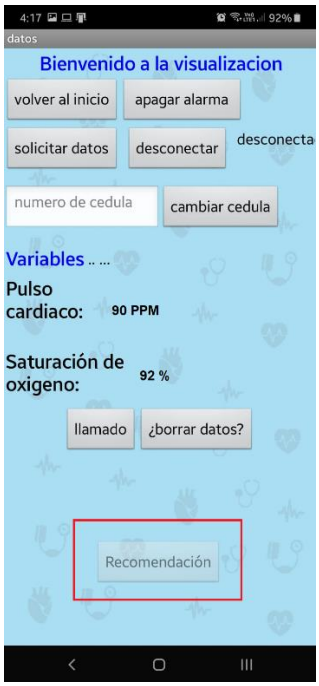


Ilustración 33: botón recomendaciones

Vez se habilite este botón y se acceda a él, el usuario sabrá qué acciones realizar también debido a que aparecerán una serie de recomendaciones para cada condición, las cuales se podrán leer, y escuchar por medio del botón de audio.

PASO 3: recomendaciones

En caso de anomalía se habilitarán las recomendaciones a seguir, de igual manera se alertará vía mensaje de texto al acompañante para que acuda, como se menciona en el paso anterior el usuario siempre tendrá un botón de llamado al acompañante en caso de que sienta que lo necesita.

El usuario deberá realizar las acciones que se le indican con ayuda del acompañante para que este le asesore en el proceso, el usuario solo tendrá habilitadas las recomendaciones en caso de que ocurra alguna anomalía, mientras que el acompañante siempre tendrá

habilitadas las recomendaciones y recibirá un mensaje de texto en caso de una anomalía que le indicara que parte de la app consultar.

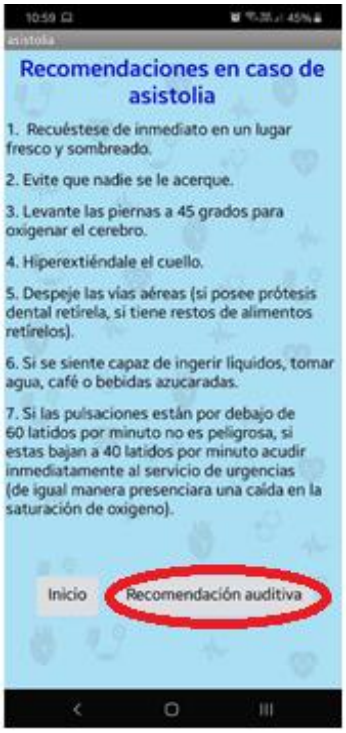


Ilustración 34: recomendación auditiva

las recomendaciones serán las mismas tanto para el paciente como para el acompañante, y se compondrán de dos apartados; el primero es la recomendación en texto como muestra la imagen, y la segunda es el botón de recomendación auditiva donde una vez pulsado el sistema comenzará a leer una a una las recomendaciones presentes en la actual página, esta pantalla será la misma tanto para el paciente como para el acompañante.

PASO 4: borrado de los datos y llamado

Si el usuario desea resetear los datos del aplicativo tendrá el botón borrar datos, al cual si se le da clic aparecerán dos opciones, preguntándole al usuario si desea borrar los datos, y deshabilitar el botón de recomendación en caso de ya no necesitarlo.

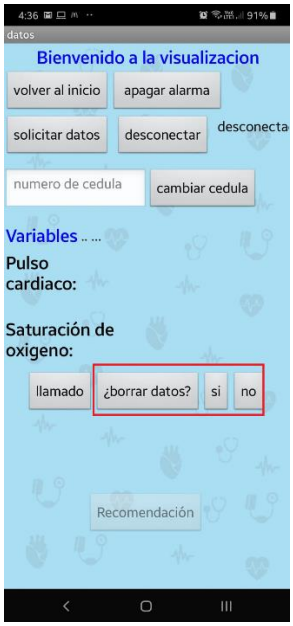


Ilustración 35: borrar datos

De igual manera el sistema presenta un botón de llamado para el paciente, el cual en caso de este necesitarlo, el sistema enviará un mensaje automático al acompañante el cual sabrá que debe ir donde el paciente.

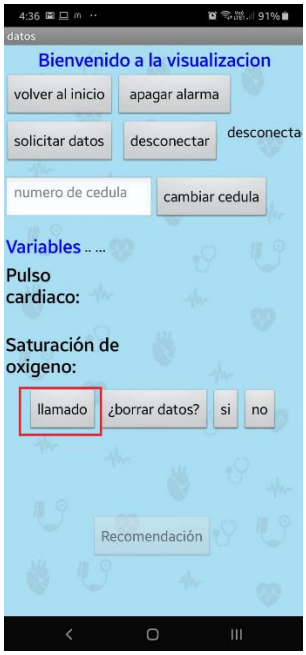


Ilustración 36: botón de llamado

PASO 5: revisión del sistema acompañante

El sistema acompañante al ser mas simple se explicará de una manera mas sencilla

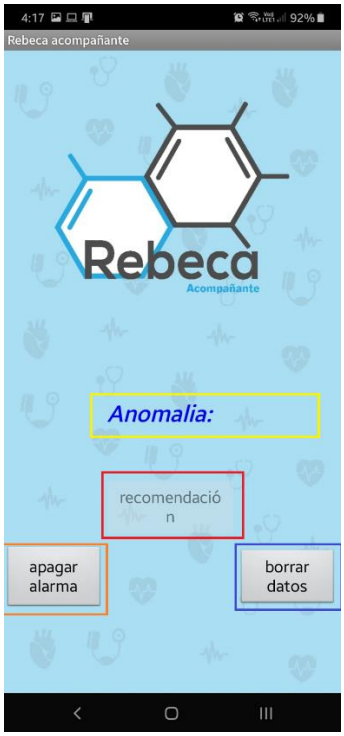


Ilustración 37: app acompañante

Sección señalada en amarillo: esta sección enseñara la anomalía que se está presentando cuando llegue el mensaje de texto.

Sección en rojo: este botón se habilitará con el fin de poder visualizar la recomendación, las recomendaciones son las mismas en que en el paciente

Sección en azul: borrar los datos, esta funciona igual que en el paciente

Sección naranja: apagar alarma, cuando el mensaje de anomalía es reconocido el sistema emitirá una alarma la cual debe ser apagada por el usuario ya que está en infinita.

B. Anexo: Acta de validación de las recomendaciones

Medellín 12 de julio del 2019

Doctor

Jaime Alberto Guzmán Luna

Docente Universidad Nacional de Colombia

Director de tesis de Maestría

ACTA DE CERTIFICACIÓN DE DOCUMENTACIÓN

Referencia: Revisión de documentación necesaria para el desarrollo de la tesis de maestría en ingeniería de sistemas del aspirante David Pulgarín Velásquez identificado con cedula 1214727158, bajo esta acta se hace validez de la revisión y verificación del conjunto de recomendaciones basadas en señales biométricas dada por el estudiante, las cuales son parte fundamental del desarrollo de la tesis de maestría.

Yo Luis Fernando Zuluaga Jaramillo, bajo el cargo de médico general con especialización en salud ocupacional, y registro médico del servicio seccional de salud de Antioquia 11921-86, certifico la validez del conjunto de recomendaciones mostradas por el estudiante y apruebo el uso de estas en el desarrollo de la tesis de maestría del estudiante.

LUIS FERNANDO ZULUAGA
C.C. 70033821

Firma _____

Nombre: Luis Fernando Zuluaga Jaramillo

CC: 70033821

Cargo: médico general con especialización en salud ocupacional
Registro medico: 11921-86

Firma _____

David Pulgarín Velásquez

CC: 1214727158

Ingeniero Electrónico
Aspirante a magister en ingeniería de sistemas

C. Anexo: entrevista acerca del sistema al profesional

Medellín, 15 de octubre de 2019

Asunto: encuesta al Doctor Luis Fernando Zuluaga Jaramillo, médico general especialista en salud ocupacional, con el fin de aclarar temas respecto al área médica necesarios para el desarrollo del sistema de medición y recomendación.

Encuestado: Doctor Luis Fernando Zuluaga J, médico general, especialista en salud ocupacional, registro medico 11921-86.

Encuestador: David Pulgarín Velásquez, ingeniero electrónico, aspirante a maestría en ingeniería de sistemas.

Resumen: la encuesta trabajará tres (3) temas, que son fundamentales para el correcto desarrollo del equipo; dichos temas a tratar son: frecuencia de medición, método de análisis de las alertas y puntos críticos de las variables; junto a esto se anexará una opinión del Doctor acerca del equipo.

Primer tema: frecuencia de medición

Doctor, cuál considera usted que debería ser el lapso de tiempo en el cual se deberían medir las variables del paciente.

R//:

En este tema la respuesta es diferente en todos los casos:

Si el paciente es una persona sana, que no esté diagnosticado bajo ninguna de estas patologías, puede realizarse chequeos una vez al día, o cuando él lo desee.

Si el paciente es una persona diagnosticada con estas patologías y manejado de forma ambulatoria, debe hacerse controles tres (3) veces al día (mañana, tarde y noche); estos pacientes deben anotar sus mediciones, en una libreta, donde se registre fecha, hora y resultado de medición.

Segundo tema: cómo interpretar la emisión de la alerta

¿Por su experiencia en el área de la salud, cómo considera usted que el paciente debería entender el llamado de alerta del equipo?

R//:

El equipo está diseñado para alertar de manera sonora inmediatamente detecte un cambio en la frecuencia cardiaca y/o en la oximetría, llamado que debe ser atendido inmediatamente y seguir las instrucciones dadas por el equipo; el paciente debe acudir lo más pronto posible al médico, quien determinará la conducta a seguir.

En el caso de la frecuencia cardiaca se presentan dos problemas: cuando la frecuencia cardiaca es alta y no se trata inmediatamente puede poner al paciente en alto riesgo cardiovascular, y en el peor de los casos la muerte; en cuanto a la frecuencia baja, esta puede llevar al paciente a que deba ser internado, por el alto riesgo en el que se encuentra.

En cuanto a la saturación de oxígeno, al momento de esta pasar un nivel crítico y no tratarse inmediatamente, el oxígeno en el cerebro irá descendiendo hasta un punto en que el paciente puede sufrir hipoxia cerebral, desencadenándose un estado de coma.

Como última instancia está la asistolia, la cual ocurre cuando la frecuencia cardiaca y la saturación de oxigeno bajan drásticamente, lo cual puede producir vértigo y otras consecuencias; esto debe ser atendido de manera urgente ya que si el paciente no acude a su médico con urgencia el paciente puede entrar en un estado de paro cardio respiratorio, y posteriormente la muerte.

Tercer tema: puntos criticos de las variables (punto de alerta)

¿Basándonos en su conocimiento y en su experiencia, cuáles son los niveles en los cuales el sistema debería emitir una alerta?

R/I:

Hay protocolos médicos definidos por la organización mundial de la salud los cuales dicen en forma clara los puntos críticos.

Arritmias: las arritmias pueden tener dos variantes como son la taquicardia y la bradicardia, teniendo como puntos críticos los siguientes:

Taquicardia: equivale al latido del corazón rápido: frecuencia cardíaca en reposo superior a los 100 latidos por minuto.

Bajas saturaciones de oxigeno: **Hipoxemia**. Saturación de oxigeno menor a 90 %

Asistolias: caída brusca del ritmo cardiaco y de la saturación de oxigeno (saturación mucho menor a 90 % junto con frecuencia a menos de 60 latidos por minuto).

Opinión del profesional

Este es un equipo diseñado para un autocontrol o un control familiar.

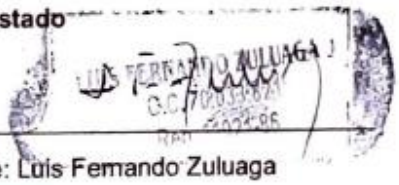
Puede ser utilizado por personas sanas que quieran hacerse controles periódicos de la frecuencia cardiaca y la oximetría, o por personas que tienen problemas de la presión arterial alta (hipertensión) o baja (hipotensión), y problemas de saturación de oxígeno.

El equipo emitirá una señal auditiva (alarma) cuando los niveles se salgan de los protocolos médicos, lo que llevará al usuario a revisar obligatoriamente unas recomendaciones básicas que el paciente debe realizar inmediatamente, mientras visita a su médico, y deberá mostrarle los datos anotados en la libreta donde consignó sus controles.

El equipo en mención no remplaza una cita médica ni genera ningún tipo de medicación: solo le advierte al usuario que tiene un punto crítico (alerta temprana) en sus mediciones para que consulte a su médico, y así evitar complicaciones futuras que podrían ser funestas.

El especialista en salud será quien defina un tratamiento ambulatorio, ingrese el paciente a un grupo de control de hipertensión o lo remita a hospitalización, según el caso.

Entrevistado



Firma _____

Nombre: Luis Fernando Zuluaga

CC: 70033821

Cargo: medico en salud ocupacional

Registro medico #: 11921-86

Entrevistador

Firma _____

David Pulgarin Velasquez

CC: 1214727158

Ingeniero Electrónico

Aspirante a magister en ingeniería de sistemas

D. Videos de validación de funcionamiento del sistema

En este anexo se encontraran 4 enlaces a los cuales solo hay que darles click con el fin de reproducirlos y apreciar el funcionamieto del aplicativo rebeca, tanto en su version de paciente como de acompañante para cada una de las 3 condiciones.

Video validacion condicion arritmia

Click aqui para reprodorucir el video

En caso de no funcionar el video adjunto el enlace:
https://www.youtube.com/watch?v=hZ1HfU9IZ0Q&t=1s

Video validacion condicion baja saturacion de oxigeno

Click aqui para reproducir el video

En caso de no funcionar el hipervinculo adjunto el enlace:
https://www.youtube.com/watch?v=Jk_hiSY5B7I

Video asistola

Click aqui para reproducir el video

En caso de no funcionar el hipervinculo adjunto el enlace:
https://www.youtube.com/watch?v=ZuqtUHncNiI

Video validacion de las 3 condiciones con un cambio en el numero de telefono en caso de que se necesite un nuevo acompañante

Click aqui para reproducir el video

En caso de no funcionar el hipervinculo adjunto el enlace:
https://www.youtube.com/watch?v=x8jBKykGVI4

E. Carta de validacion y certificacion por parte del Medico asesor

Medellín 23 de abril de 2020

Doctor

Jaime Alberto Guzmán Luna

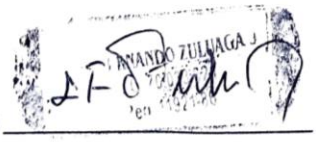
Docente Universidad Nacional de Colombia

Director de tesis de Maestría

ACTA DE VALIDACION DEL SISTEMA

Referencia: Revisión del sistema rebeca, con el propósito de validar el funcionamiento general de esta según la opinión de un experto en el área de la salud.

Yo Luis Fernando Zuluaga, bajo el cargo de médico en salud ocupacional, y registro medico #11921-86, después de revisar y analizar el contenido enviado por el aspirante a magister David Pulgarin Velasquez, certifico el funcionamiento y la validez del sistema rebeca desde la óptica médica, ya que este sistema presenta una gran funcionalidad, debido al guardado de las variables del paciente y a su vez cuando se sale de los parámetros normales envía una señal a un familiar cercano o acompañante con el fin de iniciar los cuidados preliminares, dándole así una ayuda a la familia y al área medica a la hora de atender este paciente.



Firma _____

Nombre: Luis Fernando Zuluaga Jaramillo

CC: 70033821

Cargo: medico en salud ocupacional

Registro medico #: 11921-86

F. Anexo: hojas de datos de los componentes

DATASHEET (PIN-OUT) ARDUINO NANO

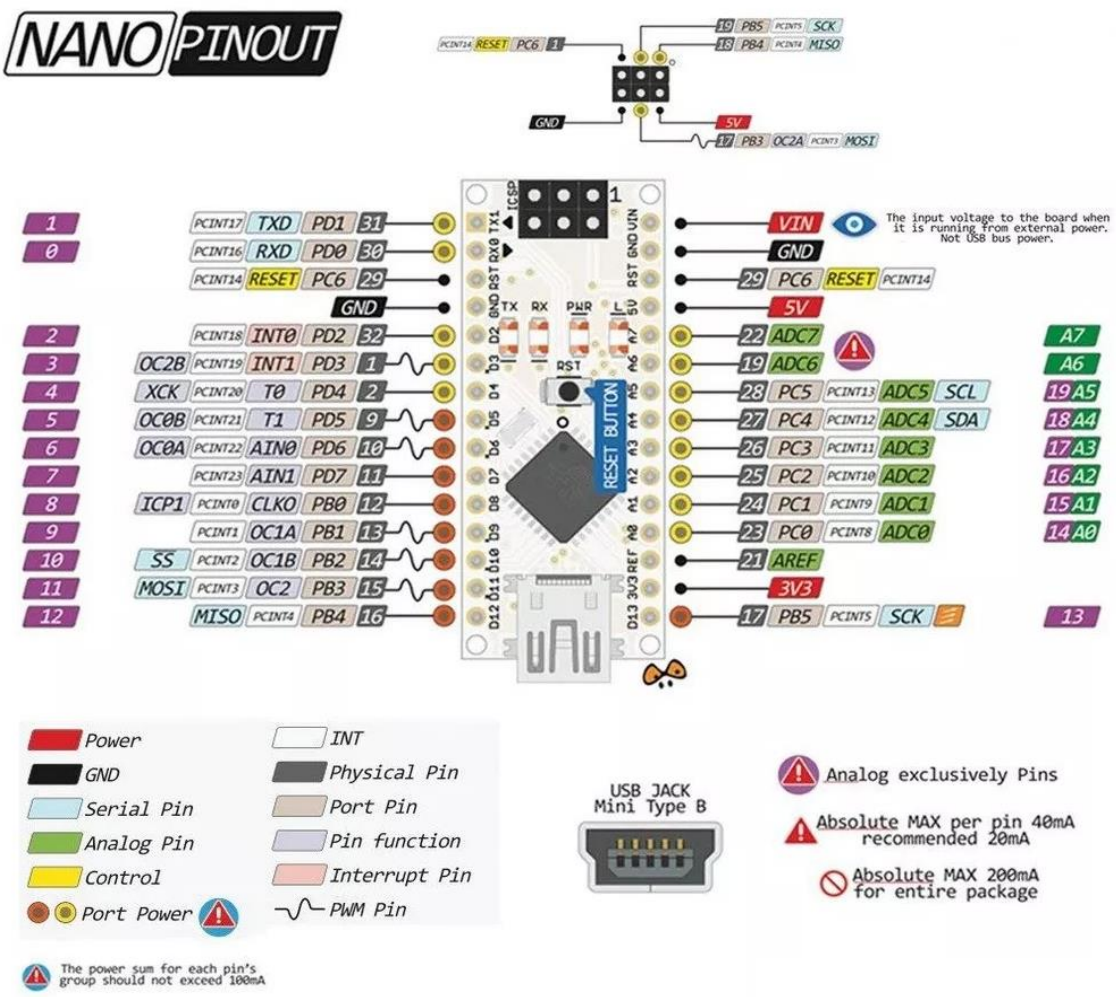


Ilustración 38 : pin out arduino nano

DATASHEET (PIN-OUT) MAX30100

Number	Pins	Definition of Pins
1	VIN	Power Input 1.8V - 5.5V
2	SCL	IIC-SCL
3	SDA	IIC-SDA
4	INT	MAX30100 INT
5	IRD	MAX30100 IR_DRV
6	RD	MAX30100 R_DRV
7	GND	Ground

Ilustración 39 :pin put max30100

DATASHEET (PIN-OUT) BLUETOOTH HC-06

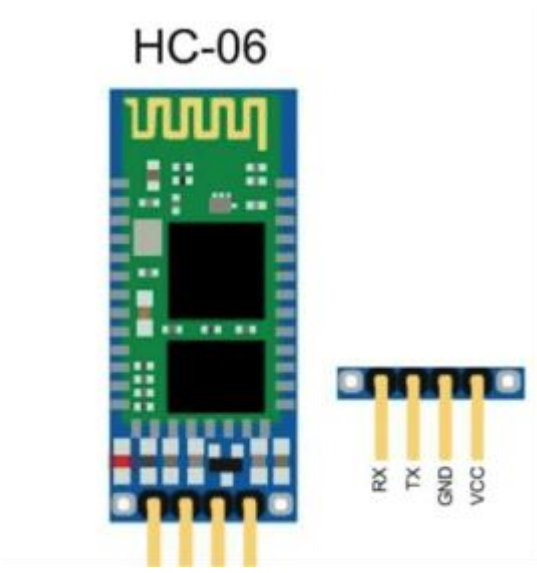


Ilustración 40 :pin out hc-06

G. Encuesta de conocimiento del sistema

Se realizó una encuesta con el fin de dar a conocer el sistema y lo que pensaba la gente de él, esta encuesta se hizo por google forms, para mayor comodidad de los encuestados; los resultados de la encuesta fueron los siguientes:

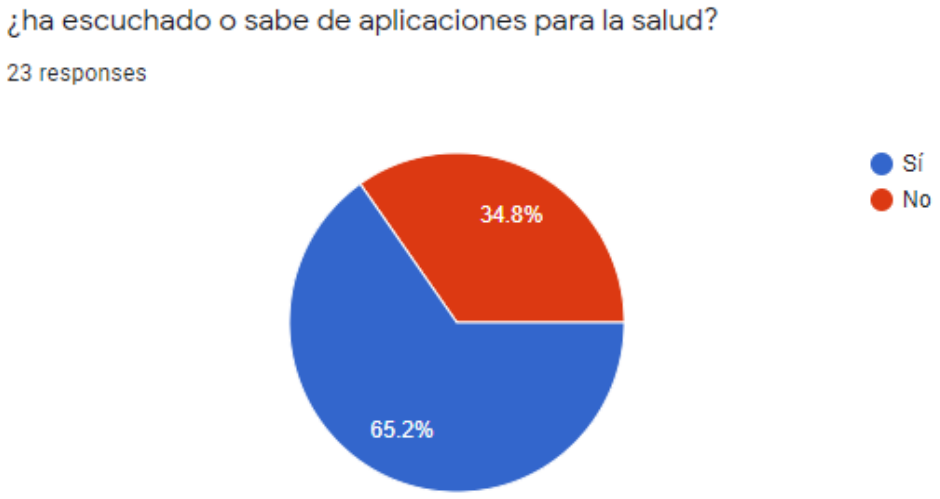


Ilustración 41 : encuesta pregunta 1

¿esta de acuerdo y le parece un entorno amigable el inicio de la aplicación rebeca?

23 responses

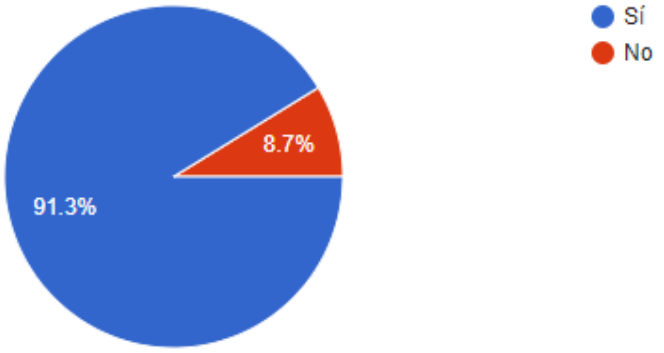


Ilustración 42: encuesta pregunta 2

¿cree usted que la interfaz de visualización es amigable, y aparentemente es fácil de manejar?

23 responses

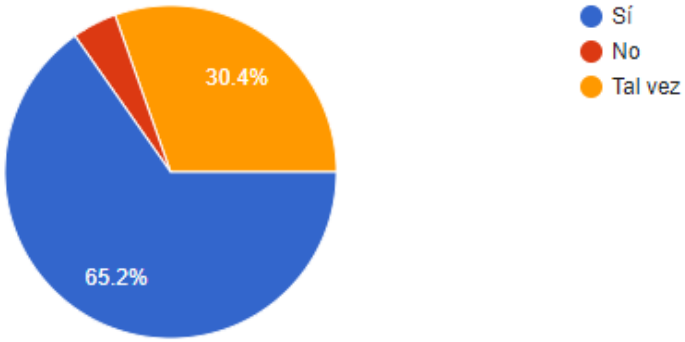


Ilustración 43: encuesta pregunta 3

una vez el paciente entra en alguna de las condiciones comentadas en la descripción de la encuesta la aplicación muestra una pantalla de recomendaciones en donde se pueden leer las recomendaciones de cada condición y se presenta un botón que le lee al usuario estas recomendaciones; ¿considera usted que la pantalla de recomendaciones es entendible, amigable a la vista, y fácil de leer? (todas las recomendaciones tienen el mismo formato de fuente, color y orden)

23 responses

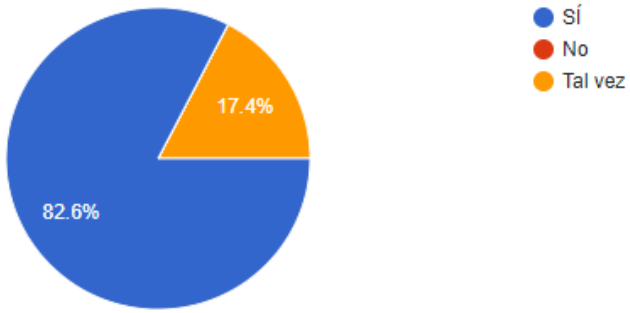


Ilustración 44: encuesta pregunta 4

¿después de haber realizado la encuesta y de conocer mas el sistema rebeca cree que el sistema tiene utilidad?

23 responses

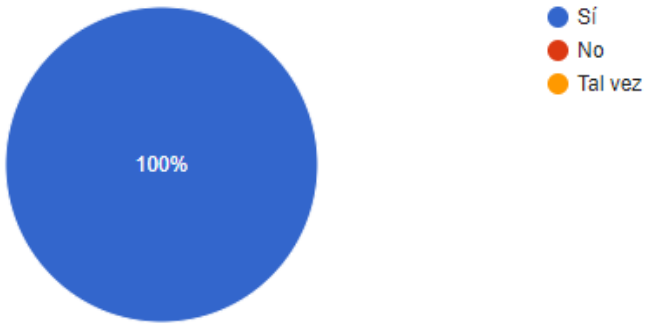


Ilustración 45: encuesta pregunta 5

Ilustración 46: encuesta pregunta 6

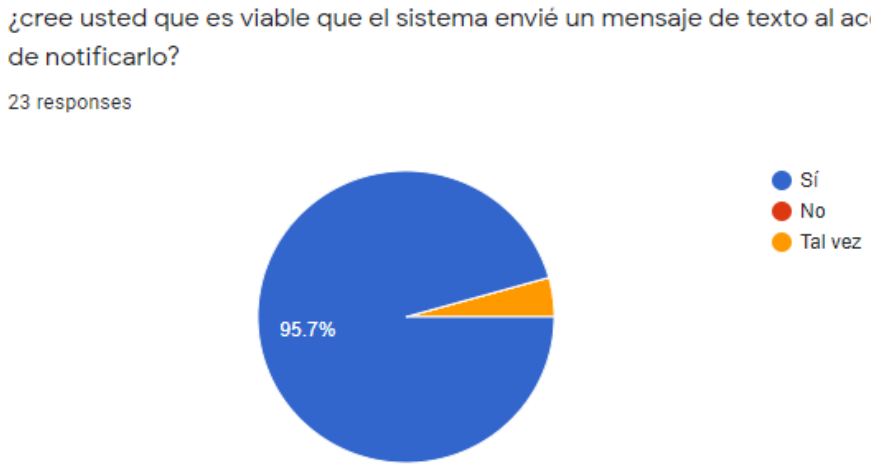


Ilustración 47: encuesta pregunta 7

H. Análisis de almacenamiento del dispositivo wereable

Para realizar el análisis de almacenamiento en el sistema wereable se usaron los siguientes datos:

tiempo entre guardado de datos	30 segundos
horas del día	24
minutos de una hora	60
minutos de un día	1440
numero de muestreos de un día	2880

Después se analizo la capacidad de almacenamiento del dispositivo en días si se posee una memoria de 8Gb

análisis de capacidad			
	Gigabytes (Gb)	**Megabytes (Mb)**	**Kilobytes (Kb)**
memoria del dispositivo	8	8000	8000000
tamaño de 2880 muestras	0,000074	0,074	74
capacidad de días de almacenamiento	108108	108108	108108

Después de realizar la división de la cantidad de la memoria respecto al peso los datos de un solo día, podemos apreciar el número de días que el dispositivo puede guardar datos; se expresó la operación en todas las unidades de medida de datos digitales con el fin de que se pueda determinar el tamaño del almacenamiento en cualquiera de las unidades.

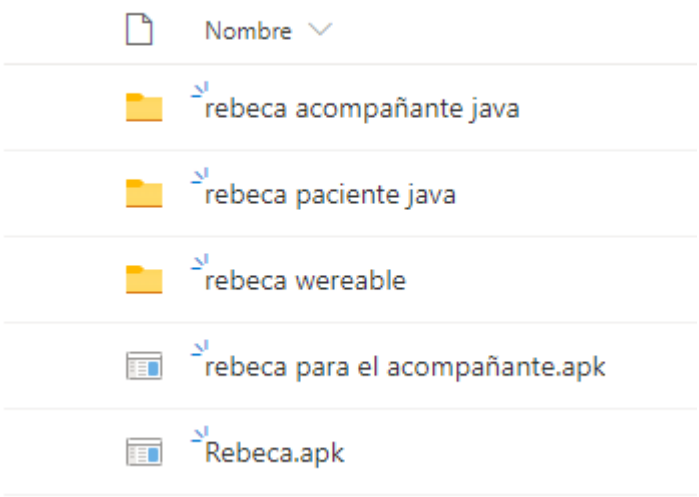
I. Archivo con el código del sistema wereable, y de los aplicativos Rebeca para el paciente y el acompañante.

En este anexo se encuentra el enlace para la descarga de todos los archivos de rebeca, el siguiente enlace contiene los apk de rebeca para el paciente y el acompañante, y los respectivos códigos de las aplicaciones y del dispositivo wereable.

hacer click aquí para ver los archivos

en caso de no funcionar el hipervínculo adjunto el enlace de la carpeta: https://tecnologicodeantioquia-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/david_pulgarin_tdea_edu_co/EoIsl1bTgZpCpy2GEs9Wnj4BAF8b1mIjn3-fg6BqA0T_gg?e=DDygCH

la carpeta presenta una distribución de los anexos de la siguiente manera



Bibliografía

Basari, & Agung, M. A. (2018). Wireless ECG Patient Monitoring System Performance Aimed at Off-/On-body Communications. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, *2018-Augus*, 1000–1004. https://doi.org/10.23919/PIERS.2018.8597687

Bencomo, S., Villazana, S., & Salas, B. (2016). Design and construction of a pulse oximeter . Diseño y construcción de un oxímetro de pulso . *Revista INGENIERÍA UC*, *23*(2), 162–171.

Chowdhury, M. H., Hossain, Q. D., Saha, P., & Rahaman, M. (2017). Design, Fabrication and Performance Evaluation of a Three Electrode ECG Recorder. *2016 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology, ICISET 2016*, 1–4. https://doi.org/10.1109/ICISET.2016.7856500

Fin, P., & Ingenier, C. (2015). PFC - Luis Manuel Moreno - 2015.

Galadima, A. A. (2014). Arduino as a learning tool. *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO 2014*, 1–4. https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997577

Galilmedical. (2013). Innovation Brochure, optimal spacing.

Garrigos, A., Marroqui, D., Blanes, J. M., Gutierrez, R., Blanquer, I., & Canto, M. (2017). Designing Arduino electronic shields: Experiences from secondary and university courses. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, (April), 934–937. https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7942960

Gifari, M. W., Zakaria, H., & Mengko, R. (2015). Design of ECG Homecare:12-lead ECG

acquisition using single channel ECG device developed on AD8232 analog front end. *Proceedings - 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics: Bridging the Knowledge between Academic, Industry, and Community, ICEEI 2015*, 371–376. https://doi.org/10.1109/ICEEI.2015.7352529

Guerra, F. (2012). Arritmias cardiacas fetales. *Revista de Las Ciencias de La Salud de Cienfuegos*, *11*, 1–14. Retrieved from http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/urgencia/8_arritmias.pdf

Knörig, A., Wettach, R., & Cohen, J. (2009). Fritzing - A tool for advancing electronic prototyping for designers. *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, TEI'09*, 351–358. https://doi.org/10.1145/1517664.1517735

Pacheco, J. A., Ramón, J., & Espinal, H. (2000). Paro Cardíaco y Resucitación Cardiopulmonar dentro del Hospital, *68*(No. 2 Abril), 5. Retrieved from http://www.bvs.hn/RMH/pdf/2000/pdf/Vol68-2-2000-6.pdf

Patil, P., & Bhole, K. (2019). Real time ECG on internet using Raspberry Pi. *Proceedings of the 2018 International Conference On Communication, Computing and Internet of Things, IC3IoT 2018*, 267–270. https://doi.org/10.1109/IC3IoT.2018.8668157

Santiago, A. :, & Alonso, V. (2010). Sistema óptico autónomo para la medida de parámetros biomédicos.

Vn, V., Frp, J., Dplw, V., Spwlzdul, H. G. X., Hgx, D., Dplw, U., … Microcontroller, A. A. (2019). Smart safety monitoring system for sewage workers with two way Communication, *70*, 617–622.

Wan, J., Zou, Y., Li, Y., & Wang, J. (2018). Reflective type blood oxygen saturation detection system based on MAX30100. *2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics, SPAC 2017*, *2018-Janua*(4), 615–619. https://doi.org/10.1109/SPAC.2017.8304350

Wolber, D. (2011). App inventor and real-world motivation. *SIGCSE'11 - Proceedings of the 42nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 601–606.

https://doi.org/10.1145/1953163.1953329

Yusof, M. A., & Hau, Y. W. (2019). Mini home-based vital sign monitor with android mobile application (myVitalGear). *2018 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences, IECBES 2018 - Proceedings*, 150–155. https://doi.org/10.1109/IECBES.2018.8626639