

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

PROYECTO TÉCNICO:

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON
LA ENFERMEDAD DE DIABETES

AUTOR:

JONATHAN DIEGO CASTELO CASTELO

TUTOR:

ING. VICENTE PEÑARANDA MSC.

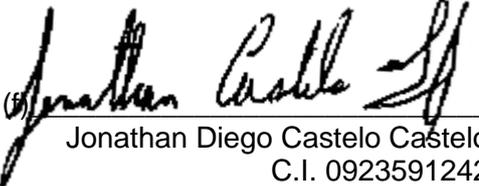
GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación

Yo, Jonathan Diego Castelo Castelo estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana certifico que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad del autor y es propiedad intelectual de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, febrero del 2021



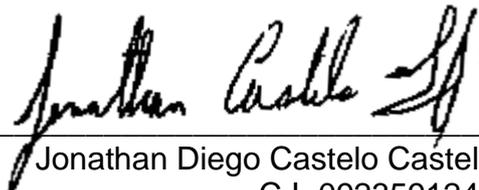
Jonathan Diego Castelo Castelo
C.I. 0923591242

Certificado de cesión de derechos de autores

Yo, Jonathan Diego Castelo Castelo con documento de identificación N° 0923591242, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos patrimoniales en calidad de autor del proyecto de titulación titulado “DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON LA ENFERMEDAD DE DIABETES”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico con énfasis en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, febrero del 2021

(f) 
Jonathan Diego Castelo Castelo
C.I. 0923591242

Certificado de dirección del trabajo de titulación

Por medio de la presente doy a conocer que el Proyecto de titulación “DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON LA ENFERMEDAD DE DIABETES” presentado por el Sr. Jonathan Diego Castelo Castelo para optar por el título de Ingeniero Electrónico con mención en Telecomunicaciones, se ajusta a las normas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana, por tanto, autorizo su presentación ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, febrero del 2021

(f)



Ing. Vicente Peñaranda
DIRECTOR DE PROYECTO DE TESIS

Dedicatoria

Hago mención honorífica a Mariela Quispe quien me impulsó a terminar el anteproyecto.

Al Ing. Pablo Echeverría por el tiempo en asesorarme temas y recomendaciones.

Al Ing. Vicente Peñaranda, Luis Neira, Bremnen Veliz por su paciencia en revisiones y correcciones de la misma Tesis.

Al Ing. Orlando Barcia por toda su gestión para lograr finalizar la tesis a tiempo.

Y una muy especial a todos los siguientes que adoro por igual: mi mamita incondicional, mi padre perfecto, mi hermano perfeccionista y mi amada hermosa flaquita de mi vida, ellos mismo saben que aportaron mucho, los amo muchísimo y son el soporte de mi vida.

Agradecimiento también para amigos como Iperty, Saltos, etc.

Resumen del proyecto

El proceso más importante mediante el cual el cuerpo produce energía es a través del metabolismo de los carbohidratos para la obtención de la glucosa, la cual se almacena en forma de moléculas altamente complejas que flotan en nuestro torrente sanguíneo. La insulina es una hormona producida por células especializadas en el páncreas y es la encargada del anabolismo de las moléculas de glucosa. Esta hormona es liberada a la sangre al ser detectados altos niveles de glucosa. En palabras más sencillas la insulina está a cargo de descomponer la glucosa en moléculas más fácilmente aprovechables por el organismo y sus sistemas. Cuando la producción de insulina falla, el cuerpo enfrenta un conjunto de síntomas debidos al exceso de azúcar en la sangre, enfermedad a la que se conoce comúnmente como diabetes.

Es de suma importancia llevar un control adecuado de varios parámetros de salud especialmente si la persona ya sobrepasa la edad de los cuarenta años y su peso ha incrementado, con la finalidad de evitar en un futuro posibles deterioros a corto y largo plazo de la salud.

Al ser un problema que afecta a muchas personas los centros médicos y los sistemas de salud deben incrementar su capacidad para el control y tratamiento de esta enfermedad. Sin embargo, en el Ecuador el sistema de salud ha sido poco eficiente para atender a toda la demanda. En este contexto se plantea una propuesta de telemedicina que ayude al control de parámetros de salud de manera remota. Los parámetros que se van a monitorizar son los signos vitales y nivel de azúcar usando nuevas tecnologías aplicada al IoT (Internet de las Cosas), bases de datos y sistemas embebidos de hardware de bajo costo, que pueden ser de gran ayuda en los centros de salud de zonas rurales de la costa ecuatoriana.

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño y aplicación de un prototipo de sistema de control y manejo telemático para personas con la enfermedad de diabetes, el mismo está compuesto por tres partes.

La primera será el prototipo que hará la medición de los valores del cuerpo como oxigenación, pulso cardiaco y nivel de azúcar.

La segunda es la aplicación en sistema basado en Android que será instalada

en el celular del paciente donde se registrará y agendará la información diariamente.

La tercera es la interfaz web donde puede ser revisada remotamente por doctores o personas encargadas del cuidado personal del paciente.

Abstract

Diabetes is a disease that occurs when your blood glucose level, also known as blood sugar, is high. Glucose in the blood is the main source of energy and comes from the foods that are consumed. Insulin, a hormone produced by the pancreas, helps food glucose enter cells for use as energy. Sometimes the body doesn't produce enough insulin or doesn't use it properly by staying in the blood and not reaching the cells. Over time, excess blood glucose can cause health problems. It is of the utmost importance to keep adequate control of various health parameters especially if the person is already over the age of forty years and his weight has increased, in order to avoid in the future possible short- and long-term deteriorations in health.

As a problem affecting many people, medical centers and health systems must increase their capacity for the control and treatment of this disease, however, in Ecuador the health system has been inefficient in meeting all demand. In this context, a telemedicine proposal is proposed to help control health parameters remotely, the parameters to be monitored are, the vital signs and sugar level using new technologies applied to IoT (Internet of Things), databases and embedded systems of low-cost hardware, which can be of great help in health centers in rural areas of the Ecuadorian coast.

The purpose of this project is the design and application of a prototype control and telematics management system for people with diabetes disease, the same one consisting of three parts, the first will be the prototype that will make the measurement of the values of the body such as oxygenation, heart pulse and sugar level, the second is the application in android-based system that will be installed on the patient's cell where it will be recorded and it will schedule the information daily, and the third, is the web interface where it can be reviewed remotely by doctors or persons in charge of personal care of the patient.

Índice general

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	II
Certificado de cesión de derechos de autores	III
Certificado de dirección del trabajo de titulación	IV
Dedicatoria	V
Resumen del proyecto	VI
Abstract	VIII
Índice general	IX
Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XIII
Introducción	1
1. El Problema	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Antecedentes	4
1.3. Importancia y alcance.....	4
1.4. Delimitación.....	5
1.4.1. Delimitación académica.....	5
1.4.2. Delimitación temporal	5
1.4.3. Delimitación espacial.....	5
1.5. Beneficiarios de la propuesta.....	5
1.6. Propuesta de solución	6
1.7. Innovación e impacto del proyecto.....	7
1.8. Objetivos de la investigación	7
1.8.1. Objetivo general	7
1.8.2. Objetivos específicos.....	7
2. Fundamentos teóricos.....	9
2.1. Diabetes en el Ecuador	9
2.2. Telemedicina	10
2.3. Arduino.....	12
2.3.1. Especificaciones técnicas de Arduino UNO	13
2.4. E-Health sensor shield v2.0	14
2.4.1. Características generales de e-Health v2.0	16
2.4.2. Sensores aceptados por e-Health v2.0.....	17
2.5. Medición de parámetros fisiológicos del cuerpo humano.....	17
2.5.1. Medición de pulso y oxígeno en la sangre (spo2)	18
2.5.2. Medición de la actividad cardiaca	18
2.5.3. Medición de la presión arterial y pulso cardiaco.....	18
2.5.4. Medición de glucosa (glicemia).....	20
2.6. Rasperry pi 3	21
2.7. Especificaciones técnicas rasperry pi 3	21
2.7.1. Radio inalámbrico.....	22
2.7.2. Antena.....	23
2.7.3. Soc.....	23
2.7.4. Gpio.....	24
2.7.5. Chip usb	25
2.8. Android.....	25
2.9. Sensor de oximetría y pulso cardíaco.....	26
2.10. Dispositivo bluetooth hc-05	27
2.11. Python.....	27
2.12. DBMS MySql.....	28
2.13. NodeJS	28
2.14. VueJS	29
3. Marco metodológico.....	30

3.1.	Tipo de investigación.....	30
3.2.	Diseño de investigación.....	30
3.3.	Enfoque de la investigación.....	30
3.4.	Metodología de investigación.....	31
4.	Resultados.....	32
4.2.	Prototipo e-Health IoT.....	33
4.3.	Sensores e-Health IoT.....	33
4.4.	Sensores de pulso y oxígeno en la sangre (spo2).....	35
4.5.	Conectado y uso del sensor pulsioxímetro.....	37
4.6.	Sensor de electrocardiograma.....	38
4.6.1.	Conectando y usando el sensor.....	38
4.7.	Glucómetro.....	39
4.7.1.	Conexión y uso del sensor.....	40
4.8.	Raspberry pi y arduino.....	40
4.9.	Conexión del e-Health con arduino uno.....	41
4.9.1.	Librerías.....	42
4.9.2.	Transmisión y almacenamiento de datos.....	43
4.9.3.	Visualización de datos y alertas.....	43
4.9.4.	Visualización en android.....	43
4.10.	Arquitectura de hardware del prototipo IoT de telemedicina.....	44
4.11.	Arquitectura de software del prototipo IoT de telemedicina.....	46
4.12.	Elementos del prototipo de telemedicina.....	47
4.13.	Ensamblaje del prototipo de telemedicina.....	50
4.14.	Programación en tarjeta controladora.....	53
4.15.	Programación MySQL.....	54
5.	Análisis de resultados.....	57
5.1.	Prueba del prototipo IoT de telemedicina.....	57
5.2.	Prueba del prototipo IoT de telemedicina vía APP.....	68
5.3.	Adquisición de datos del prototipo vía APP.....	69
5.4.	Pruebas en un Pacientes.....	73
5.5.	Encuesta para Pacientes, Cuidadores y Médicos.....	81
5.6.	Resultados de Encuestas.....	81
6.	Conclusiones.....	84
7.	Recomendaciones.....	85
	Referencias bibliográficas.....	86
8.	Anexo.....	88
8.1.	Encuestas.....	88
8.2.	Diagrama de conexiones.....	93
8.3.	Glucosa.....	96
8.4.	Frecuencia cardiaca.....	97
8.5.	Validación médica:.....	98

Índice de figuras

Figura 2.1 Revisión de nivel de glucosa.....	10
Figura 2.2 Evolución de la Diabetes en el Ecuador.....	10
Figura 2.3 Telemedicina	11
Figura 2.4 Arduino UNO	12
Figura 2.5 Tipos de Arduino.....	13
Figura 2.6 e-Health Sensor Shield V2.0.....	14
Figura 2.7 Sensores de e-Health Sensor Shield V2.0	15
Figura 2.8 Aplicaciones para Telemedicina con e-Health Sensor Shield V2.0	15
Figura 2.9 e-Health Sensor Shield V2.0 con placas Arduino y Raspberry.....	15
Figura 2.10 Ondas de un electrocardiograma.	19
Figura 2.11 Raspberry PI.....	21
Figura 2.12 Radio inalámbrico de la Raspberry Pi3	23
Figura 2.13 Antena Raspberry Pi3.....	23
Figura 2.14 SOC Raspberry PI	24
Figura 2.15 GPIO Raspberry PI 3.....	24
Figura 2.16 Chipset Raspberry PI 3.....	25
Figura 2.17 Sistema Operativo Android	26
Figura 2.18 Sensor de Oximetría y Pulso Cardíaco	26
Figura 2.19 Dispositivo Bluetooth para Arduino	27
Figura 2.20 Logo de Python.....	27
Figura 2.21 MySQL Server	28
Figura 2.22 Node JS.....	29
Figura 2.23 VueJS.....	29
Figura 4.1 Diagrama general del prototipo de telemedicina	32
Figura 4.2 Dispositivo IoT e-Health.....	33
Figura 4.3 Sensores EKG	34
Figura 4.4 Sensor de pulso.....	34
Figura 4.5 Conectores de la parte superior de la placa v2.0 para sensores e-Health.	35
Figura 4.6 Conectores de la parte superior de la placa v2.0 para sensores e-Health.	35
Figura 4.7 Pulsioxímetro empleado en el proyecto.	36
Figura 4.8 Funcionamiento del pulsioxímetro.....	36
Figura 4.9 Conexión del sensor de pulso y oxígeno en la placa v2.0 (paso 1).	37
Figura 4.10 Conexión del sensor de pulso y oxígeno en la placa v2.0 (paso 2).	37
Figura 4.11 Conexión del sensor de pulso y oxígeno en la placa v2.0 (paso 3).	38
Figura 4.12 Sensor de electrocardiograma empleado en el proyecto.....	38
Figura 4.13 Ubicación de los electrodos en el cuerpo para el electrocardiograma.	39
Figura 4.14 Glucómetro	39
Figura 4.15 Obtención de gota de sangre para usar en el glucómetro.	40
Figura 4.16 Acoplamiento de Arduino y Raspberry PI.....	41
Figura 4.17. Conexión entre la placa v2.0 y el Arduino Uno.....	41
Figura 4.18 Conexión entre la placa v2.0 y el Arduino Uno.....	42
Figura 4.19 Librerías eHealth en el directorio librerías de Arduino	43
Figura 4.20 Arquitectura de Hardware del prototipo IoT de Telemedicina	45
Figura 4.21 Diagrama de bloques del hardware prototipo IoT.....	45
Figura 4.22 Arquitectura de Software del prototipo IoT de Telemedicina	46
Figura 4.23 Esquema de conexión de elementos del prototipo de telemedicina	47
Figura 4.24 Elementos del prototipo de telemedicina.....	48
Figura 4.25 Caja plástica de protección del prototipo de telemedicina	48
Figura 4.26 Vista lateral de la caja plástica	49
Figura 4.27 Elementos de enfriamiento de la electrónica y borneras	49

Figura 4.28 Elementos principales del prototipo	50
Figura 4.29 Soldadura del prototipo de telemedicina	50
Figura 4.30 Conexiones internas del prototipo de telemedicina	51
Figura 4.31 Conexión de borneras en el prototipo de telemedicina	51
Figura 4.32 Conexión de sensores del prototipo de telemedicina	52
Figura 4.33 Pruebas de sensores del prototipo de telemedicina	52
Figura 4.34 Encendido y puesta en marcha del prototipo de telemedicina.....	53
Figura 5.1 Encendido del prototipo	57
Figura 5.2 Ingreso con user y password, interfaz Raspberry (vista extendida).....	58
Figura 5.3 Creación de usuarios interfaz Raspberry	58
Figura 5.4 Pantalla de selección de usuarios en prototipo, interfaz Raspberry	59
Figura 5.5 <i>Pantalla principal del prototipo, interfaz web (vista extendida)</i>	59
Figura 5.6 Pantalla principal del prototipo, interfaz Raspberry (vista extendida)	60
Figura 5.7 Datos de electrocardiograma	61
Figura 5.8 Glucómetro	62
Figura 5.9 Registro de glucosa, interfaz Raspberry	62
Figura 5.10 Gráfica con valores de glucosa, máximos y mínimos, interfaz Raspberry	63
Figura 5.11 Gráfica con valores de glucosa, máximos y mínimos, interfaz web	63
Figura 5.12 Datos de pulso y oxígeno con máximos y mínimos.....	64
Figura 5.13 Toma de datos del pulsi oxímetro (con captura de Raspberry)	65
Figura 5.14 Visualización de la agenda en interfaz web.....	65
Figura 5.15 Agenda del prototipo de telemedicina, interfaz Raspberry (vista extendida).....	66
Figura 5.16 Sección de comidas, <i>interfaz Raspberry (vista extendida)</i>	67
Figura 5.17 Sección de comidas, <i>interfaz Raspberry (vista extendida)</i>	67
Figura 5.18 Instalación de aplicación android en móvil.	68
Figura 5.19 Pantalla de la APP del Prototipo de Telemedicina.	69
Figura 5.20 Conectividad con la Raspberry Pi y la APP móvil.....	69
Figura 5.21 Creación de usuario, interfaz aplicación móvil	70
Figura 5.22 Pantalla de selección de usuarios, interfaz aplicación móvil	70
Figura 5.23 Electrocardiograma en APP	71
Figura 5.24 Pulso y oxígeno en la APP.....	71
Figura 5.25 Glucosa en APP.....	72
Figura 5.26 Agenda en APP	72
Figura 5.27 Comidas en APP.....	73
Figura 5.28 Valores de electrocardiograma, Paciente V	74
Figura 5.29 Valores de pulso y oxígeno, Paciente I	75
Figura 5.30 Valores de Pulso, Paciente IV.....	76
Figura 5.31 Valores de Oxígeno, Paciente IV	77
Figura 5.32 Valores de Glucosa, Paciente V.....	78
Figura 5.33 Registro de Agenda, Paciente II.....	79
Figura 5.34 Registro de Comidas, Paciente IV	80
Figura 8.1: Encuesta de paciente I	88
Figura 8.2: Encuesta de paciente II	89
Figura 8.3: Encuesta de paciente III.....	90
Figura 8.4: Encuesta de paciente IV	91
Figura 8.5: Encuesta de paciente V	92
Figura 8.6: Diagrama de conexiones e-Health - Arduino.....	93
Figura 8.7: Diagrama de conexiones, LCD Raspberry Pi.....	94
Figura 8.8: Diagrama de conexiones, alimentación.....	95
Figura 8.9: Validación médica.....	98

Índice de tablas

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del Arduino UNO.....	13
Tabla 2.2 Características e-Health v2.0.....	16
Tabla 2.3 Sensores e-Health v2.0.....	17
Tabla 2.4 Presión arterial.....	19
Tabla 2.5 Valores de pulso cardíaco.....	19
Tabla 2.6 Valores típicos de glucosa.....	20
Tabla 5.1 Fechas de estudio en Pacientes.....	73
Tabla 8.1: Mínimos y máximos de glucosa en ayunas.....	96
Tabla 8.2: Máximos y mínimos de glucosa después del desayuno.....	96
Tabla 8.3: Frecuencia cardíaca normal de acuerdo con la edad.....	97

Introducción

De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre los años 1980 y 2014 los casos de diabetes se multiplicaron por cuatro, y del 2014 al 2016 la prevalencia en adultos se ha duplicado, cifras altamente preocupantes considerando que se trata de una enfermedad crónica. La diabetes es una enfermedad caracterizada por un conjunto de síntomas debidos a la escasa o mal aprovechamiento de la hormona producida en el páncreas, llamada insulina, y se considera como enfermedad crónica dado que en la actualidad no existe cura, sino únicamente tratamiento, que de no ser aplicado estrictamente podría causar la muerte (OMS, 2016).

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, la prevalencia de esta enfermedad aumenta gradualmente en grupos de pacientes con mayor edad, es decir, los adultos tienden más a padecer este mal frente a los jóvenes, y las personas de la tercera edad tienden más a padecerla que los adultos. Se conoce entre las causas más probables, relacionadas directamente con enfermedades no transmisibles al consumo en exceso de alcohol y tabaco, la alimentación no saludable y el sedentarismo o inactividad física. Insistir en estas malas costumbres incrementa exponencialmente el riesgo de padecer diabetes conforme pasan los años (MSP, 2014).

Datos levantados por la Encuesta de Salud y Nutrición, han relacionado además a la obesidad y el sobrepeso como factor de riesgo para sufrir de diabetes, y que estas enfermedades se dan en todo estrato social y económico. Sus estudios reflejan que uno de cada cuatro niños en etapa preescolar sufre de obesidad, así mismo tres de cada diez niños en etapa escolar y dos de cada tres adultos de edades entre los 19 y 59 años. Para la Organización Panamericana de la Salud el sobrepeso, la obesidad y la diabetes, son temas importantes a tratar dentro de lo que refiere a la salud pública (OPS, 2019).

En este contexto se ha planteado una investigación que propone el desarrollo de un prototipo de telemedicina de control y monitorización para personas con la enfermedad de diabetes con énfasis a personas de bajos recursos o de zonas remotas que necesiten mantener un control constante con registros de información en la nube para su posterior visualización a través de una APP o

remotamente a través de un acceso web. El prototipo consiste en un sistema electrónico configurable de hardware de bajo costo como Arduino y sensores de pulso y oxígeno, electrocardiograma y glucómetro que registrarán los datos obtenidos de los sensores y los pasarán a una placa e-Health adaptable a Arduino para su posterior procesamiento digital de señales y finalmente la información será enviada a una Raspberry PI la cual enviará la información obtenida por sensores a una base de datos que alimentará una APP móvil para el registro, control y monitorización de la información censada de cada paciente que use el dispositivo electrónico.

El presente documento se clasifica de la siguiente manera: En el primer capítulo se explica el problema planteado. En el segundo capítulo se enfoca a los fundamentos teóricos. El capítulo 3 se refiere al marco metodológico, tipo de investigación, diseño de investigación, título de la propuesta, justificación y la descripción de la propuesta. En el capítulo 4 se refiere a los resultados obtenidos en la investigación. En capítulo 5 se refiere al análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones. Finalmente se tiene los anexos de la investigación.

1. El Problema

1.1. Descripción del problema

El proceso más importante mediante el cual el organismo produce energía es a través del metabolismo de los carbohidratos contenidos en los alimentos ingeridos, para la obtención de la glucosa, la cual se almacena en forma de moléculas altamente complejas que flotan en el torrente sanguíneo. La insulina es una hormona producida por células especializadas en el páncreas, ésta es liberada en la sangre cuando altos niveles de glucosa son detectados. La insulina está encargada del anabolismo de las moléculas de glucosa, esto es, la descomposición de la glucosa en moléculas que pueden ser aprovechadas más fácilmente por los órganos del cuerpo y las células que lo constituyen. Pero cuando la producción de insulina falla, el cuerpo enfrenta un conjunto de síntomas debidos al exceso de azúcar en la sangre, enfermedad conocida comúnmente como diabetes.

Es de suma importancia tener algunos parámetros controlados del cuerpo humano, ya que estos indican un posible deterioro a corto y largo plazo de nuestra salud. Suministrar los medicamentos en los horarios determinados es otro punto importante y se dificulta cuando no se lleva una agenda de qué se debe tomar, cuánto se debe tomar y cómo se debe tomar.

Es fundamental además el control en la alimentación ya que para los enfermos con diabetes unas cuantas calorías de más son la diferencia entre una vida tranquila en casa junto a su familia y estar postrado en la cama de un hospital.

1.2. Antecedentes

La telemedicina en el Ecuador es un campo nuevo que se está implementando en zonas rurales del país. La telemedicina consiste en conectar al paciente y el médico utilizando tecnología de comunicación como la que permite realizar teleconferencias. Esta herramienta surgió en la última década y su uso ha aumentado gradualmente ayudando a cubrir zonas rurales donde difícilmente podía llegar la atención médica. En los recintos El Coca, Macará, Santa Cruz, Zaruma y La Troncal participan en programas del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) donde se han visto beneficiados más de 2000 personas que requerían atención médica gratuita (El Telégrafo, 2019).

Implementar dispositivos IoT para la aplicación en Telemedicina es un desafío tecnológico en el Ecuador considerando que hoy en día existen diferentes prototipos que buscan soluciones adaptables a la medicina. Se analiza en esta investigación el desarrollo de un prototipo de telemedicina para el control de la diabetes.

Estudios previos por estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana han permitido abrir el abanico de posibilidades para la creación de prototipos IoT aplicados a este campo de la Telemedicina como por ejemplo los temas de investigación de tesis “Diseño y elaboración de un prototipo de monitor de signos vitales aplicando métodos no invasivos con comunicación de datos a dispositivos móviles” y “Diseño de prototipo doctor Pi para la medición y monitorización de signos vitales en adultos mayores utilizando sensores biométricos y médicos acoplados a Raspberry Pi” muestran el desarrollo de dispositivos IoT utilizando Arduino y Raspberry PI para aplicarse en Telemedicina específicamente para atención médica en zonas remotas del Ecuador. (Tintín Durán, 2015)(Andrés Valencia Zambrano, 2018)

1.3. Importancia y alcance

Este trabajo de investigación titulado “Diseño y aplicación de un sistema de control y manejo telemático para personas con la enfermedad de diabetes” es importante porque permitió encontrar técnicas aplicadas de IoT para el monitoreo y control en pacientes con diabetes. El mismo que se realizó bajo

un estudio correlacional ya que se tiene información respecto a la relación entre varias variables que permita predecir el comportamiento a futuro.

Los datos que se obtuvieron con el dispositivo IoT para el control de la diabetes pudieron ser evaluados mediante una plataforma en el internet en la cual se observaron los parámetros medidos en los pacientes con diabetes y permitieron que los especialistas o médicos tratantes observen la información obtenida a través de una APP basada en Android y mediante una página web.

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación académica

Se diseñó y desarrolló un dispositivo basado en arduino, Raspberry Pi y placa electrónica e-Health, que mediante sensores electrónicos permite monitorear los signos vitales del paciente con diabetes, como son el pulso cardiaco, nivel de oxigenación, electrocardiograma, como también tener control de los niveles de azúcar en sangre por medio de un glucómetro, registrar las comidas, ingesta de medicamentos y consejos de los médicos.

El prototipo se sincronizó con una base de datos donde la información obtenida puede ser revisada y medida por personal médico asignado para su respectivo control. El proyecto también consta de una interfaz web donde la persona encargada del paciente pudo ver su desarrollo e historial tanto de consultas como evolución con distintos tratamientos.

1.4.2. Delimitación temporal

El tiempo estimado para la elaboración del proyecto es de 12 meses, se calcula que el proyecto finalice en febrero del 2021.

1.4.3. Delimitación espacial

El desarrollo y pruebas del prototipo IoT de Telemedicina se realizó en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

1.5. Beneficiarios de la propuesta

Los beneficiarios del desarrollo de este prototipo de Telemedicina principalmente son las personas que padecen de la enfermedad de la diabetes ya que el prototipo IoT está diseñado para este fin.

Como segundos beneficiarios serían las entidades gubernamentales de salud que pueden aplicar este dispositivo IoT a pacientes de bajos recursos y de zonas rurales del Ecuador para su aplicación en el control de la enfermedad de la diabetes.

Como tercer beneficiario están los estudiantes de los últimos años de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones e Ingeniería Electrónica énfasis Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil ya que el primero prototipo IoT estará en el Laboratorio de Telecomunicaciones para su aplicación en prácticas y desarrollo de posteriores versiones del prototipo.

Como cuarto beneficiario son las personas, estudiantes, investigadores del campo de la telemedicina y científicos que deseen aplicar mejoras en el desarrollo del prototipo planteado en este trabajo de tesis.

1.6. Propuesta de solución

El presente tema tiene como finalidad diseñar un sistema de control y manejo telemático para personas con la enfermedad de diabetes utilizando hardware de bajo costo como Arduino y Raspberry y dispositivo electrónico e-Health que, en conjunto con sensores de presión, electrocardiograma, pulso, y glucómetro registra valores de pacientes con enfermedad de diabetes, estos valores tomados por los sensores se almacenan en una base de datos y son procesados, analizados, visualizados y registrados a través de una APP para monitorear y controlar la información vía celular o de manera remota a través de un aplicativo web.

1.7. Innovación e impacto del proyecto

En este proyecto de titulación tiene un impacto tecnológico enfocado en la telemedicina para aplicarse en pacientes con diabetes. El proyecto es innovador en el Ecuador en vista que no se tiene registros de aplicaciones de dispositivos IoT aplicados a la telemedicina específicamente en tratamiento o control de pacientes con diabetes.

1.8. Objetivos de la investigación

1.8.1. Objetivo general

Diseñar y desarrollar un prototipo de agenda virtual con aplicación de telemedicina para pacientes con diabetes. Diseñar un sistema de control y manejo telemático para personas con la enfermedad de diabetes con hardware embebido como e-Health, Arduino y Raspberry Pi 3 que interactúan mediante aplicaciones móviles y web servers.

1.8.2. Objetivos específicos

- Diseñar y configurar un prototipo IoT de Telemedicina que consiste en la adquisición de datos mediante sensores de electrocardiograma, sensor de pulso y oxígeno, y dispositivo externo glucómetro embebidos con placa e-Health, Arduino y Raspberry PI.
- Desarrollar, configurar y aplicar un sistema de adquisición de datos de los sensores mediante la implementación de una placa Arduino en el prototipo.
- Almacenar en servidor web todas las señales obtenidas con los sensores de electrocardiograma, sensor de pulso y oxígeno, y dispositivo externo glucómetro, mediante software instalado y diseñado para su tratamiento y aplicación.
- Desarrollar una aplicación móvil APP para teléfonos Android para la visualización de datos obtenidos por medio de los sensores y el prototipo IoT de Telemedicina.

- Desarrollar una página web para el monitoreo y control de los valores obtenidos para los pacientes de diabetes con la finalidad de que los especialistas puedan observar la información recolectada.
- Realizar pruebas de funcionamiento y facilidad de uso en pacientes.
- Validar la aplicación del sistema y facilidad de uso mediante encuestas.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Diabetes en el Ecuador

La principal fuente de energía del ser humano es la glucosa y la insulina es la hormona responsable de mantener su nivel normal en la sangre. Esta hormona es secretada por las células beta, ubicadas en los islotes de Langerhans del páncreas, lo que permite el almacenamiento de glucosa en tejido adiposo, músculo e hígado en forma de glucógeno (Alberto, Reyes, & Plancarte, n.d.).

Una persona con diabetes es aquella que tiene hiperglucemia o niveles de glucosa en la sangre por encima de los parámetros considerados normales, es decir, de 70 mg / dl a 120 mg / dl, antes de consumir alimentos, y un máximo de 180 mg / dl después de consumir alimentos (Getafe & de, n.d.).

Esta enfermedad puede generar trastornos cerebrovasculares y cardiovasculares, disfunción en los ojos, nervios, riñones, vasos sanguíneos y corazón, coma e incluso riesgo de vida, si no se trata con anticipación (Semergen & 2001, n.d.).

Existen tres tipos de diabetes, la gestacional, la infantil o tipo 1 y la relacionada con factores externos como la herencia y malos hábitos de alimentación, a la que se conoce como tipo 2. El costo del tratamiento para una persona con diabetes al año bordea los \$25000, cifra similar a la que consta para la capacitación a grupos de atención prioritaria en el presupuesto general del Estado, hecho preocupable dado que se trata de una enfermedad sin cura y a la que sólo se puede enfrentar con medicina preventiva (Heredia, 2018).

La diabetes ocupa el segundo puesto entre las causas de muerte que afectan a más personas en Ecuador, con mayor incidencia en el sexo femenino. En el 2013 la tasa de pacientes con esta enfermedad creció quince veces con relación al 2006, y se estima que Guayas, Manabí y Pichincha estarían entre las provincias con mayor número de casos detectados. Las estadísticas reflejan un crecimiento en el índice de masa corporal de los individuos estudiados entre estas fechas lo cual los llevó a desarrollar la enfermedad. Tristemente las instituciones de salud pública no orientan su trabajo a la prevención, y esto junto a la despreocupación de la sociedad y falta de

autocontrol, facilita que los índices negativos sigan subiendo (Plan V, 2019). En la Figura 2.2 se observa la evolución de la diabetes mellitus en el Ecuador en los últimos 13 años, donde se observa claramente cifras alarmantes para la salud de los ecuatorianos.



Figura 2.1 Revisión de nivel de glucosa
Fuente: (www.mdsaude.com, 2019)

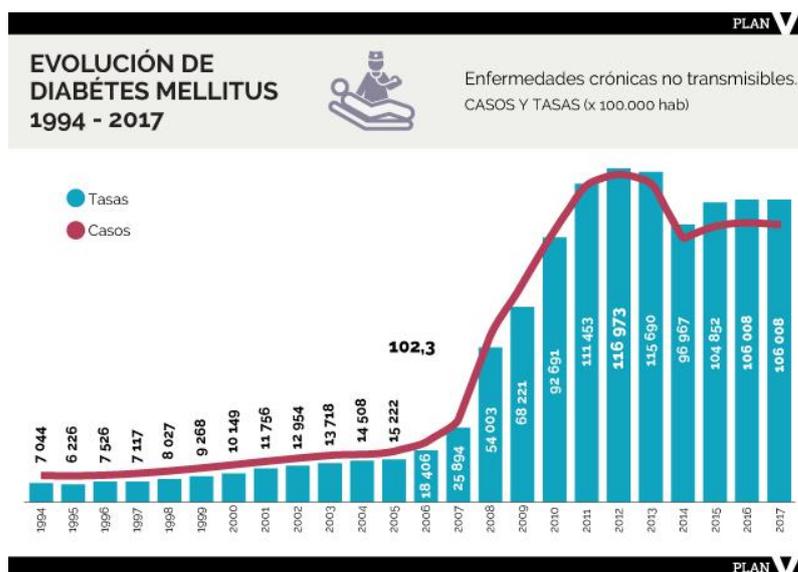


Figura 2.2 Evolución de la Diabetes en el Ecuador
Fuente: (Plan V, 2019)

2.2. Telemedicina

El concepto de telemedicina nace ligado fuertemente al desarrollo de la tecnología, en la segunda mitad del siglo XX, y como respuesta a la necesidad de llevar servicios de salud a lugares remotos, zonas rurales o países en vía de desarrollo, optimizando el servicio, abaratando costos, acercando distancias y sobretodo economizando tiempo. Existen varias definiciones para

telemedicina, todos mencionan los pilares fundamentales que soportan las ciencias de la salud: el diagnóstico, el tratamiento, la profilaxis o prevención, la investigación y la evaluación de la mano con las tecnologías de comunicaciones para brindar salud y bienestar a las comunidades y sus habitantes (Prados, 2013).

- Utilizar un sistema de comunicación audiovisual para brindar servicios de salud sin la necesidad usual de que el paciente esté en presencia del médico (Bird KT, 1975).
- Implica la administración y educación de pacientes, además de la investigación y monitoreo de su estado a distancia (Nymo Birger, 1994).
- El intercambio de información médica entre dos lugares, por medios electrónicos, con la finalidad de mejorar la salud del paciente o su cuidado al proveer conocimiento técnico a la persona que le provee cuidados o en otras palabras lo tiene a cargo (ATA, 2015).

La definición de telemedicina se encuentra sujeta a evolución constante, y conforme pasa el tiempo encierra más categorías y nuevas ramas científicas y técnicas se ven englobadas en ella. Es una definición que con mucha certeza en el futuro deberá ser actualizada (Dávila & Viera, 2007).



Figura 2.3 Telemedicina
Fuente: (elmedicointeractivo.com, 2018)

2.3. Arduino

Arduino es una plataforma dedicada al desarrollo de tarjetas electrónicas de hardware libre, basadas en microcontroladores programables con una serie de librerías precargadas que facilitan la tarea del desarrollador. La placa electrónica consiste en una serie de pines tipo hembra que simplifican las conexiones y comunicación entre los sensores y los actuadores, y el microcontrolador, a través de las diferentes entradas y salidas, sean estas analógicas o digitales.

Las placas de circuito electrónico impreso o PCB por sus siglas en inglés son tarjetas de superficie plana, fabricadas de materiales no conductores, con una o varias capas de material conductor en forma de pistas que unen componentes electrónicos activos y pasivos, formando circuitos para el cumplimiento de una tarea o trabajo específico. Para que cada placa o PCB cumpla su función es requerido el diseño específico del circuito, más la colocación de los componentes en los sitios específicos correspondientes al diseño de la placa (Arduino, 2019a).

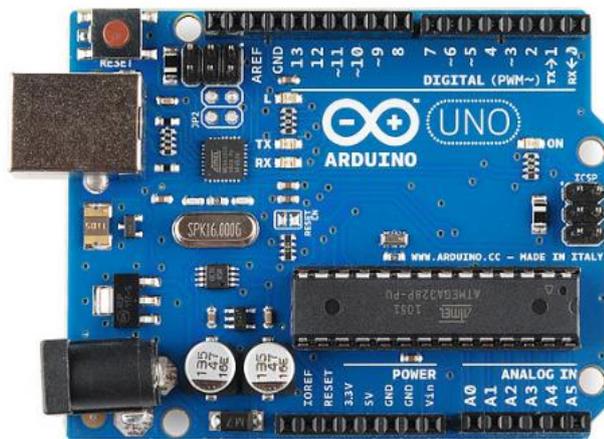


Figura 2.4 Arduino UNO
Fuente: (Arduino, n.d.)



Figura 2.5 Tipos de Arduino
Fuente: (Arduino, 2019a)

2.3.1. Especificaciones técnicas de Arduino UNO

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del Arduino UNO.

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de E / S digitales PWM	6 6
Pines de entrada analógica	6 6
Corriente CC por pin de E / S	20 mA
Corriente DC para Pin de 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0.5 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13

Fuente: (Arduino, 2019a)

2.4. E-Health sensor shield v2.0

El e-Health Sensor Shield V2.0 permite a los usuarios de Arduino y Raspberry Pi realizar aplicaciones biométricas y médicas donde se necesita monitoreo corporal mediante el uso de 10 sensores diferentes: pulso, oxígeno en la sangre (SPO2), flujo de aire (respiración), temperatura corporal, electrocardiograma (ECG), glucómetro, respuesta galvánica de la piel (GSR - sudoración), presión arterial (esfigmomanómetro), posición del paciente (acelerómetro) y sensor de músculo / electromiografía (EMG).

Esta información se puede utilizar para monitorear en tiempo real el estado de un paciente o para obtener datos confidenciales para luego ser analizados para un diagnóstico médico. La información biométrica recopilada se puede enviar de forma inalámbrica utilizando cualquiera de las 6 opciones de conectividad disponibles: Wi-Fi, 3G, GPRS, Bluetooth, 802.15.4 y ZigBee, según la aplicación.

Si se necesita un diagnóstico de imagen en tiempo real, se puede conectar una cámara al módulo 3G para enviar fotos y videos del paciente a un centro de diagnóstico médico.

Los datos se pueden enviar a la nube para realizar un almacenamiento permanente o visualizarse en tiempo real enviando los datos directamente a una computadora portátil o teléfono inteligente. Las aplicaciones para iPhone y Android se han diseñado para ver fácilmente la información del paciente (e-Health v2, 2019).

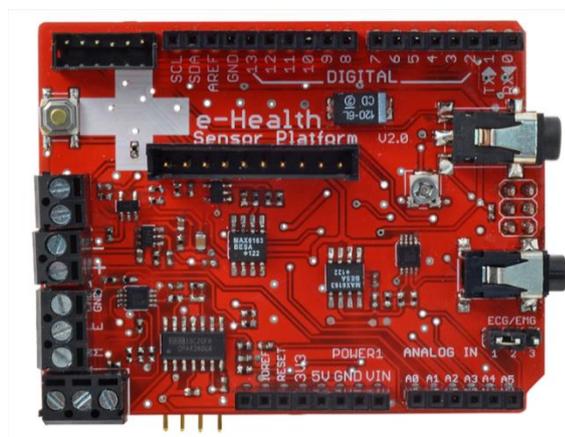


Figura 2.6 e-Health Sensor Shield V2.0
Fuente: (e-Health v2, 2019)



Figura 2.7 Sensores de e-Health Sensor Shield V2.0
Fuente: (e-Health v2, 2019)

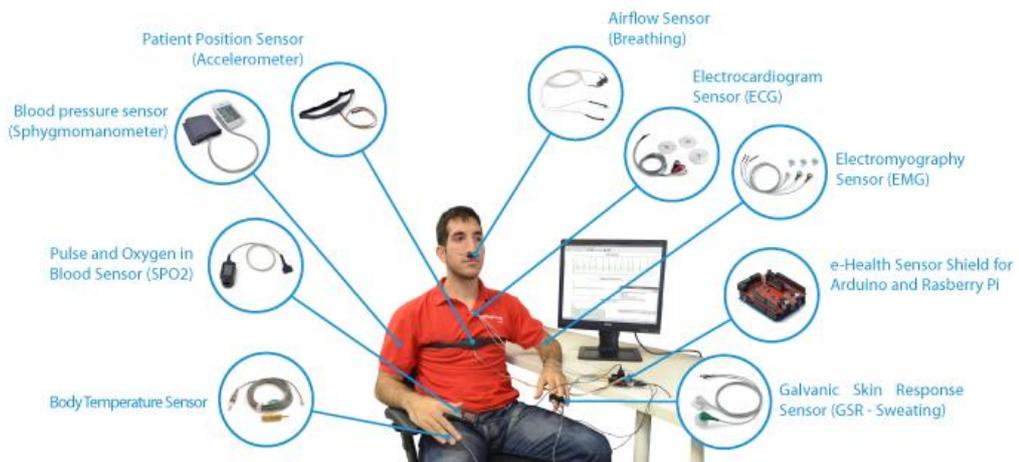


Figura 2.8 Aplicaciones para Telemedicina con e-Health Sensor Shield V2.0
Fuente: (e-Health v2, 2019)

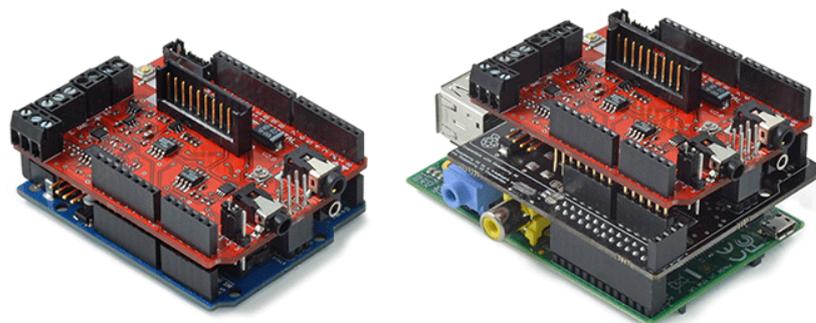


Figura 2.9 e-Health Sensor Shield V2.0 con placas Arduino y Raspberry
Fuente: (e-Health v2, 2019)

2.4.1. Características generales de e-Health v2.0

Tabla 2.2 Características e-Health v2.0

	e-Health V2.0
Arquitectura	Compatible con Arduino
Memoria RAM	2K
Microprocesador	Atmega 328 (Arduino UNO)
Memoria flash	32K
Enchufes UART	1
Recinto	
Kit completo	
SDK	
Pantalla	GLCD - opcional (gráficos básicos)
Pantalla táctil	
Almacenamiento en la nube	
Aplicación Android / iOS	
API Cloud	
API Android / iOS	
Sensores	10
Sensores cableados	10
Sensores inalámbricos	10
Lecturas concurrentes del sensor	Desde cualquier sensor (10) a una interfaz
Radios a bordo	-
Radios extra	BT, ZigBee, 4G / 3G / GPRS
Certificaciones	-

Fuente: (e-Health v2, 2019)

2.4.2. Sensores aceptados por e-Health v2.0

Tabla 2.3 Sensores e-Health v2.0

Posición del cuerpo
Temperatura corporal
Electromiografía
Electrocardiografía
Flujo de aire
Respuesta galvánica de la piel
Presión sanguínea
Pulsioxímetro
Glucómetro
Espirómetro
Ronquido
Escala (BLE)
Presión sanguínea (BLE)
Pulsioxímetro (BLE)
Glucómetro (BLE)
Electroencefalografía

Fuente: (e-Health v2, 2019)

2.5. Medición de parámetros fisiológicos del cuerpo humano

De acuerdo con Orha & Oniga (2014) el cuerpo humano puede analizarse como un generador de señales eléctricas o electromagnéticas o como un generador eléctrico al usar transductores. La adquisición de señales en la superficie o en el interior del cuerpo es llamada electrografía que resulta en una forma de onda llamada electrograma. La unidad básica del cuerpo es la célula, alguna de estas, como las neuronas, fibras nerviosas y musculares responden a estímulos exteriores. Dentro de los sensores que miden la respuesta a los estímulos se encuentran aquellos que permiten medir los siguientes parámetros fisiológicos:

2.5.1. Medición de pulso y oxígeno en la sangre (spo2)

Las lecturas de oxígeno en sangre deben estar 95% y 99% si se trata de un adulto sano, si la lectura está entre el 88% y el 94% las personas pueden tener problemas hipóxicos, mientras que lecturas mayores que 99% pueden ser indicativo de envenenamiento debido a monóxido de carbono. La medición del oxígeno en la sangre se hace típicamente en conjunto con la medición del pulso cardíaco, el cual según el apartado debe oscilar entre 60 y 100 latidos por minuto si se trata de un adulto en reposo. Cuando se tiene pulsaciones por debajo de 60 puede ser indicativo de una bradicardia, mientras que por encima de 100 puede estar oculta una taquicardia (Priego García, 2020).

2.5.2. Medición de la actividad cardíaca

El electrocardiograma es una herramienta que se emplea para medir las funciones eléctricas y musculares del corazón. El electrocardiograma permite valorar el corazón de una forma no invasiva. Se permite evaluar el sistema de conducción del corazón o musculo, así como indirectamente la aparición de ritmos patológicos debido a daños a los tejidos o diversos trastornos. El electrocardiograma permite la representación de 5 ondas (con muy escasa frecuencia es posible una sexta), 3 espacios y 1 segmento, las ondas son llamadas ondas: P, Q, R, S y T. También presenta espacios P-Q (también llamado P-R), Q-T y T-P; así como segmento S-T (Infomed, 2020). La interpretación de esta representación gráfica escapa del alcance de esta investigación; sin embargo, en la Figura 2.10 se muestra el comportamiento esperado del electrocardiograma.

2.5.3. Medición de la presión arterial y pulso cardíaco

La presión arterial indica la presión en las arterias a medida que la sangre es bombeada alrededor del cuerpo por el corazón. Cada vez que el corazón late, se crea una presión en las paredes de las arterias. La presión arterial está compuesta de dos números, la presión sistólica, que tienen lugar cuando late

el corazón y la presión diastólica que tiene lugar cuando el corazón se relaja entre latidos. La cifra superior es la relacionada a la presión sistólicas, mientras que la inferior está relacionada a la presión diastólica. La presión arterial debe ser idealmente igual o menor a 120/80 (Sociedad Americana de Hipertensión, 2020). En la tabla 2.4 se muestra las medidas de la presión arterial, mientras que en la tabla 2.5 se muestran los valores típicos del pulso cardiaco.

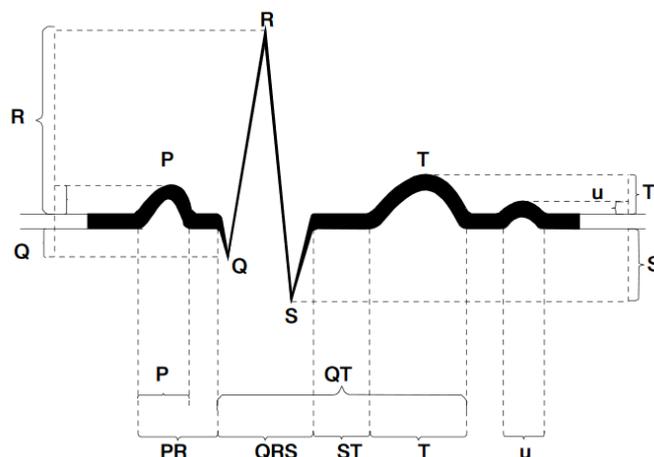


Figura 2.10 Ondas de un electrocardiograma.

Fuente: (Infomed, 2020)

Tabla 2.4 Presión arterial.

	Sistólica (mm Hg)	Diastólica (mm Hg)
Hipotensión	< 90	< 60
Presión deseada	90–119	60–79
Prehipertensión	120–139	80–89
Etapa 1 Hipertensión	140–159	90–99
Etapa 2 Hipertensión	160–179	100–109
Crisis hipertensiva	≥ 180	≥ 110

Fuente: (Cooking-hacks.com, 2019)

Tabla 2.5 Valores de pulso cardiaco.

Pulso cardiaco	Tasa
Bradicardia	<60 latidos por minuto
Normal	60-80 latidos por minuto
Taquicardia	>100 latidos por minuto

Fuente: (Consejo para la Educación Farmaceutica Continua, 2020)

2.5.4. Medición de glucosa (glicemia)

De acuerdo con Cookings Hacks (2017) la medición rápida, precisa y automática de la glucosa es de gran importancia para aquellos pacientes que padezcan de diabetes y en casos de pacientes en coma sin causas específicas. Esta medición permite determinar cuándo se debe administrar insulina a un paciente y analizar el comportamiento de esta a lo largo del día. La medición de la glucosa se hace típicamente en mg/dL o mmol/L, en la tabla 2.6 se muestran los valores de glucosa con su respectivo significado.

Tabla 2.6 Valores típicos de glucosa.

Valores normales en adultos que no presentan prediabetes o diabetes	
Nivel de azúcar en ayunas	Menor o igual a 100 mg/dL o 5,55 mmol/L
2 horas después de comer	Menor que 140 mg/dL o 7,77 mmol/L si la persona tiene 50 años o menos; menor que 150 mg/dL o 8,32 mmol/L si tiene entre 50 y 60 años y menor que 160 mg/dL o 8,88 mmol/L si la persona tiene 60 años o más
Al azar	Los niveles dependerán de la última comida. Generalmente varía de 80 mg/dL a 120 mg/dL (4.44 mmol/L a 6.66 mmol/L) antes de la comida o al despertarse y entre 100 mg/dL y 140 mg/dL (5,55 mmol/L a 7,77 mmol/L) al momento de acostarse
Valores normales en adultos que no presentan prediabetes o diabetes	
Nivel de azúcar en ayunas	Entre 70 y 130
2 horas después de comer	Menor que 180

Fuente: (CardioSmart, 2020)

El principio de operación de los sensores se basa en el efecto colorimétrico que ocurre con la reflexión de la luz en una superficie. Los transductores miden el cambio en el color de una banda reactiva (en la cual se aplica una gota de sangre) dependiendo de la cantidad de glucosa. La relación color-concentración permite calcular directamente la concentración de glucosa en la sangre. El sensor que permite efectuar esta medición es llamado glucómetro.

2.6. Raspberry pi 3

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida, ordenador de placa única u ordenador de placa simple (SBC) de bajo coste desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, con el objetivo de estimular la enseñanza de informática en las escuelas.³⁴⁵ El modelo original se convirtió en más popular de lo que se esperaba⁶, hasta incluso vendiéndose afuera del mercado objetivo para usos como robótica. No incluye periféricos (como teclado y ratón) o carcasa.

Aunque no se indica expresamente si es hardware libre o con derechos de marca, en su web oficial explican que disponen de contratos de distribución y venta con dos empresas, pero al mismo tiempo cualquiera puede convertirse en revendedor o redistribuidor de las tarjetas Raspberry Pi, por lo que da a entender que es un producto con propiedad registrada, manteniendo el control de la plataforma, pero permitiendo su uso libre tanto a nivel educativo como particular (RaspberryPi, 2019).



Figura 2.11 Raspberry Pi
Fuente: (RaspberryPi, 2019)

2.7. Especificaciones técnicas raspberry pi 3

Raspberry Pi 3B + ha sido lanzado . Tiene una CPU más rápida de 1.4GHz, Gigabit Ethernet (a través de USB), LAN inalámbrica de doble banda y muchos ajustes de hardware interesantes, uno de ellos la posibilidad de transformar la tarjeta en un Access Point, de manera que cualquier dispositivo wifi pueda conectarse a su red y

ejecutar aplicaciones web previamente programadas en su código. Puede leer la historia de especificaciones y puntos de referencia de Raspberry Pi 3B + aquí.

- SoC: Broadcom BCM2837
- CPU: 4 × ARM Cortex-A53,
- GPU de 1.2GHz : Broadcom VideoCore IV
- RAM: 1GB LPDDR2 (900 MHz)
- Redes: 10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n inalámbrico
- Bluetooth: Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth
- Almacenamiento de baja energía : microSD
- GPIO: encabezado de 40 pines,
- Puertos poblados: HDMI, conector de audio y video analógico de 3.5 mm, 4 × USB 2.0, Ethernet, Interfaz serie de cámara (CSI), Interfaz serie de pantalla (DSI)

2.7.1. Radio inalámbrico

Tan pequeño que sus marcas solo se pueden ver correctamente a través de un microscopio o una lupa, el chip Broadcom BCM43438 proporciona LAN inalámbrica 2.4GHz 802.11n, Bluetooth de baja energía y Bluetooth 4.1 Soporte de radio clásico. Construido inteligentemente directamente en el tablero para mantener los costos bajos, en lugar del enfoque de módulo totalmente calificado más común, su única característica no utilizada es un receptor de radio FM desconectado.

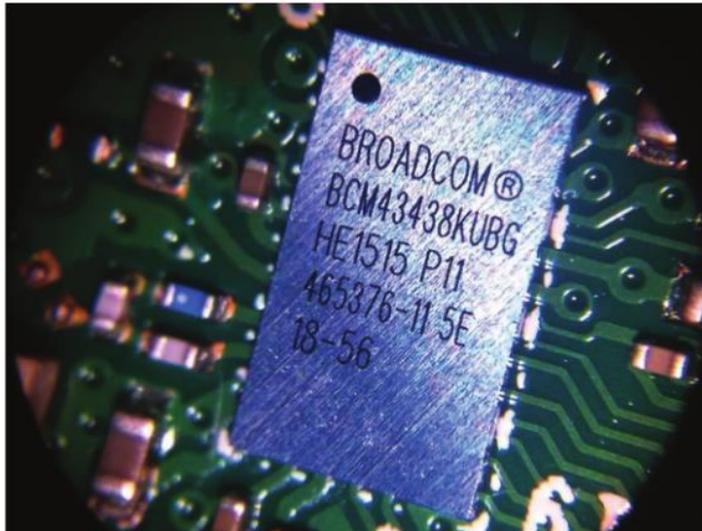


Figura 2.12 Radio inalámbrico de la Raspberry Pi3
Fuente: (Magpi.raspberrypi.org, 2019)

2.7.2. Antena

No es necesario conectar una antena externa a la Raspberry Pi 3. Sus radios están conectadas a esta antena con chip soldada directamente a la placa, para mantener el tamaño del dispositivo al mínimo. A pesar de su estatura diminuta, esta antena debería ser más que capaz de captar señales de LAN inalámbrica y Bluetooth, incluso a través de paredes.

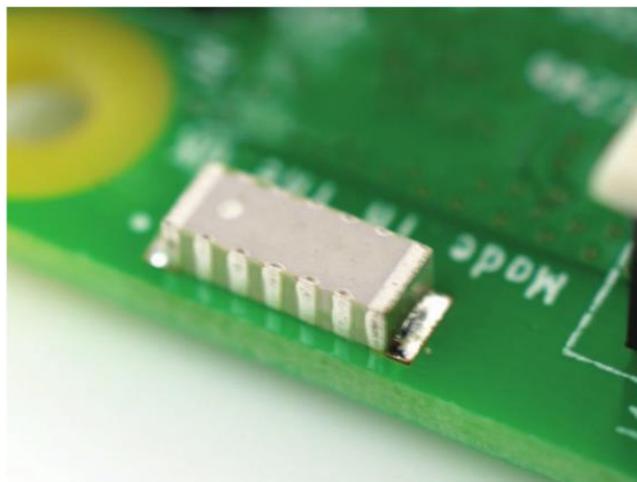


Figura 2.13 Antena Raspberry Pi3
Fuente: (Magpi.raspberrypi.org, 2019)

2.7.3. Soc

Construido específicamente para el nuevo Pi 3, el sistema en chip Broadcom BCM2837 (SoC) incluye cuatro núcleos de procesamiento ARM Cortex-A53

de alto rendimiento que se ejecutan a 1.2GHz con memoria caché de 32kB Nivel 1 y 512kB Nivel 2, un procesador de gráficos VideoCore IV y está vinculado a un módulo de memoria LPDDR2 de 1 GB en la parte posterior de la placa.



Figura 2.14 SOC Raspberry PI
Fuente: (Magpi.raspberrypi.org, 2019)

2.7.4. Gpio

El Raspberry Pi 3 presenta el mismo encabezado de entrada y salida de propósito general (GPIO) de 40 pines que todos los Pis que regresan al Modelo B + y al Modelo A +. Cualquier hardware GPIO existente funcionará sin modificaciones. El único cambio es un interruptor al que UART está expuesto en los pines del GPIO, pero el sistema operativo lo maneja internamente.

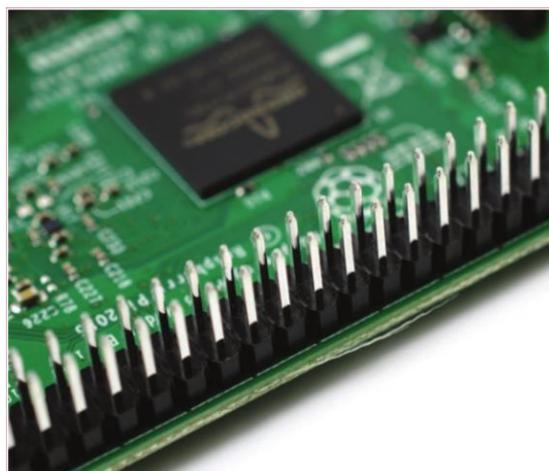


Figura 2.15 GPIO Raspberry PI 3
Fuente: (Magpi.raspberrypi.org, 2019)

2.7.5. Chip usb

El Raspberry Pi 3 comparte el mismo chip SMSC LAN9514 que su predecesor, el Raspberry Pi 2, agregando conectividad Ethernet 10/100 y cuatro canales USB a la placa. Como antes, el chip SMSC se conecta al SoC a través de un solo canal USB, actuando como un adaptador USB a Ethernet y un concentrador USB.

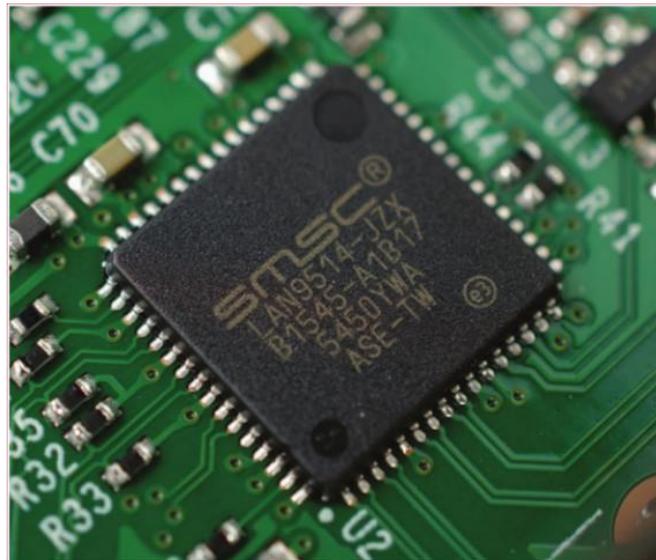


Figura 2.16 Chipset Raspberry PI 3
Fuente: (Magpi.raspberrypi.org, 2019)

2.8. Android.

Es un sistema operativo que se emplea en dispositivos móviles, por lo general con pantalla táctil. De este modo, es posible encontrar tabletas (tablets), teléfonos móviles (celulares) y relojes equipados con Android, aunque el software también se usa en automóviles, televisores y otras máquinas (Android, 2019).



Figura 2.17 Sistema Operativo Android
Fuente: (Android, 2019)

2.9. Sensor de oximetría y pulso cardíaco

Al hablar de un pulsioxímetro u oxímetro de pulso, nos referimos al instrumento médico que mide la saturación de oxígeno en la sangre y el pulso cardíaco. Sus componentes electrónicos son sensores avanzados que permiten tomar los valores de la sangre sin extraerla del torrente sanguíneo, a este tipo de medida se le llama indirecta, y los valores medidos pueden ser enviados a un monitor o pantalla para apreciación y monitoreo del personal de salud (Ventura, 2016).



Figura 2.18 Sensor de Oximetría y Pulso Cardíaco
Fuente: (Polaridad.es, 2019)

2.10. Dispositivo bluetooth hc-05

El dispositivo bluetooth es un sistema de comunicación serial bidireccional para sistemas microprocesados con un alcance de quince metros aproximadamente y capaz de funcionar ininterrumpidamente.



Figura 2.19 Dispositivo Bluetooth para Arduino
Fuente: (Arduino, 2019b)

2.11. Python

Python es un lenguaje de programación de tipo intérprete, que significa que no necesita un programa compilador, sino que sentencia a sentencia va ejecutándose mediante su traducción a lenguaje máquina. Se caracteriza por su versatilidad, ya que puede utilizarse para programación orientada a objetos tanto como para programación imperativa o funcional. Su dinamicidad facilita la ejecución en varias plataformas, y al ser de código abierto es la elección favorita de muchos desarrolladores para programar (Python, 2019).



Figura 2.20 Logo de Python

Fuente: (Python, 2019)

2.12. DBMS MySql

Es un sistema de gestión de bases de datos, y lenguaje de consulta estructurado, posiblemente el más conocido y utilizado a nivel mundial por ser de fuente abierta, su código puede descargarse de internet y modificarse libremente. Permite la gestión de base de datos multihilo y multiusuario, de forma fácil, veloz, segura y gratuita. Escrito originalmente en C y C++ lo que hace sea altamente compatible con los lenguajes de programación más utilizados en la actualidad (Pérez, 2007).

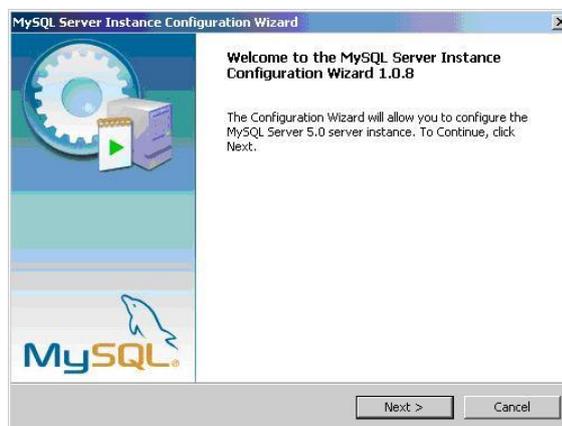


Figura 2.21 MySQL Server
Fuente: (MySQL, 2019)

2.13. NodeJS

Podemos referirnos a NodeJS como un entorno en tiempo de ejecución multiplataforma, permite la creación de interfaces de red, servidores web y aplicaciones network altamente escalables, desde su creación en el 2009 se constituye como un entorno de código abierto basado en ECMAScript, con entradas y salidas programables y una arquitectura orientada a eventos potenciada por el motor de alto rendimiento V8 de Google, además de que brinda la posibilidad de ingresar en comunidades para compartir avances y solucionar dudas (NodeJS, 2019).

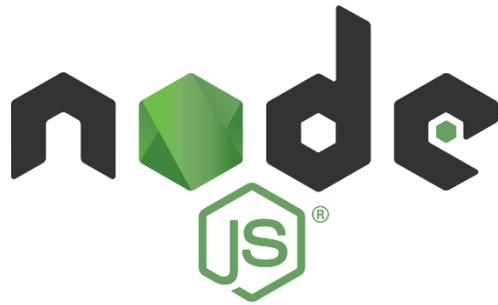


Figura 2.22 Node JS
Fuente: (NodeJS, 2019)

2.14. VueJS

Es un framework simplificado, altamente compatible, que permite la creación de interfaces de usuario tanto de varias páginas como para aplicaciones de una sola página (SPA), su uso permite una evolución progresiva, así que conforme programas es posible crear nuevos usuarios, con jerarquía para permisos e integración con bibliotecas o proyectos ya creados (VueJS, 2019).



Figura 2.23 VueJS
Fuente: (VueJS, 2019)

3. Marco metodológico

3.1. Tipo de investigación

El presente proyecto, se realiza basándose en una investigación de tipo correlacional ya que se evaluarán variables como la toma de datos mediante sensores como glucosa, presión, electrocardiograma y variables como cantidad de pacientes atendidos, cantidad de pacientes satisfechos con las pruebas del prototipo IoT de telemedicina.

La investigación también es de tipo experimental porque “se influye activamente en algo para observar sus consecuencias” (Ouali, Poon, Lee, & Romaiti, 2016), es decir, se realizan pruebas experimentales con pacientes con diabetes y los datos se analizarán en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

3.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación aplicado es de un estudio tipo experimental, porque de acuerdo con (Arias, 2012), “este permite la manipulación de un objeto o a un grupo de personas para someterlos a diferentes condiciones y estímulos para realizar la observación de los resultados” en este caso mediante los sensores del dispositivo IoT de Telemedicina.

3.3. Enfoque de la investigación

En esta investigación se aplica un enfoque mixto, es decir, cuali-cuantitativo porque se consideran a las variables en dos partes fundamentales: toma de datos mediante los sensores, se puede cuantificar la cantidad de datos obtenidos para promediar la información y mostrarla de manera gráfica y estadística. Cualitativa hace referencia a las encuestas que se realizará a los pacientes con diabetes con respecto al nivel de satisfacción que se tenga al momento de hacer las pruebas con los pacientes.

3.4. Metodología de investigación

En cuanto al método de investigación, se trabaja con un método inductivo, el cual, de acuerdo con (Rodríguez Moguel, 2005), busca la inducción del pensamiento a través de la generación de ideas particulares que en conjunto forman una generalidad del pensamiento, otorgando la posibilidad de obtener conclusiones relacionadas al estudio.

4. Resultados

El prototipo IoT de Telemedicina presentado en esta investigación se compone de tres partes principales, la primera es la toma de datos de información mediante los sensores, estos tomarán valores censados en el cuerpo como oxigenación, pulso cardiaco y nivel de azúcar, la segunda parte del prototipo está compuesta por la aplicación del sistema Android que será instalada en el celular del paciente el cual actualizará el registro diario como también podrá escribir una agenda, e incluso por medio de iconos determinará su estado anímico, y la tercera parte es la interfaz web donde puede ser revisada por los doctores o personas encargadas del cuidado personal del usuario. Estos podrán hacer revisiones periódicas, como también recetar medicamentos, dar consejos o ver el cumplimiento de rutinas de comida como actividad física para tener un buen estilo de vida.



Figura 4.1 Diagrama general del prototipo de telemedicina

Se describe a continuación cada una de las partes principales del prototipo IoT de Telemedicina.

4.2. Prototipo e-Health IoT

Para esta investigación se utiliza un prototipo IoT diseñado para el análisis de muestras tomadas por sensores médicos como EKG, sensor de pulso y glucómetro. El cual conectado mediante un Arduino y Raspberry Pi analizarán y evaluarán la información obtenida para mostrarla en un servidor Web.

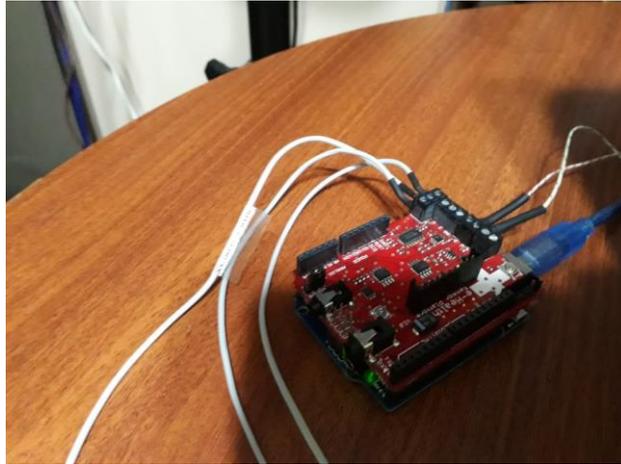


Figura 4.2 Dispositivo IoT e-Health

4.3. Sensores e-Health IoT

Los sensores conectados al dispositivo e-Health son importantes dentro del proyecto ya que se encargan de realizar las tomas de muestras para posteriormente enviarlas a la placa e-Health la misma que se encargará de digital las señales obtenidas y procesarlas para reenviarlas a la placa Arduino y posteriormente a la placa Raspberry Pi, donde se encuentra la base de datos y los softwares encargados de procesar la señal para poder observarlas mediante una APP y una página web a través de la red, ya sea local o global.



Figura 4.3 Sensores EKG



Figura 4.4 Sensor de pulso

La placa v2.0 para sensores e-Health permite obtener datos de los siguientes sensores:

- Sensor de pulso y oxígeno en la sangre (SpO2)
- Sensor de flujo de aire en la respiración
- Sensor de temperatura corporal
- Sensor de electrocardiograma
- Glucómetro
- Sensor de respuesta galvánica en la piel (GSR – Sudoración)
- Sensor de presión arterial
- Sensor de posición del paciente (Acelerómetro)
- Sensor de electromiografía

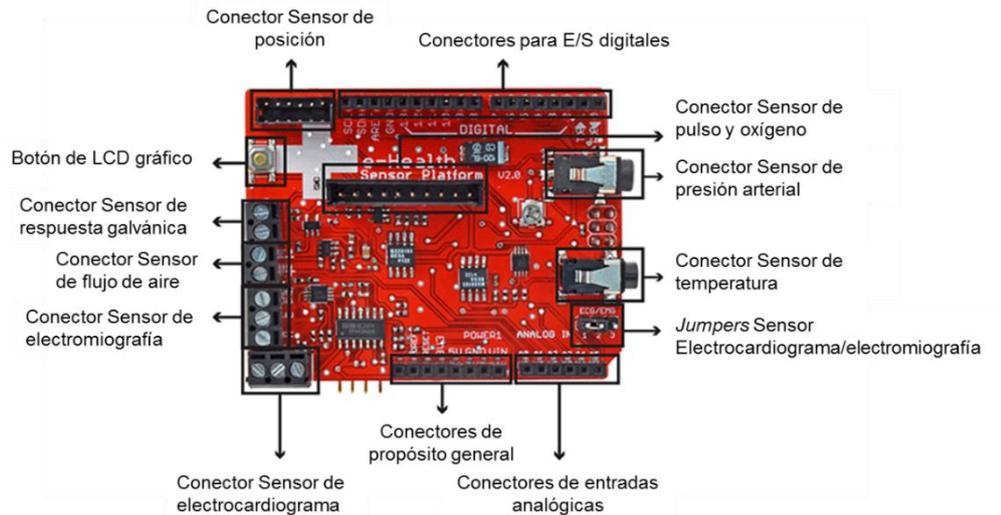


Figura 4.5 Conectores de la parte superior de la placa v2.0 para sensores e-Health.
Fuente: (Cooking-hacks.com, 2019)

Esta placa ha sido desarrollada principalmente para efectos de investigación y experimentación, es decir, no es un producto comercial certificado para monitorear pacientes en estado crítico. En las Figuras 4.5 y 4.6 se muestran los conectores de las placas, indicando los sensores asociados a cada uno.

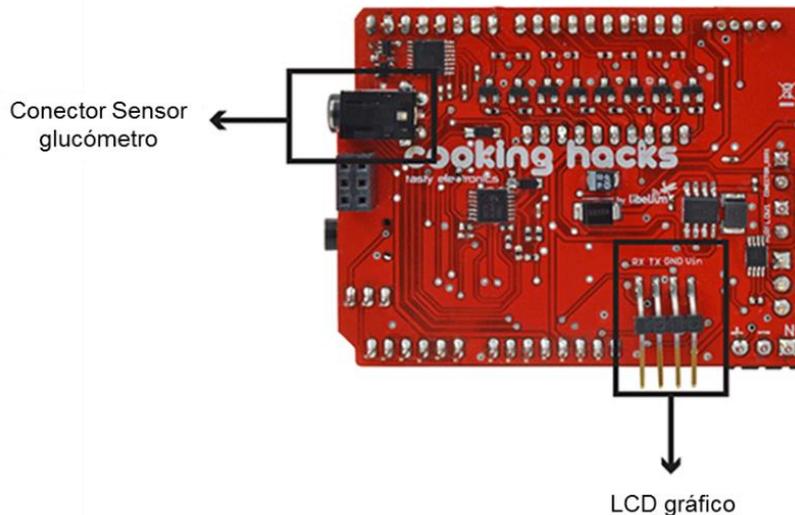


Figura 4.6 Conectores de la parte superior de la placa v2.0 para sensores e-Health.
Fuente: (Cooking-hacks.com, 2019)

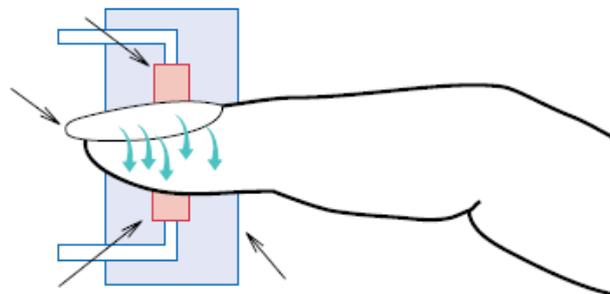
4.4. Sensor de pulso y oxígeno en la sangre (spo2)

De acuerdo con (Cookings Hacks, 2020) este sensor usa un método no invasivo para indicar la saturación del oxígeno arterial de la hemoglobina funcional. La saturación de oxígeno se define como la medición de la cantidad

de oxígeno disuelto en la sangre a partir de la detección de hemoglobina y hemoglobina reducida o desoxihemoglobina. Se emplean dos diferentes longitudes de onda para medir la diferencia entre la absorción de HbO₂ y Hb. El flujo sanguíneo es afectado por la concentración de la hemoglobina y desoxihemoglobina, sus coeficientes de absorción se miden empleando una longitud de onda de 660 nm y otra de 940 nm. En la Figura 4.7 se muestra una imagen del sensor también conocido como pulsioxímetro y en la Figura 4.8 se muestra el principio de funcionamiento de este.



Figura 4.7 Pulsioxímetro empleado en el proyecto.
Fuente: (Cooking-hacks.com, 2019)



a. Un pulsioxímetro mide la saturación de oxígeno de forma no invasiva transmitiendo luz a través de un dedo o lóbulo de la oreja.

Figura 4.8 Funcionamiento del pulsioxímetro.
Fuente: (International Primary Care Respiratory Group, 2010)

4.5. Conectado y uso del sensor pulsímetro.

La conexión se debe realizar considerando el esquema presentado en la Figura 4.9. El sensor solo tiene una manera posible de conectarse para evitar errores en la conexión. En la Figura 4.10 se muestra el sensor ya conectado a la placa.

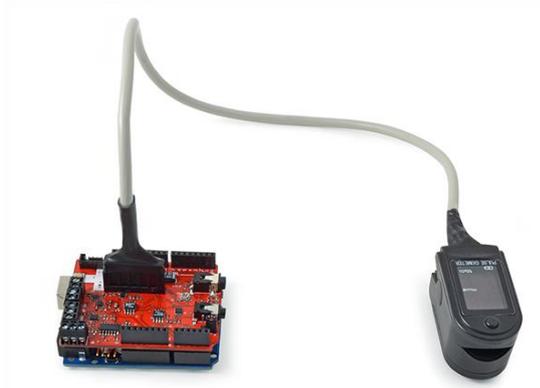


Figura 4.9 Conexión del sensor de pulso y oxígeno en la pcav2.0 (paso 1).
Fuente: (e-Health v2, 2019)

Posteriormente se debe introducir el dedo en el sensor y presionar el botón de encendido.



Figura 4.10 Conexión del sensor de pulso y oxígeno en la pcav2.0 (paso 2).

Luego de un par de segundos, las mediciones aparecen en la pantalla del sensor.



Figura 4.11 Conexión del sensor de pulso y oxígeno en la placa v2.0 (paso 3).

4.6. Sensor de electrocardiograma

El electrocardiograma también conocido por sus siglas ECG, permite diagnosticar una gran variedad de patologías cardíacas que van desde la isquemia miocárdica y el infarto hasta el síncope y palpitaciones ha sido invaluable para los médicos durante décadas. El sensor empleado cuenta con tres electrodos según se muestra en la Figura 4.12.



Figura 4.12 Sensor de electrocardiograma empleado en el proyecto.

4.6.1. Conectando y usando el sensor

El terminal rojo es el positivo, el negro es el negativo, mientras que el blanco es neutro. Se deben conectar a la placa acorde al diagrama de esta. Algunos electrodos suelen venir con otros colores, pero con los rótulos podemos identificar dónde ubicar cada uno. Posteriormente los electrodos se deben

ubicar como se muestra en la Figura 4.13, de tener otros colores, revisar el que diga derecha (R) corresponde a positivo, el que diga izquierda (L) corresponde al neutro y el último (F) al negativo.

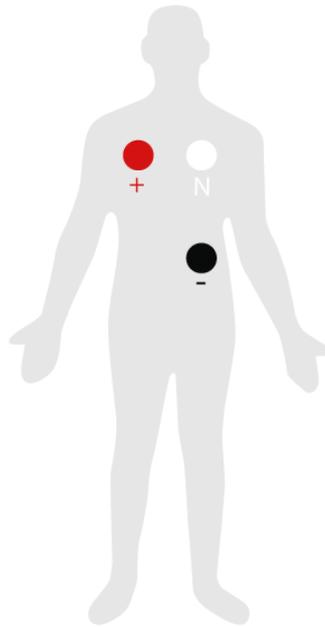


Figura 4.13 Ubicación de los electrodos en el cuerpo para el electrocardiograma.
Fuente: (e-Health v2, 2019)

4.7. Glucómetro

Este dispositivo mide la cantidad de azúcar en la sangre, ayudando de esta manera a comprobar la efectividad del tratamiento contra la diabetes.



Figura 4.14 Glucómetro

4.7.1. Conexión y uso del sensor

Primero se debe limpiar la punta del dedo con alcohol para posteriormente realizar una pequeña punzada con una aguja estéril, con el propósito de evitar infecciones. Luego se debe apretar suavemente el dedo para obtener una gota de sangre según la Figura 4.15.



Figura 4.15 Obtención de gota de sangre para usar en el glucómetro.

Luego la gota de sangre se debe colocar en la parte superior de la banda. El glucómetro empleara algunos segundos en calcular y mostrar la medición de glucosa en la sangre.

4.8. Raspberry pi y arduino

Los dispositivos de hardware de bajo costo como Raspberry y Arduino son utilizados en este prototipo ya que permitirán almacenar, procesar, y utilizar la información de los sensores obtenidos para cada paciente y mostrarlos mediante una APP o servidor web para su posterior análisis.

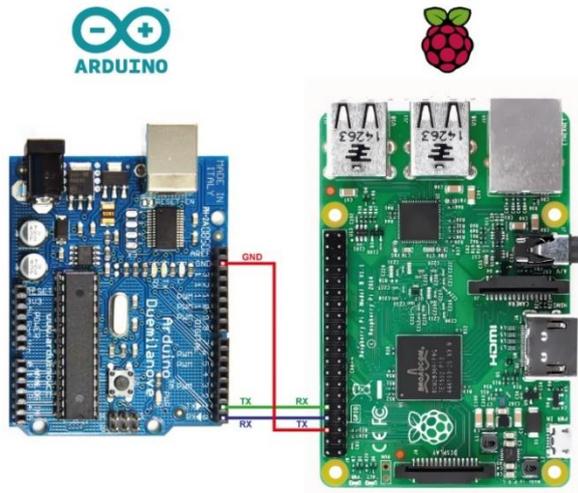


Figura 4.16 Acoplamiento de Arduino y Raspberry PI

4.9. Conexión del e-Health con arduino uno

La conexión entre las placas es muy sencilla, simplemente se debe ubicar el *shield e-Health* sobre el Arduino Uno y unir ambas placas según muestra las Figuras 4.17 y 4.18.

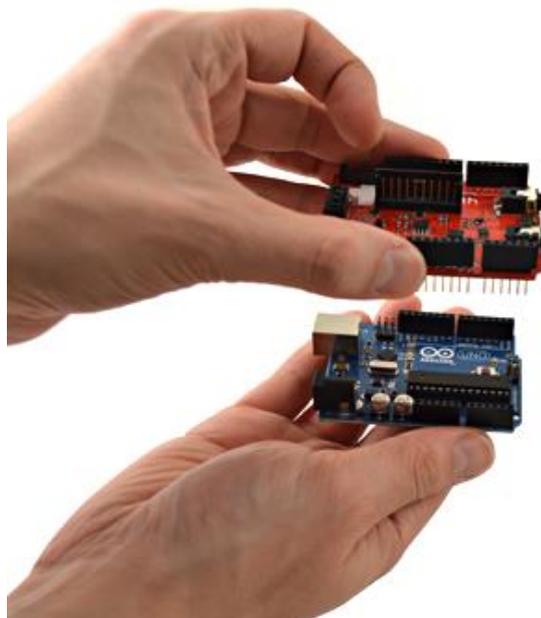


Figura 4.17. Conexión entre la placa v2.0 y el Arduino Uno (Cookings Hacks, 2020)

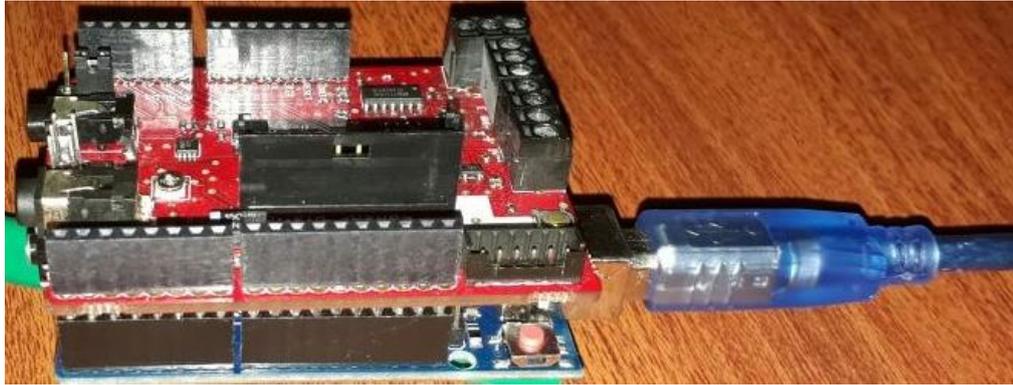


Figura 4.18 Conexión entre la placa v2.0 y el Arduino Uno

El Arduino se encarga de servir como centro de recolección de datos. Mediante la programación de este, se obtienen todas las variables relacionadas a los 9 sensores conectados a la placa e-Health, tanto las analógicas como las digitales, para su posterior envío al Raspberry Pi. En el Anexo XX se muestra en detalle la programación de cada sensor.

4.9.1. Librerías

La plataforma de sensores e-Health cuenta con librerías que permiten programar la lectura de los sensores de una manera fácil. Cabe destacar que estas librerías son de código abierto. Desde el sitio web (Cookings Hacks, 2020) es posible descargar todas las librerías existentes para uso con el Arduino denominadas librerías ArduPi. Estas librerías, disponibles en archivos .zip se deben descargar e incluir dentro del folder del IDE de Arduino, de manera que al momento de compilar los programas se puedan encontrar y emplear cada librería según se muestra en la Figura 4.19.

The screenshot shows a Windows File Explorer window with the following path: Este equipo > Disco local (C:) > Archivos de programa (x86) > Arduino > libraries. The window displays a list of folders with columns for Nombre, Fecha de modifica..., and Tipo. The folder 'eHealth_arduino_v2.4' is highlighted in blue and enclosed in a red rectangle.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo
Adafruit_CircuitPlayground	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
Bridge	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
eHealth_arduino_v2.4	17/08/2015 9:34	Carpeta de archivos
Esplora	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
Ethernet	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
Firmata	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
GSM	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
Keyboard	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
LiquidCrystal	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
Mouse	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos
Robot Control	13/05/2017 19:43	Carpeta de archivos

Figura 4.19 Librerías eHealth en el directorio librerías de Arduino

4.9.2. Transmisión y almacenamiento de datos

Luego de que el Arduino se encarga de procesar las mediciones y guardarlas en las variables respectivas, estos paquetes de datos son enviados al Raspberry Pi mediante la conexión del puerto serial USB, el Raspberry se encarga de enviar la información al servidor donde se guardan todos los datos, al cual se puede acceder desde la página web o desde la aplicación móvil.

4.9.3. Visualización de datos y alertas

Todos los son almacenados en el servidor, considerando la información personal del paciente, de manera que solo la persona autorizada tenga acceso a las mismas.

4.9.4. Visualización en android

La visualización de los datos juega un papel sumamente importante ya que es necesario que el equipo médico cuente con una manera sencilla de ver y analizar los cientos e incluso miles de datos recolectados y transmitidos, particularmente la electrocardiograma y glucosa deben ser visualizados mediante una representación gráfica de todos los valores obtenidos de las mediciones. Los métodos de visualización entonces permiten una manera

accesible de manejar y analizar los datos, evitando métodos tradicionales como historias clínicas o pilas de papeles. Es por ello por lo que se plantea la creación de una aplicación para el sistema operativo Android la cual permite tener acceso a todas las variables obtenidas de los sensores.

El prototipo de Telemedicina IoT presenta un interfaz de usuario amigable y muy sencilla de usar, puesto que se espera que sea empleada por pacientes con bajo conocimiento en el uso de aplicaciones móviles. Por ende, se permite cumplir el objetivo de visualizar mediante una aplicación móvil los datos obtenidos por los sensores para que cualquier persona autorizada que este al cuidado del paciente pueda tener acceso.

Para la programación del prototipo IoT de telemedicina se usó el Android Studio que de acuerdo con la página web Android Studio (2017) es un entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial que sirve para el desarrollo de aplicaciones a ejecutar en Android basado en IntelliJ IDEA. Android Studio ofrece un editor de códigos y herramientas para desarrolladores de IntelliJ. También ofrece más funciones para mejorar la productividad cuando se compilan las apps, tales como:

- Es compatible con C++ y NDK.
- Posee una gran variedad de herramientas y frameworks de prueba.
- Cuenta con un emulador con variedad de funciones.
- Sistema de compilación basado en Gradle flexible.
- Posee herramientas Lint que permiten detectar problemas de rendimientos, así como usabilidad y compatibilidad de versión.

4.10. Arquitectura de hardware del prototipo IoT de telemedicina

La Arquitectura del hardware del dispositivo IoT de Telemedicina se conforma por los dispositivos de sensores de electrocardiograma, sensor de pulso y oxígeno que se conectan directamente a la placa e-Health para el procesamiento de la señal y lo datos, mediante una conexión externa basada en pines se conecta el Arduino y esta vía cable USB se conecta a la Raspberry Pi. Para el prototipo también se considera un glucómetro como sensor externo el cual tomará datos y estos serán ingresados de manera manual a la Raspberry pi.

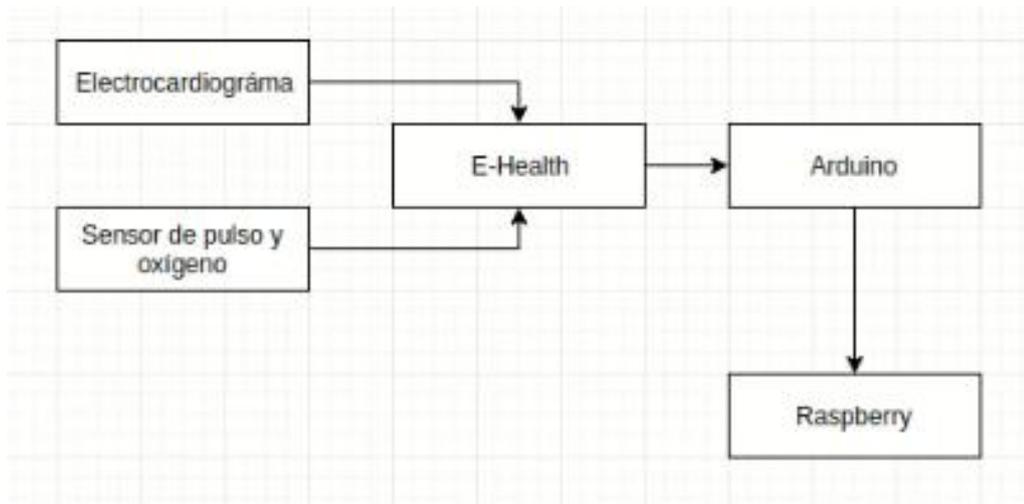


Figura 4.20 Arquitectura de Hardware del prototipo IoT de Telemedicina

El Arduino y la placa e-Health se interconectan para el intercambio de información que previamente se digitaliza.

Los datos digitalizados y procesados se envían a la Raspberry Pi para su almacenamiento y tratamiento de la información.

La placa e-Health tiene todo el hardware necesario para la comunicación entre los sensores y el Arduino.

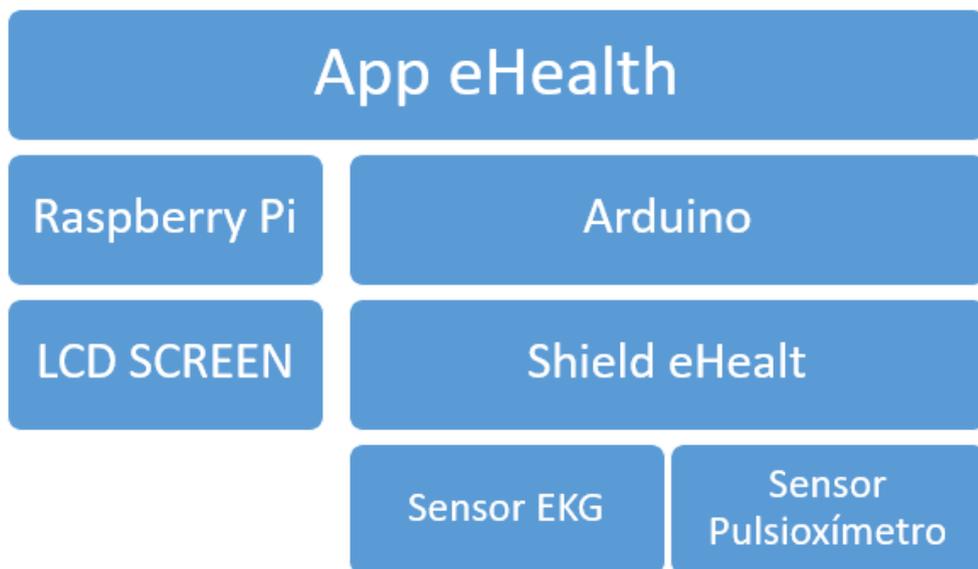


Figura 4.21 Diagrama de bloques del hardware prototipo IoT

4.11. Arquitectura de software del prototipo IoT de telemedicina

La Arquitectura de Software del prototipo IoT de Telemedicina se basa en la programación que se realiza en la Raspberry PI 3.

Para obtener la información de los sensores, el Arduino manda los datos a la Raspberry PI mediante puerto USB para su posterior procesamiento y analítica de la información de interés.

El lenguaje de programación Python es el encargado de leer los datos de los sensores que son recibidos por medio del Arduino y los envía a una base de datos MySQL que constantemente guarda la información hasta un límite de acuerdo con el espaciamiento asignado.

La aplicación NodeJS maneja la base de datos MySQL y es el que controlo cuando y como guardar la información obtenida por los sensores.

Python como lenguaje no leen siempre los datos de los sensores a cada momento, los lee cuando se necesita la información ahorrando especia de información en la base de datos MySQL.

NodoJS le indica a Pyhton como leer y cuando leer los datos para posteriormente almacenarlos a la base de Datos MySQL.

Otro Software complementario para las aplicaciones web mobile o Web APP son Express y VueJS.

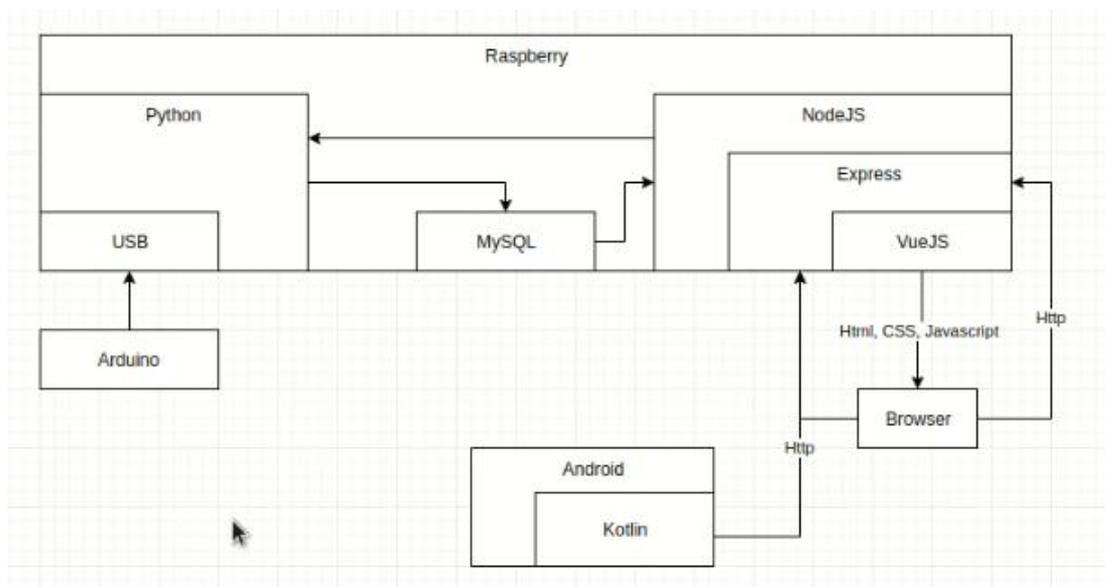


Figura 4.22 Arquitectura de Software del prototipo IoT de Telemedicina

Para probar la aplicación móvil la cual está realizada en Android, utilizando el lenguaje de programación llamado Kotlin. La aplicación Android se conecta a la Raspberry PI mediante servidor Express por medio de protocolo HTTP. Express es un framework que corre sobre el lenguaje de programación de NodeJS. Express se conecta a la base de datos MySQL para enviarla a la aplicación Android la cual debe ser mostrada al usuario. La aplicación Web se puede observar a través de cualquier navegador, para la aplicación Web interactúa el framework VueJS mediante HTML, CSS, JavaScript. Las peticiones que se ejecutan desde el navegador están solicitando información a la base de datos Express. Kotlin es un lenguaje de programación estático soportado en la máquina virtual de java y compilado de la misma forma en el lenguaje JavaScript. El prototipo IoT de Telemedicina incluye la implementación de una APP para la visualización de los datos adquiridos por los sensores, previo a la toma de datos y análisis de resultados se procede a instalar la APP en este caso en un smartphone. Se procede a realizar la instalación de la APP en el móvil donde se observarán los datos adquiridos por el prototipo de telemedicina IoT.

4.12. Elementos del prototipo de telemedicina

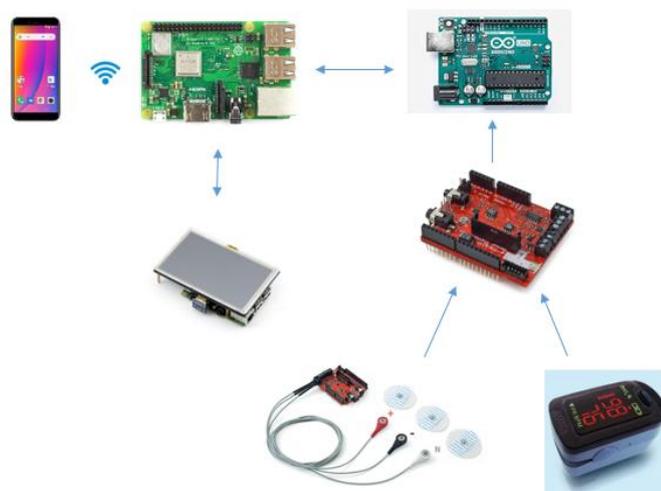


Figura 4.23 Esquema de conexión de elementos del prototipo de telemedicina

A continuación, se muestran los elementos que conforman el prototipo de telemedicina. Se puede observar la placa e-Health, el Arduino, Raspberry pi, un módulo de energía de 5V 5A, la pantalla HDMI, sensores glucómetro, sensores EKG, caja para protección del prototipo.

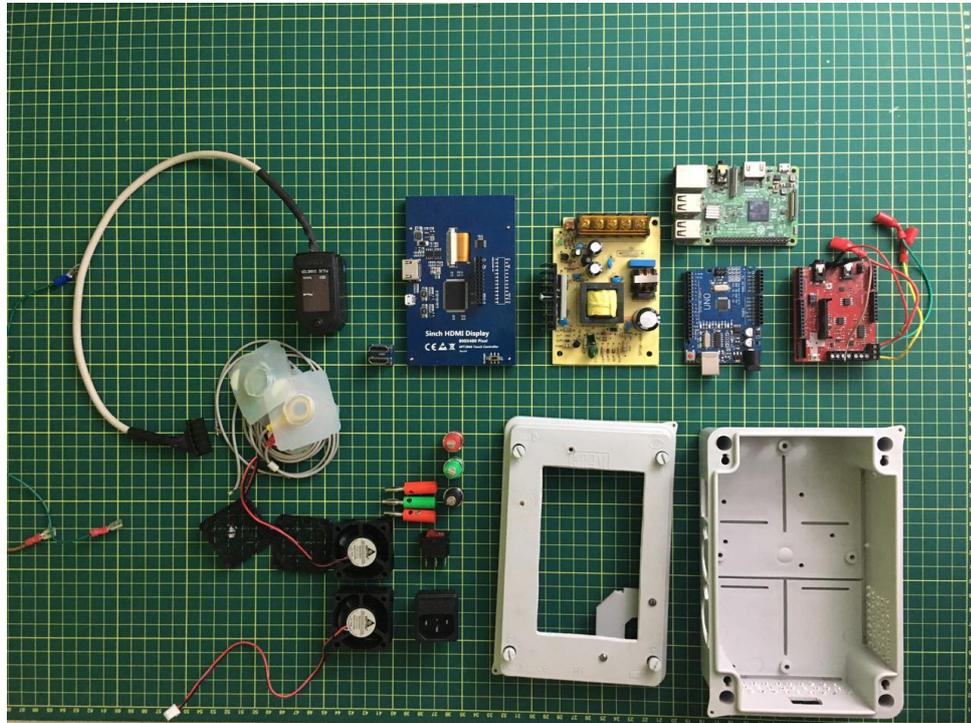


Figura 4.24 Elementos del prototipo de telemedicina

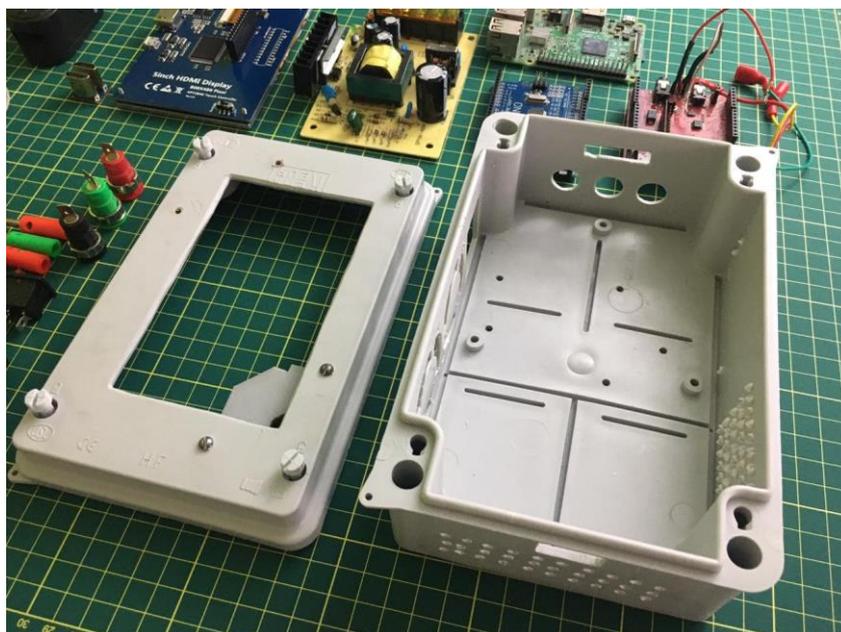


Figura 4.25 Caja plástica de protección del prototipo de telemedicina

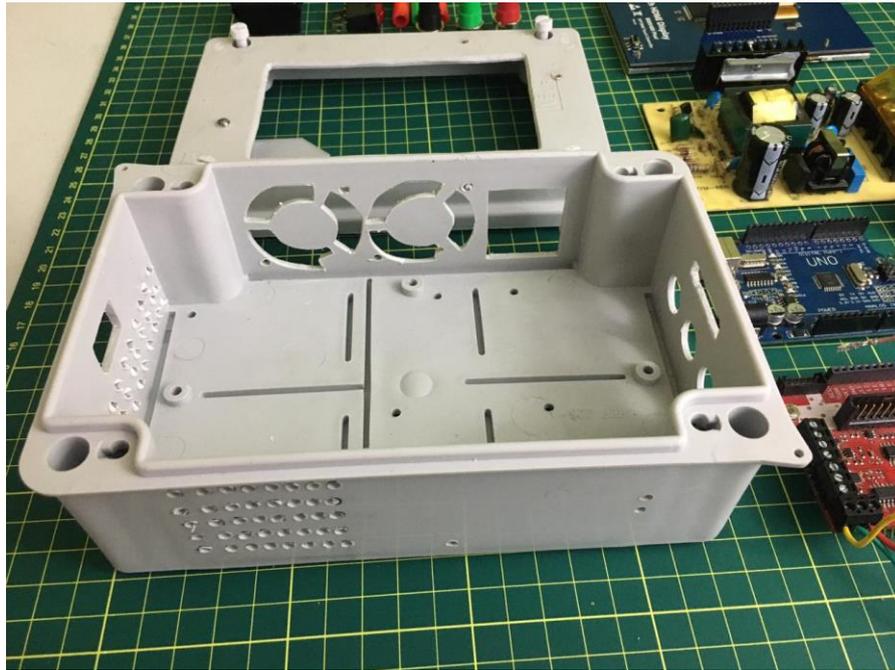


Figura 4.26 Vista lateral de la caja plástica

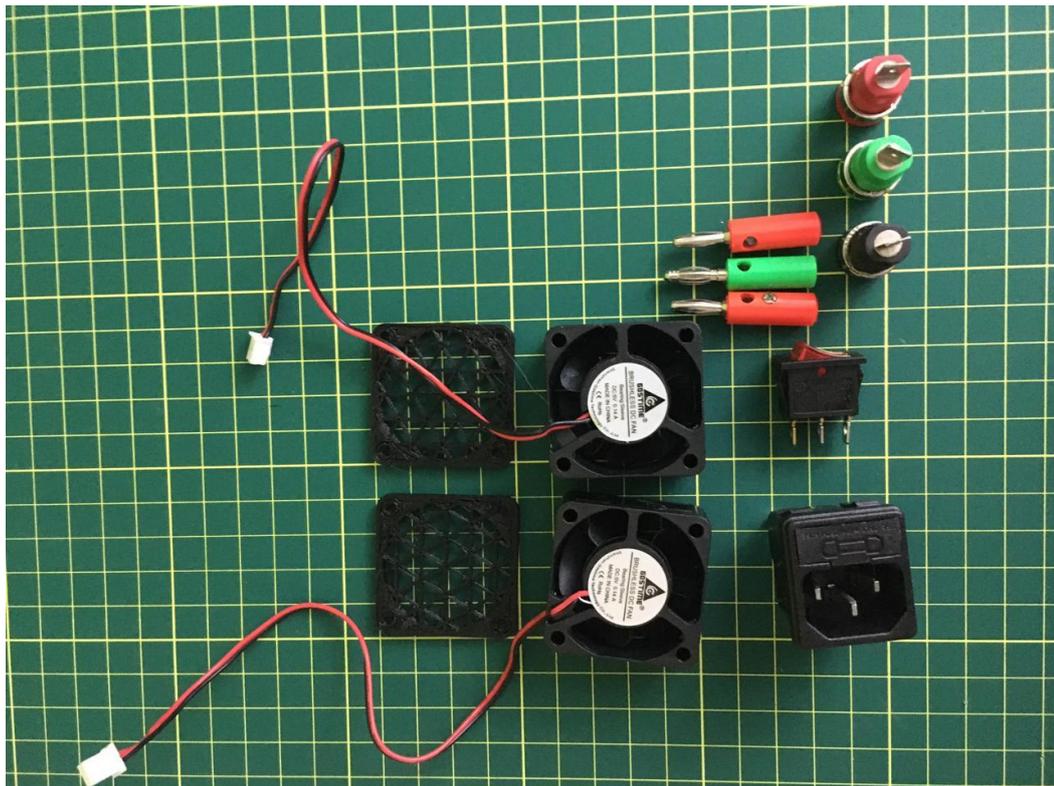


Figura 4.27 Elementos de enfriamiento de la electrónica y borneras



Figura 4.28 Elementos principales del prototipo

4.13. Ensamblaje del prototipo de telemedicina

Para el ensamblaje del prototipo de medicina se utilizan las herramientas necesarias como caufín, soldadura, destornilladores y multímetro.

A continuación, se observan las evidencias del ensamblaje del prototipo.

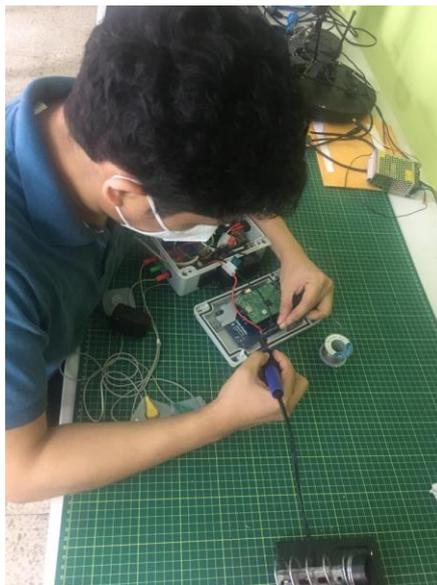


Figura 4.29 Soldadura del prototipo de telemedicina

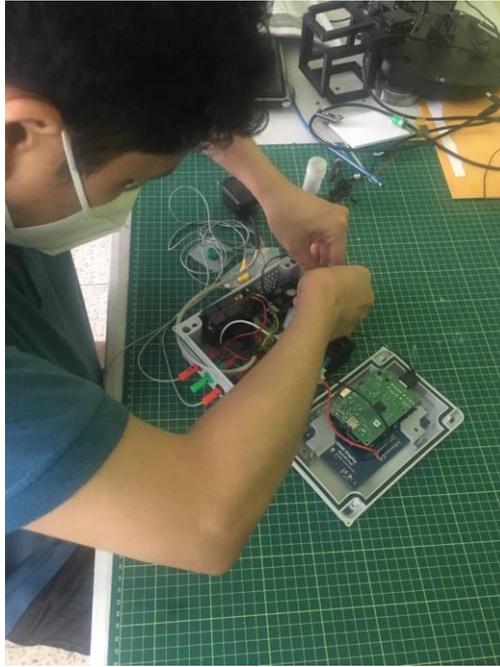


Figura 4.30 Conexiones internas del prototipo de telemedicina

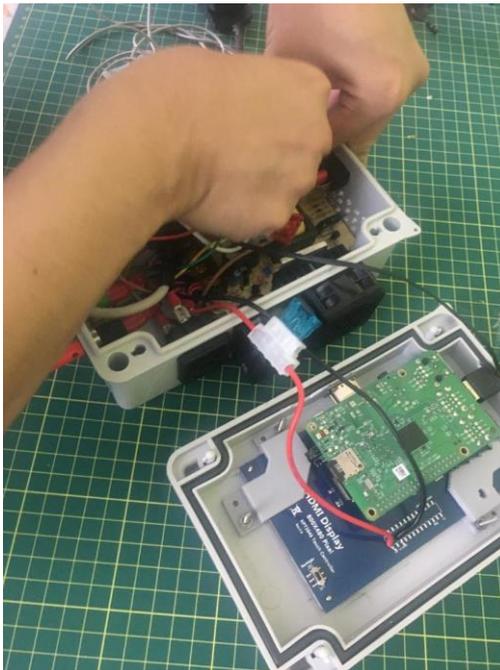


Figura 4.31 Conexión de borneras en el prototipo de telemedicina

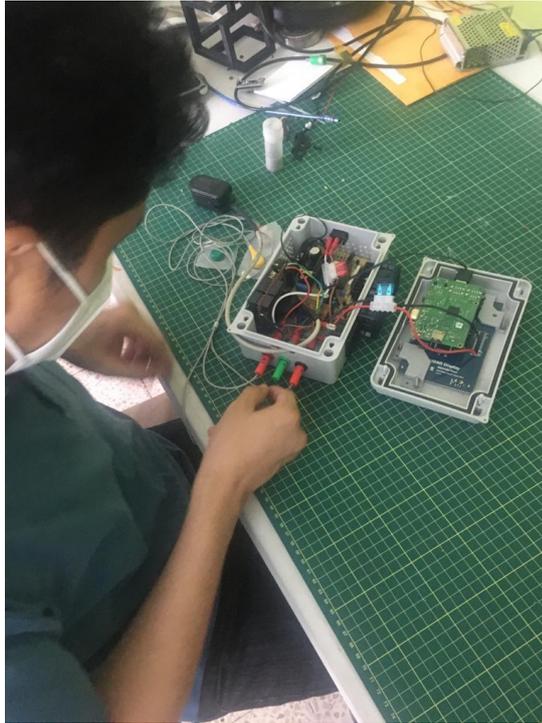


Figura 4.32 Conexión de sensores del prototipo de telemedicina

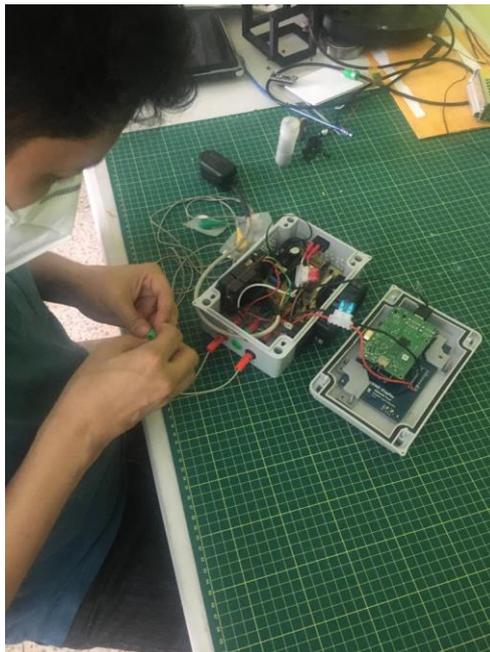


Figura 4.33 Pruebas de sensores del prototipo de telemedicina

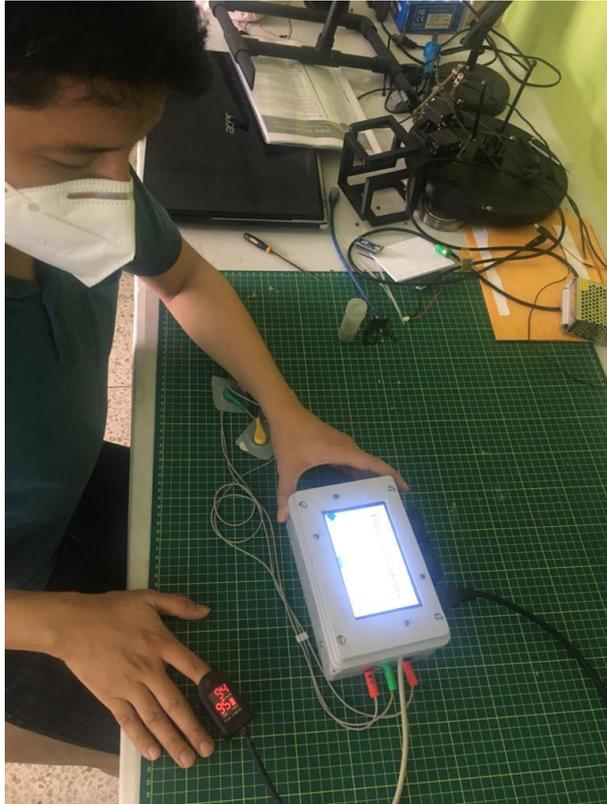


Figura 4.34 Encendido y puesta en marcha del prototipo de telemedicina

4.14. Programación en tarjeta controladora

A continuación, se detalla las líneas de programación de la tarjeta controladora del prototipo. El código corresponde al cargado en el microcontrolador del arduino.

```
#include <PinChangeInt.h>
#include <eHealth.h>

int cont = 0 ;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  eHealth.initPulsioximeter();
  PCintPort::attachInterrupt(6, readPulsioximeter, RISING);
  while(!Serial);
  Serial.println("OK");
}

void loop()
{
  if(Serial.available())
  {
```

```

        switch(Serial.read())
        {
            case '1':
for(int index=0;index<500;index++)
            {
                Serial.println(eHealth.getEMG());
                delay(20);
            }
            break;
            case '2':
                Serial.println(eHealth.getBPM());
                Serial.println(eHealth.getOxygenSaturation());
                break;
            }
        }
    }

void readPulsioximeter () {
cont ++; if (cont == 50 ) { // Obtenga solo 50 medidas para reducir la latencia
    eHealth.readPulsioximeter ();
    cont = 0 ;
}
}
}

```

4.15. Programación MySQL

Se observan a continuación las líneas de programación de la base de datos interna del raspberry pi.

```

Creación Inicial Usuario del sistema
create user 'ehealth'@'%' identified by 'ehealth';
create database ehealth;
grant all privileges on ehealth.* to 'ehealth'@'%';
flush privileges;

```

Creación Inicial Tabla del sistema

```

--
-- Base de datos: `ehealth`
--
-----

DROP TABLE IF EXISTS `comidas`;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `comidas` (
  `id` int(10) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `date` TIMESTAMP NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  `day` int NOT NULL,
  `food` text,
  `user_id` int(10) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=5 DEFAULT CHARSET=latin1;

```

```

DROP TABLE IF EXISTS `agenda`;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `agenda` (
  `id` int(10) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `date` TIMESTAMP NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  `content` text NOT NULL,
  `state` int default 0,
  `user_id` int(10) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=5 DEFAULT CHARSET=latin1;

```

```

--
-- Estructura de tabla para la tabla `cluster`
--

```

```

DROP TABLE IF EXISTS `cluster`;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `cluster` (
  `id` int(10) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `date` varchar(50) NOT NULL,
  `sensor` int(10) NOT NULL,
  `user_id` int(10) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=5 DEFAULT CHARSET=latin1;

```

```

--
-- Volcado de datos para la tabla `cluster`
--

```

```

INSERT INTO `cluster` (`id`, `date`, `sensor`, `user_id`) VALUES
(1, '2019-09-10', 1, 27),
(2, '2019-09-10', 2, 27),
(3, '2019-09-10', 1, 27),
(4, '2019-09-10', 2, 27);

```

```

-----
--
-- Estructura de tabla para la tabla `medition`
--

```

```

DROP TABLE IF EXISTS `medition`;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `medition` (
  `id` int(10) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `time` varchar(50) NOT NULL,
  `value` varchar(10000) NOT NULL,
  `cluster_id` int(10) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=7 DEFAULT CHARSET=latin1;

```

```

--
-- Volcado de datos para la tabla `medition`
--

```

```

INSERT INTO `medition` (`id`, `time`, `value`, `cluster_id`) VALUES
(1, '16:36:12',
'[682,473,285,362,637,594,374,257,496,687,486,294,348,624,607,385,254,481,689,496,308
,335,610,618,396,251,466,689,508,310,320,596,629,406,252,450,686,522,319,308,583,641
,418,254,434,684,533,328,297,568,653,428,258,419,677,544,336,287,555,659,439,263,403
,672,558,346,278,540,670,450,270,389,659,569,355,273,524,676,461,278,374,649,583,365
,263,509,683,473,285,358,635,593,375,257,493,686,486,294,343,621,607,388,253,477,687

```

```
,498,304,330,606,621,398,251,461,688,512,314,316,592,635,410,252,442,684,526,321,304
,575,644,422,256,428,680,540,334,289,559,658,435,259,407,672,553,344,285,542,667,448
,270,390,662,569,355,269,524,675,463,277,373,647,582,365,261,508,682,474,287,355,632
,598,376,256,489,687,488,297,341,619,608,388,252,476,689,499,305,325,603,624,399,250
,461,688,516,314,312,587,640,412,251,438,683,528,324,298,571,647,425,257,420,677,543
,335,286,555,659,437,262,403,668,558,346,274,536,669,452,272,383,653,572,358,265,517
,677,466,281,367,640,589,370,256,496,690,483,292,345,621,607,386,252,477,687,497,304
,328,603,623,401,250,454,688,515,315,309,583,637,416,253,431,681,534,331,294,564,652
,431,259,412,673,551,342,279,543,668,448,269,388,660,570,355,268,522,676,463,280,368
,642,587,368,258,500,692,482,291,349,624,606,387,252,479,687,497,309,330,608,621,397
,250,458,687,515,315,311,586,638,413,252,436,682,532,328,296,566,651,428,264,414,674
,548,339,283,548,664,445,267,393,667,568,353,270,527,676,460,277,372,645,584,366,260
,504,684,478,289,351,629,601,382,255,482,691,496,301,332,608,620,401,251,459,689,514
,314,320,589,636,414,254,437,684,532,327,295,567,654,430,259,413,673,552,342,280,544
,668,447,269,390,659,570,356,266,521,679,466,280,367,642,590,372,259,498,685,484,295
,346,622,608,387,253,475,689,501,305,327,601,626,406,250,452,687,519,318,307,580,643
,418,255,428,682,538,332,291,559,658,436,263,405,669,559,348,275,537,671,453,273,382
,654,575,361,264,515,680,469,284,367,637,594,375,256,491,688,489,295,340,617,619,398
,253,471,689,509,308,322,597,627,405,250,448,686,522,319,305,577,644]', 1),
(2, '17:09:13', '{"BPM":0,"OxygenSaturation":0}', 2),
(3, '17:17:21', '{"BPM":0,"OxygenSaturation":0}', 2),
(6, '17:21:53', '{"BPM":0,"OxygenSaturation":0}', 4);
```

```
-----
--
-- Estructura de tabla para la tabla `user`
--
```

```
DROP TABLE IF EXISTS `user`;
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `user` (
  `id` int(10) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `name` varchar(50) NOT NULL,
  `user` varchar(50) NOT NULL,
  `pass` varchar(50) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  UNIQUE KEY `user` (`user`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=27 DEFAULT CHARSET=latin1;
```

```
--
-- Volcado de datos para la tabla `user`
--
```

```
INSERT INTO `user` (`id`, `name`, `user`, `pass`) VALUES
(1, 'Administrador', 'admin', AES_ENCRYPT('admin', 'pass'));
COMMIT;
```

5. Análisis de resultados

5.1. Prueba del prototipo IoT de telemedicina

A continuación, se detallarán el análisis de resultados en base a los objetivos planteados en este trabajo de investigación.

En primera instancia se da Inicio al sistema del prototipo de telemedicina mediante el encendido del botón de power, luego de esto arranca el sistema operativo de Raspbian de la Raspberry PI. Se debe esperar un minuto aproximadamente para que cargue la aplicación del programa de telemedicina.



Figura 5.1 Encendido del prototipo

Al encender el equipo carga automáticamente la aplicación, se observa una pantalla inicial de login para iniciar la app con usuario y contraseña. El usuario por defecto creado es “admin” y la contraseña para acceder a este usuario es “admin”. Adicionalmente es posible crear usuarios con su propia contraseña.

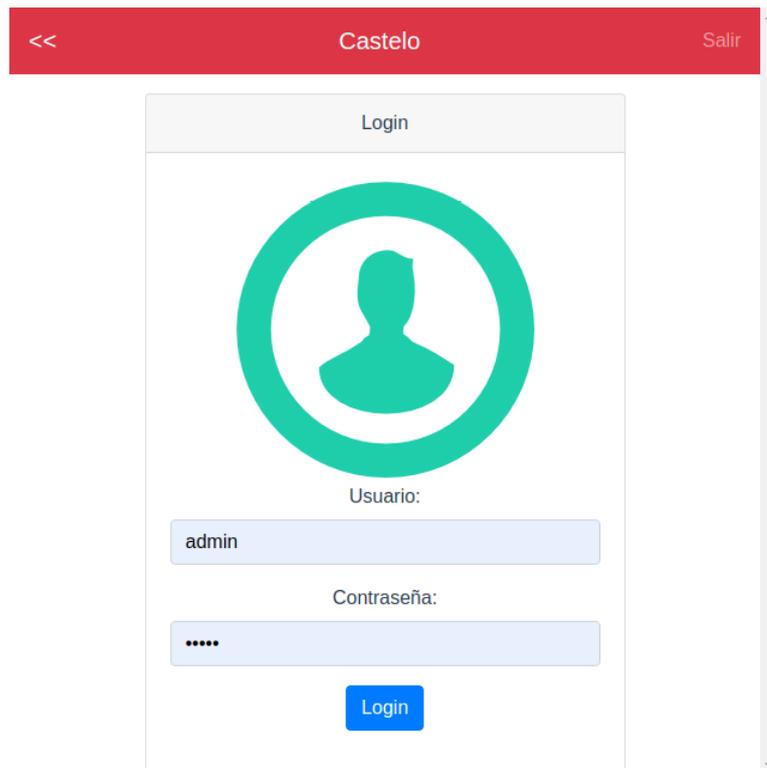


Figura 5.2 Ingreso con user y password, interfaz Raspberry (vista extendida)

La posibilidad de existencia de otros usuarios en la plataforma fue pensada debido a que varias personas podrían requerir acceso, sean estas, personal médico, auxiliares de enfermería o familiares del paciente. La pantalla para crear usuarios del prototipo de telemedicina, así como la de usuarios creados se visualizan en las Figuras 5.3 y 5.4.

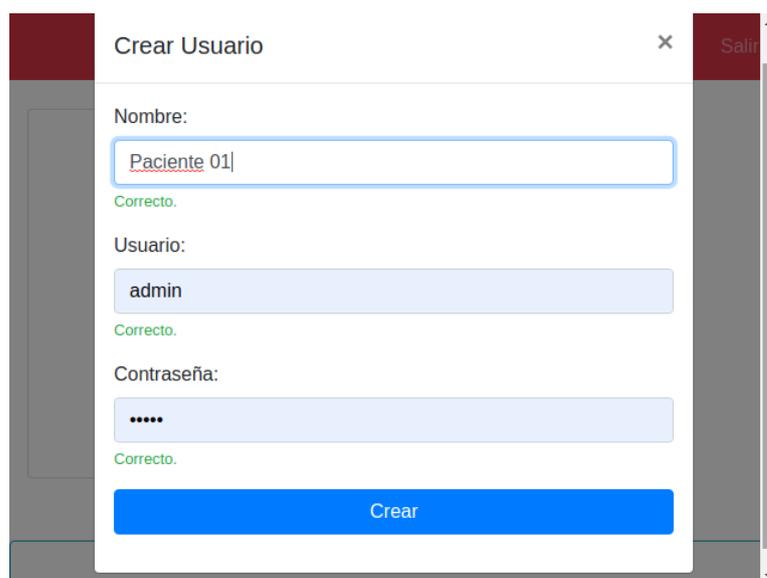


Figura 5.3 Creación de usuarios interfaz Raspberry

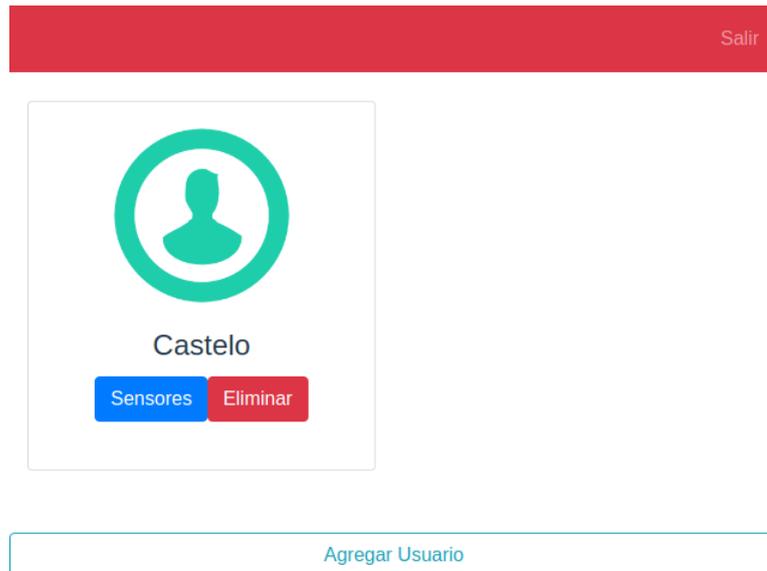


Figura 5.4 Pantalla de selección de usuarios en prototipo, interfaz Raspberry

La pantalla inicial del prototipo, tanto en la interfaz web, en Raspberry y en la aplicación móvil, cumplen con el estilo sencillo y orden visual que debe tener toda interfaz gráfica, para ser amigable con el usuario. Facilitando así su uso y evitando confusiones.

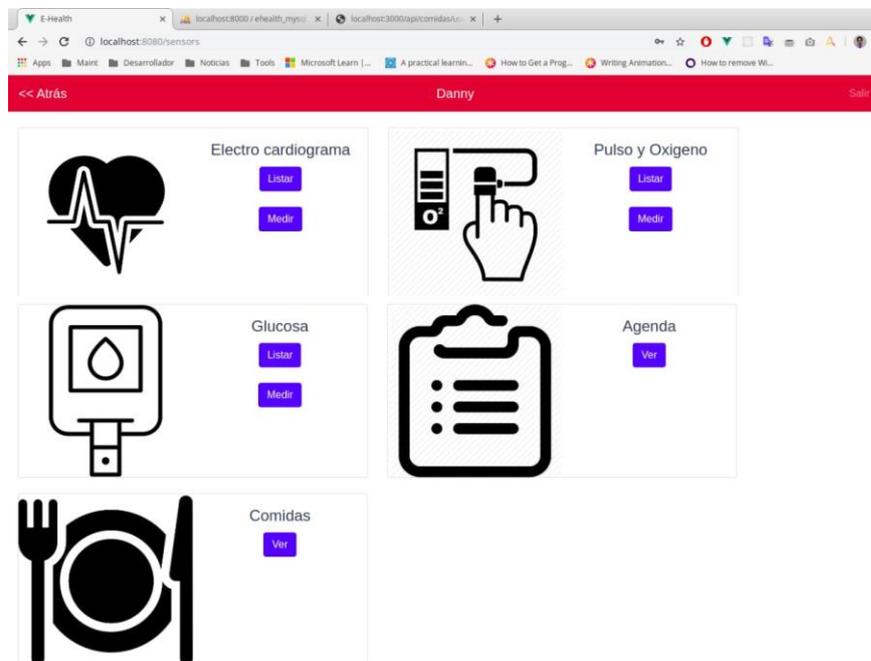


Figura 5.5 Pantalla principal del prototipo, interfaz web (vista extendida)

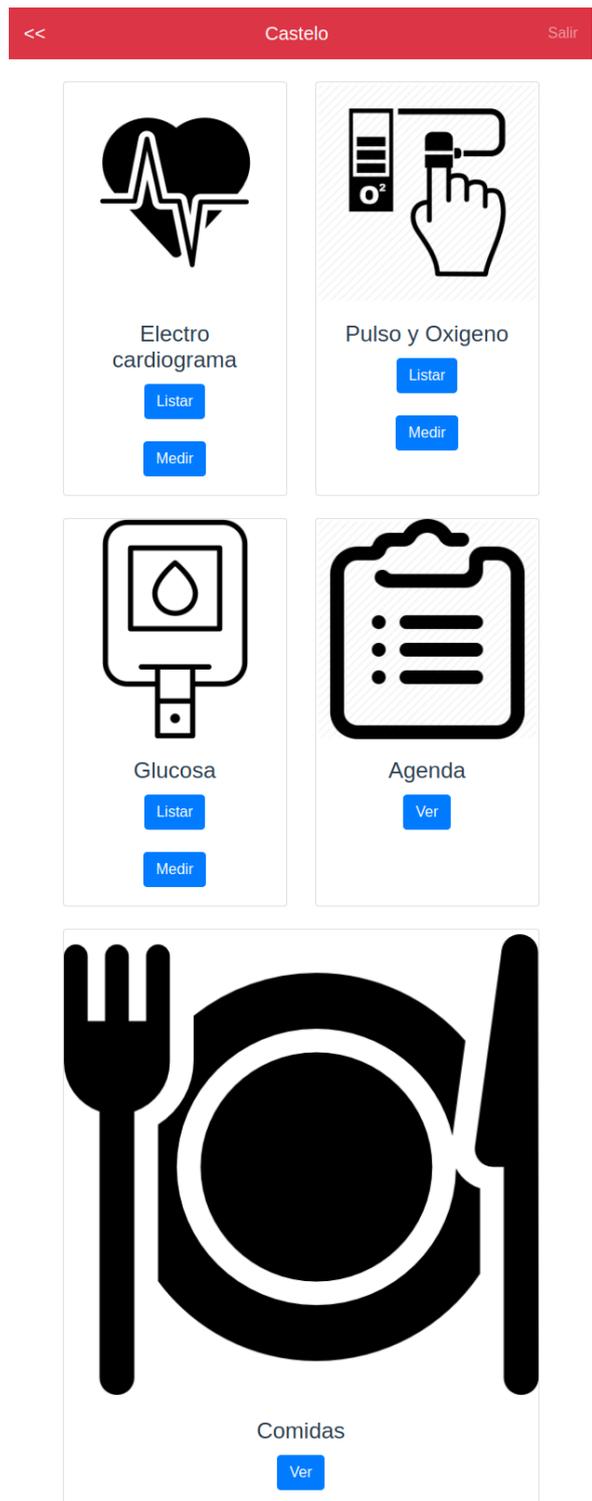


Figura 5.6 Pantalla principal del prototipo, interfaz Raspberry (vista extendida)

Una vez dentro de la aplicación se observan que los sensores que están conectados comiencen a obtener datos. Se enlista para visualizar los datos almacenados en la Raspberry, para este ejemplo se enlista los valores del electrocardiograma.



Figura 5.7 Datos de electrocardiograma

Los datos de glucosa se obtienen directamente de un glucómetro comercial de la marca contour next EZ, estos datos posteriormente se ingresan de manera manual en el prototipo.

Luego de ingresar manualmente los datos obtenidos por el glucómetro podemos observar las medidas de glucosa, donde se detallan los valores máximos de 20 y mínimo 5 de nivel de glucosa. Esto ayudará al paciente a interpretar la medida y poder administrarse la insulina necesaria para no sufrir una crisis hiperglicémica.

En la figura 5.9 tenemos la pantalla principal del glucómetro, donde se permite consultar los valores listados desde la opción de ingreso, en un rango de fechas. La figura 5.10 muestra la gráfica luego de una consulta simple, aquí se colocan todos los valores ingresados en el intervalo de fechas elegido, indicando además los valores máximo y mínimo para el paciente.

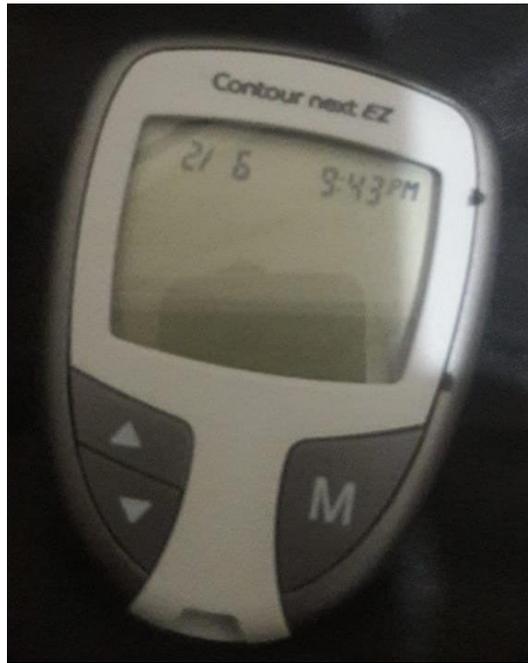


Figura 5.8 Glucómetro



Figura 5.9 Registro de glucosa, interfaz Raspberry

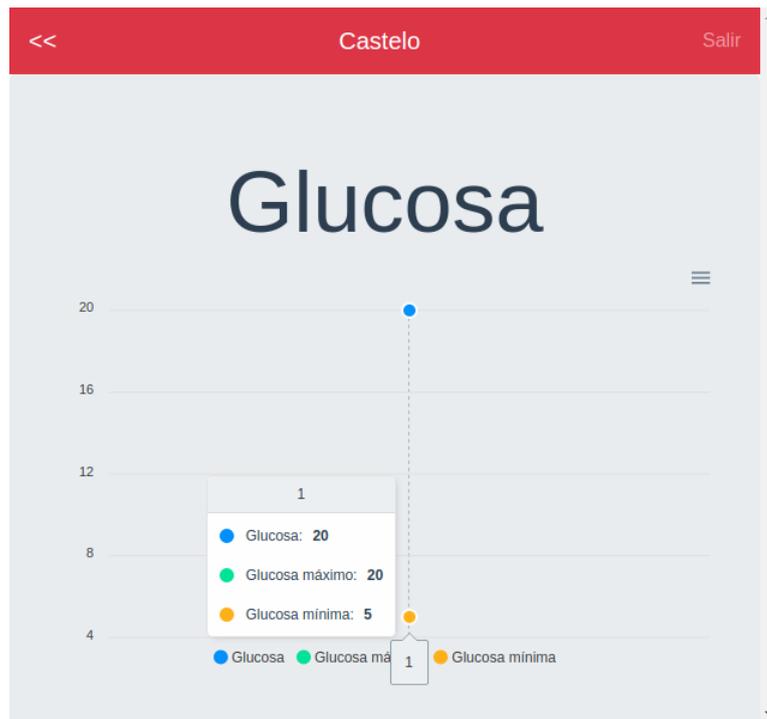


Figura 5.10 Gráfica con valores de glucosa, máximos y mínimos, interfaz Raspberry

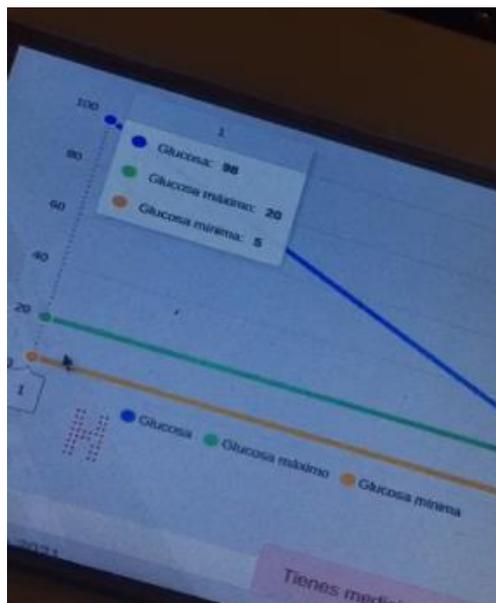


Figura 5.11 Gráfica con valores de glucosa, máximos y mínimos, interfaz web

Para proceder con la medida de pulso y oxígeno, primero se alista el sensor, colocándolo en el dedo pulgar del paciente. Se presiona el botón para encenderlo y se espera aproximadamente diez segundos para su correcta inicialización. Mientras tanto podemos acceder en el prototipo a la pantalla de Pulso y Oxígeno, esta mostrará los datos obtenidos por el sensor al momento de dar click en Medir. Las variables a mostrar serán las pulsaciones cardiacas

por minuto (BPM) y la saturación de oxígeno en la sangre. La plataforma muestra en la interfaz gráfica los valores máximos y mínimos, para que sea más sencillo para el paciente comparar los resultados obtenidos y saber si su estado de salud es óptimo o presenta alguna anomalía.

A continuación, en la figura 5.12 se muestra la información de pulso y oxígeno en el modo consulta. Mientras que en la figura 5.13 podemos apreciar una medida de pulso exitosa, con la captura de la Raspberry insertada para mejor apreciación.

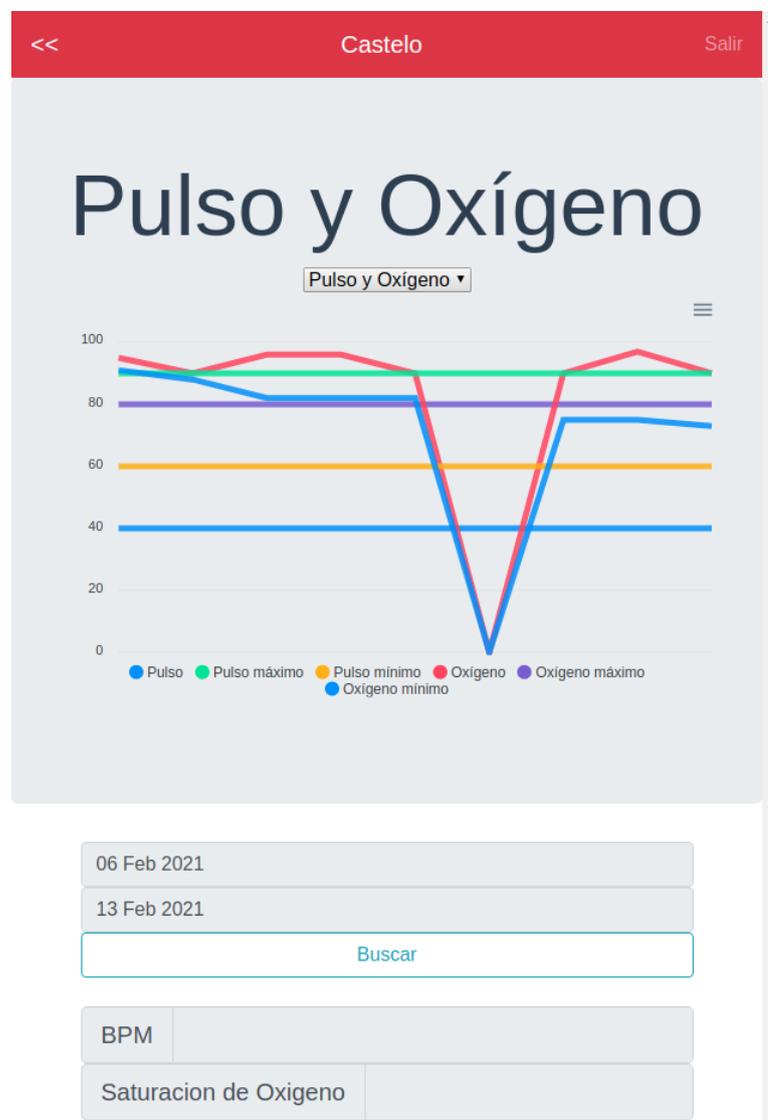


Figura 5.12 Datos de pulso y oxígeno con máximos y mínimos.



Figura 5.13 Toma de datos del pulsi oxímetro (con captura de Raspberry)

En la sección de agenda es posible registrar el estado de ánimo, los datos ingresados se van almacenando junto con la fecha y pueden ser evaluados por el profesional de la salud para llevar control del funcionamiento de las glándulas y cómo responden al tratamiento farmacológico o dieta. La agenda brinda la facilidad de elegir mediante lista desplegable, lo cual facilita al usuario el ingreso de registros a diario. Comentarios adicionales pueden ser agregados por ingreso mediante teclado.

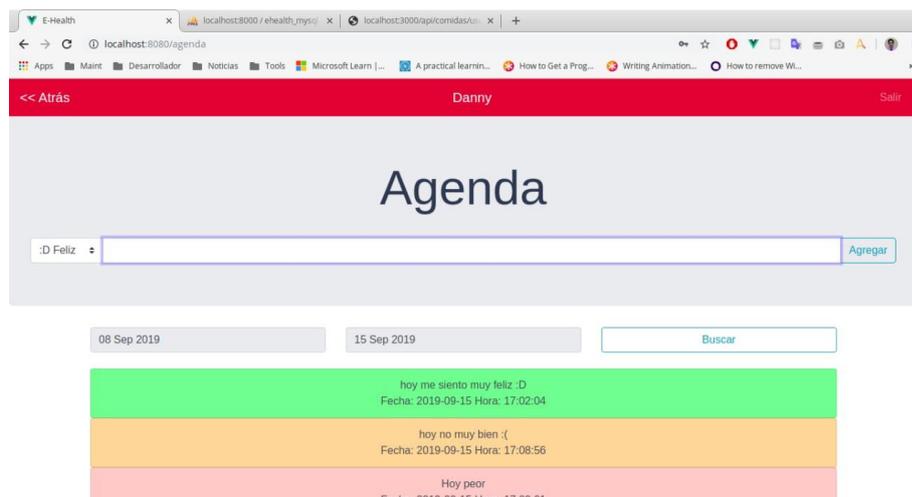


Figura 5.14 Visualización de la agenda en interfaz web

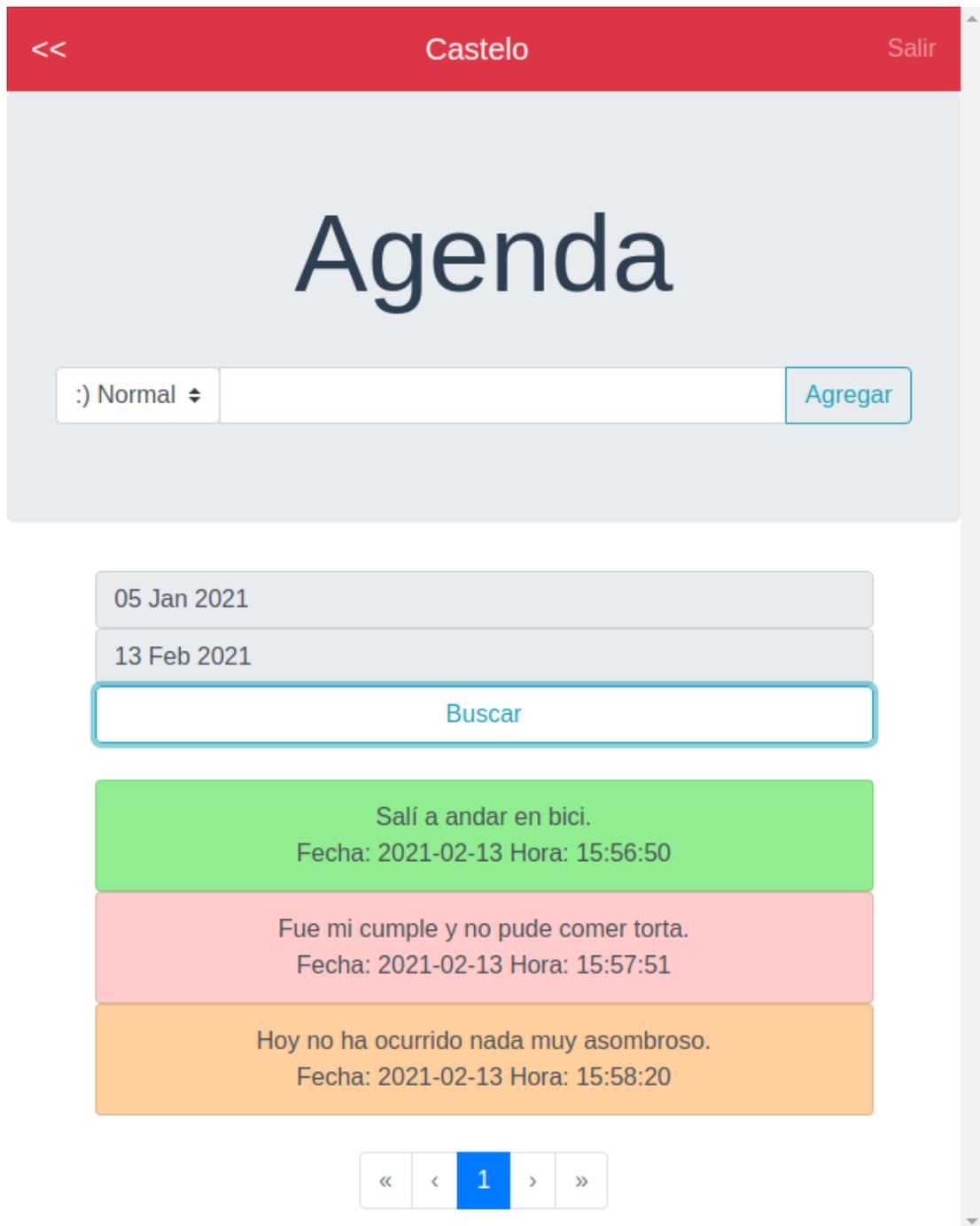


Figura 5.15 Agenda del prototipo de telemedicina, interfaz Raspberry (vista extendida)

En la sección comidas se observará el menú nutricional que el paciente debe seguir para el cuidado de su salud. La dieta debe ser recomendada directamente por el médico tratante.

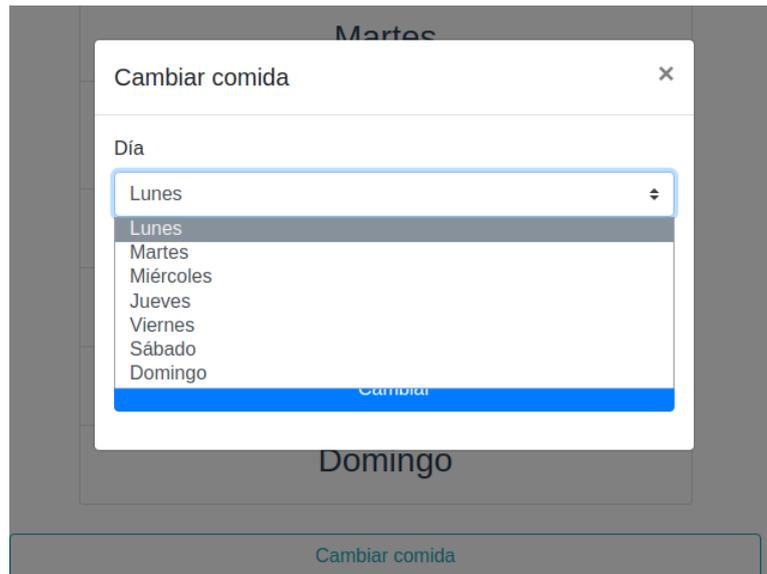


Figura 5.16 Sección de comidas, *interfaz Raspberry (vista extendida)*



Figura 5.17 Sección de comidas, *interfaz Raspberry (vista extendida)*

5.2. Prueba del prototipo IoT de telemedicina vía APP

Como parte de los objetivos específicos se realiza la visualización de la información del prototipo de telemedicina mediante una APP instalada en un celular Android.

En primera instancia se realiza la instalación de la aplicación diseñada para la monitorización con el software Android studio. Es un archivo tipo .apk que requiere permisos especiales por haber sido desarrollada por terceros. Una vez que aparezca en la lista de aplicaciones instaladas procedemos a abrirla para poder configurarla.

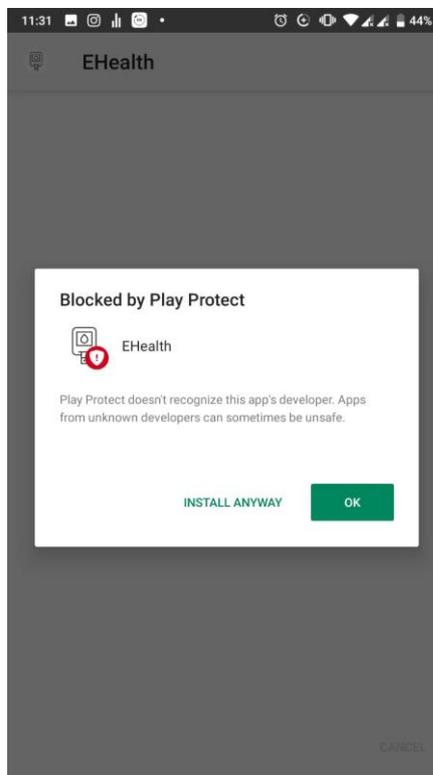


Figura 5.18 Instalación de aplicación android en móvil.



Figura 5.19 Pantalla de la APP del Prototipo de Telemedicina.

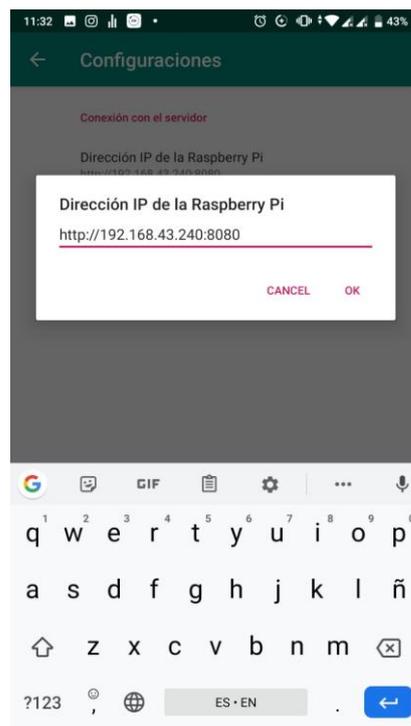


Figura 5.20 Conectividad con la Raspberry Pi y la APP móvil.

5.3. Adquisición de datos del prototipo vía APP

Cuando carga la APP procedemos a configurar para ingresar con user y password a la aplicación principal.



Figura 5.21 Creación de usuario, interfaz aplicación móvil

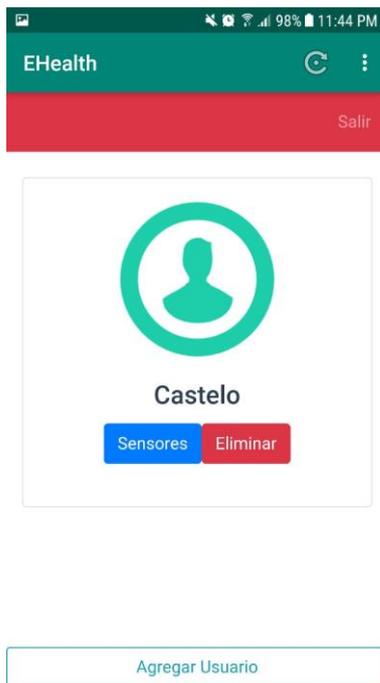


Figura 5.22 Pantalla de selección de usuarios, interfaz aplicación móvil

Luego de ingresar se procede a acceder a cada una de las herramientas de medición, se elige el electrocardiograma.



Figura 5.23 Electrocardiograma en APP

Se escoge la opción de pulso y oxígeno para mostrar la información obtenida por el prototipo de telemedicina.



Figura 5.24 Pulso y oxígeno en la APP

Se escoge la opción de nivel de glucosa en la APP.



Figura 5.25 Glucosa en APP

Se selecciona la opción de agenda en la APP del prototipo de telemedicina.



Figura 5.26 Agenda en APP

Se elige lista de comidas donde se observará el menú por fechas para llevar un control en la alimentación del paciente. Una vez recopilada la información

podemos observar los resultados directamente desde la APP conectada al prototipo IoT de telemedicina, así como registrar datos como usuario o cambiar registros como administrador.

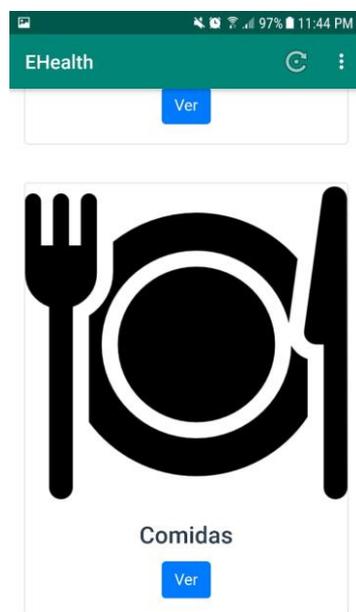


Figura 5.27 Comidas en APP

5.4. Pruebas en un Pacientes

Debido a los eventos relacionados con la emergencia de salud sucitados en el margen de la pandemia de COVID-19 se realizaron las pruebas en cinco pacientes, tomando en cuenta todas las medidas de bioseguridad. Cabe recalcar que los pacientes con diabetes pertenecen al grupo de personas vulnerables frente al Coronavirus. Se respetó el derecho a la confidencialidad del paciente, por lo que sus nombres no serán revelados. Las pruebas fueron realizadas durante el mes de enero de 2021, en las fechas detalladas en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Fechas de estudio en Pacientes

	Fecha inicio	Fecha final
PACIENTE I	3/01/21	6/01/21
PACIENTE II	7/01/21	10/01/21
PACIENTE III	11/01/21	14/01/21
PACIENTE IV	15/01/21	18/01/21
PACIENTE V	19/01/21	22/01/21

Fuente: El Autor

En el prototipo es posible revisar toda la información respecto a todas las variables medidas en cada paciente, para finalidad de este estudio las siguientes imágenes representan por cada paciente una variable medida en las fechas en las que se realizaron los estudios llevando el prototipo dos veces al día a sus casas.

- Electrocardiograma

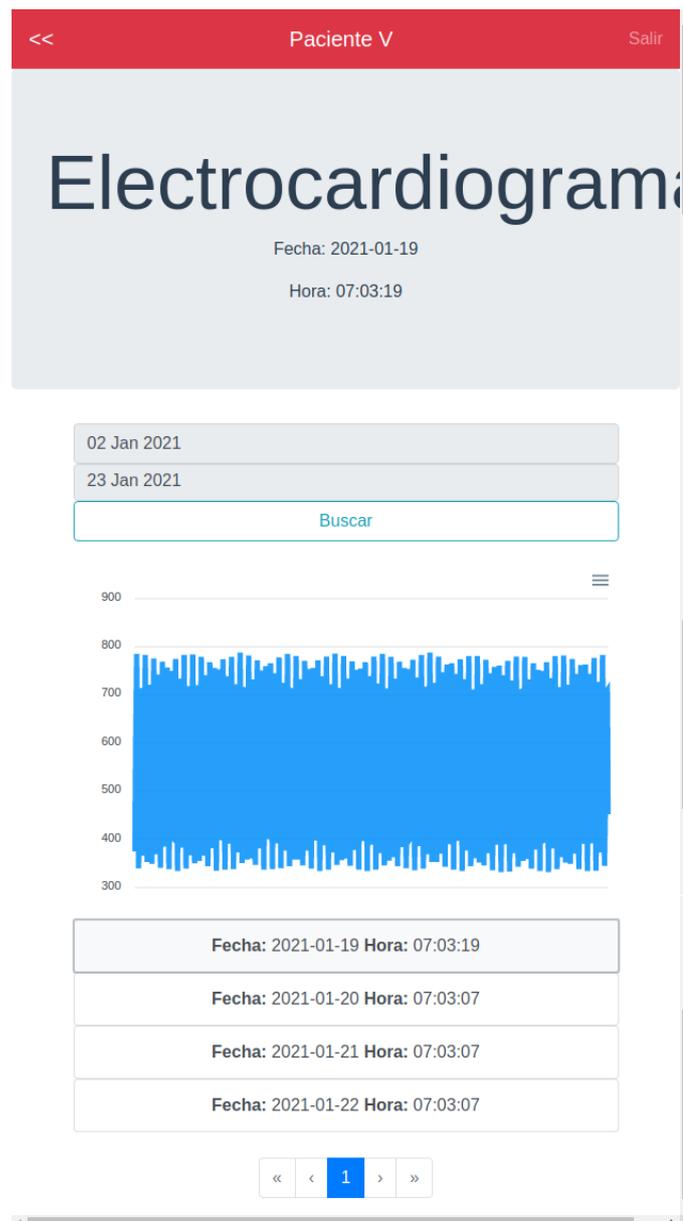


Figura 5.28 Valores de electrocardiograma, Paciente V

- Pulso y Oxígeno



Figura 5.29 Valores de pulso y oxígeno, Paciente I



Figura 5.30 Valores de Pulso, Paciente IV

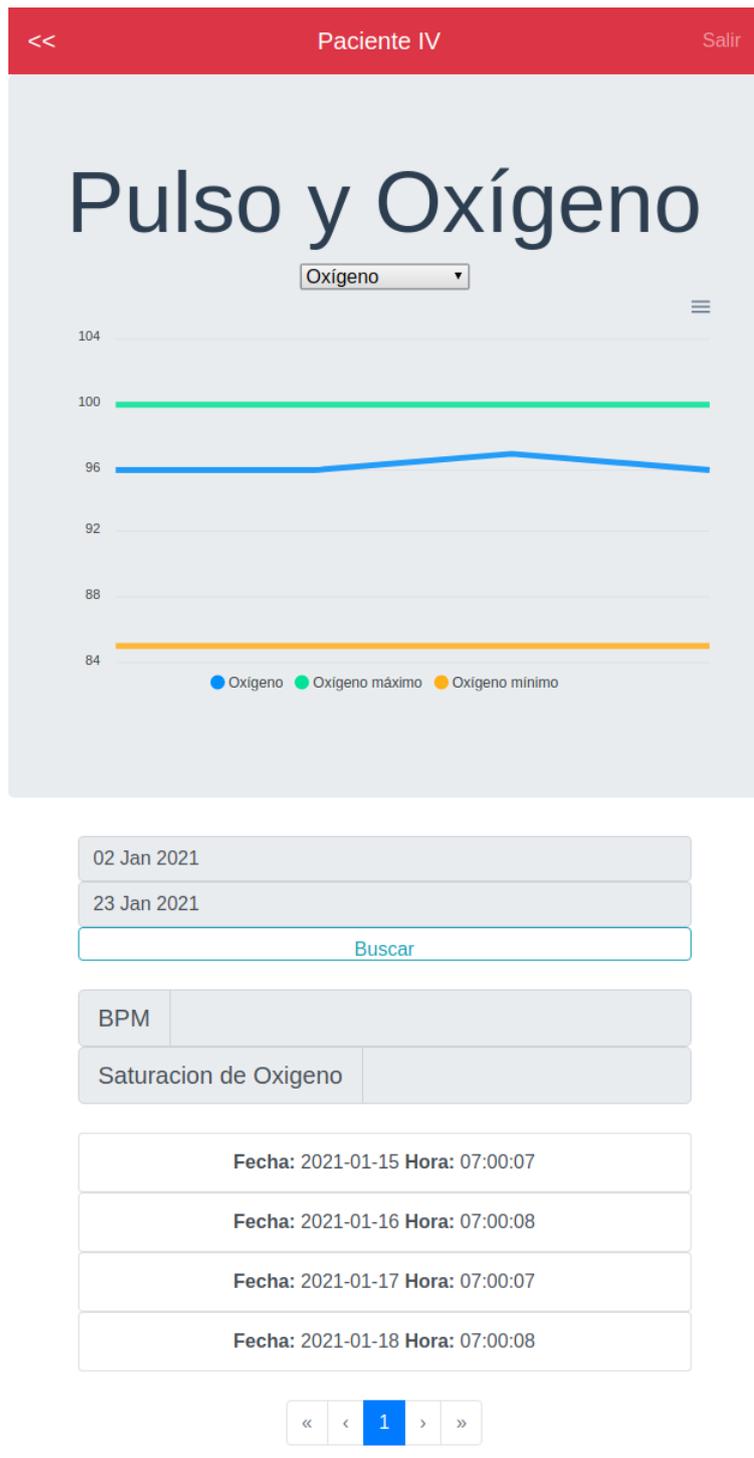


Figura 5.31 Valores de Oxígeno, Paciente IV

- Glucosa

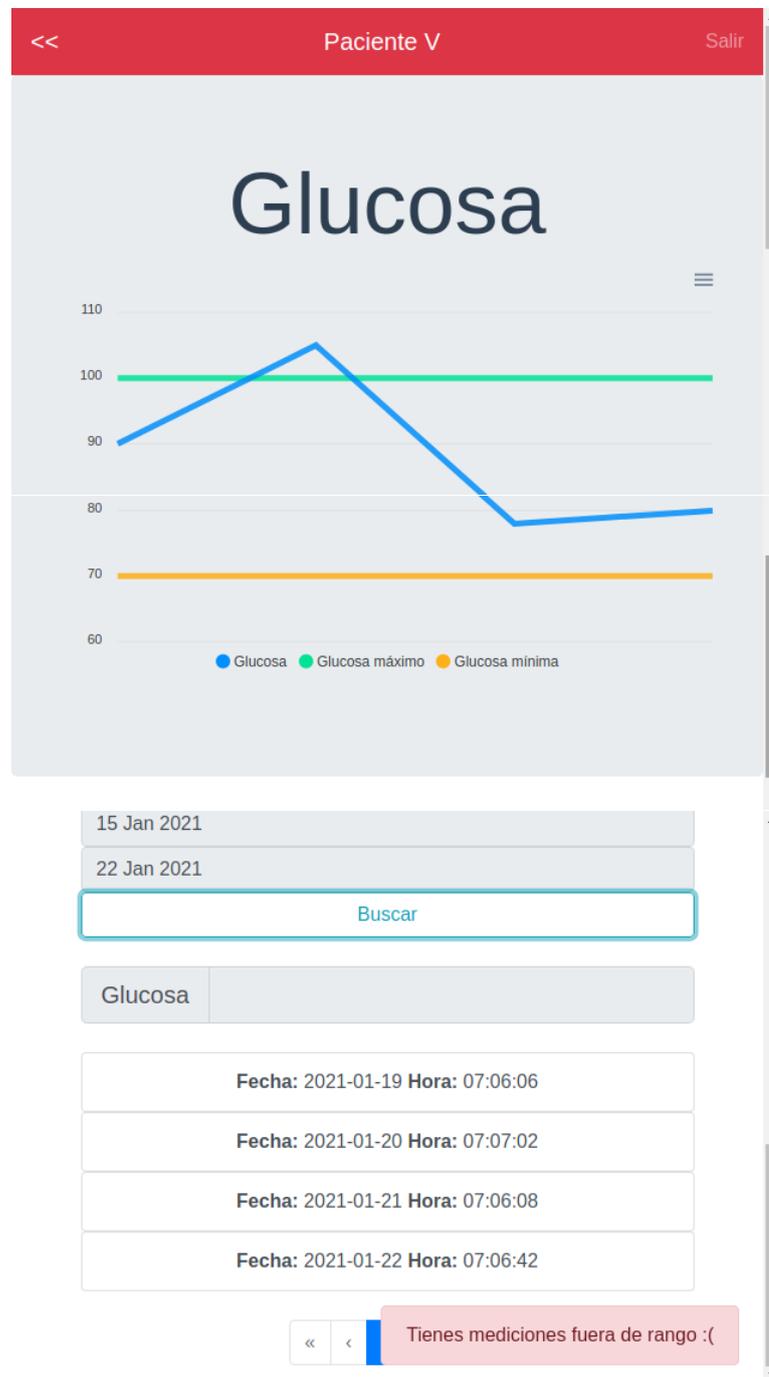


Figura 5.32 Valores de Glucosa, Paciente V

- Agenda



Figura 5.33 Registro de Agenda, Paciente II

- Comidas

<< Paciente IV Salir

Comidas

Lunes
Martes
Miércoles
Jueves
Viernes Desayuno Leche 200 cc Pan 40g Media mañana Fruta 1 porción Almuerzo Lentejas 100g Filete de ternera Ensalada Fruta 1 porción
Sábado
Domingo

[Cambiar comida](#)

Figura 5.34 Registro de Comidas, Paciente IV

5.5. Encuesta para Pacientes, Cuidadores y Médicos

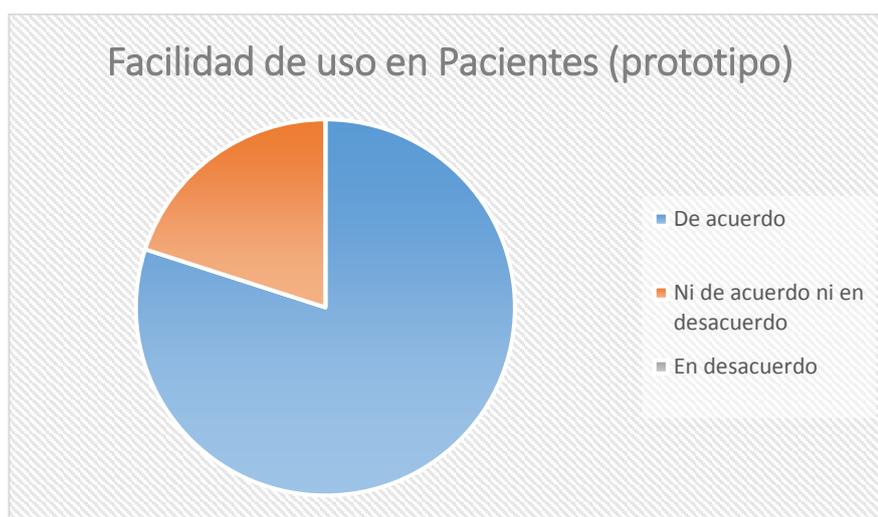
La siguiente encuesta de cinco preguntas utiliza parámetros que facilitan medir la facilidad de uso, tanto para el paciente (o cuidador de ser el caso) y médicos. Divide las calificaciones para cada parámetro siguiendo la lógica de menor a mayor calificación para que siempre la mayor coincida con el cumplimiento de los objetivos.

En una escala del 1 al 3, donde 1 es muy en desacuerdo y 3 es muy de acuerdo, conteste las siguientes preguntas marcando el número de su respuesta:

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 1. El prototipo de agenda fue de fácil uso para usted. | 2 | 3 |
| 1 | 2. La aplicación móvil fue de fácil uso para usted. | 2 | 3 |
| 1 | 3. La aplicación web fue de fácil uso para su médico. | 2 | 3 |
| 1 | 4. Su médico estuvo satisfecho con el registro de datos en la agenda. | 2 | 3 |
| 1 | 5. El uso de la agenda hizo más eficiente llevar a cabo su tratamiento. | 2 | 3 |
-

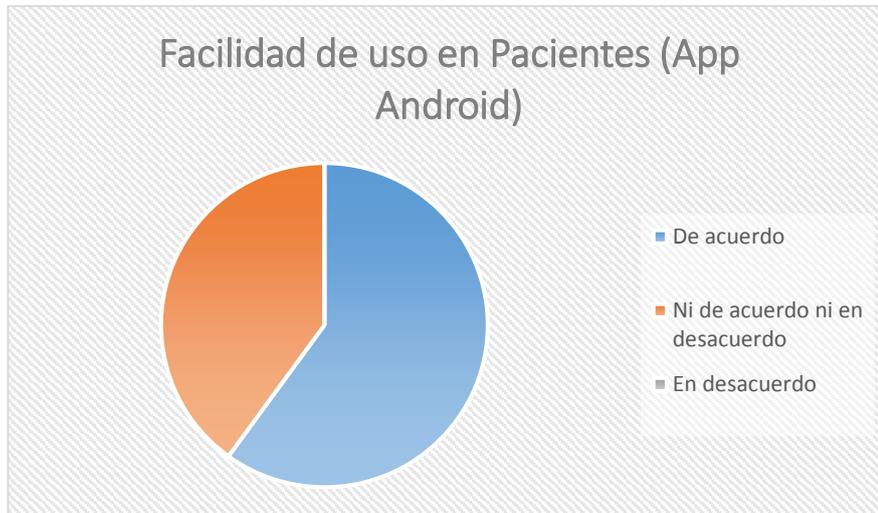
5.6. Resultados de Encuestas

- Pregunta 1: Prototipo y facilidad de uso para el paciente



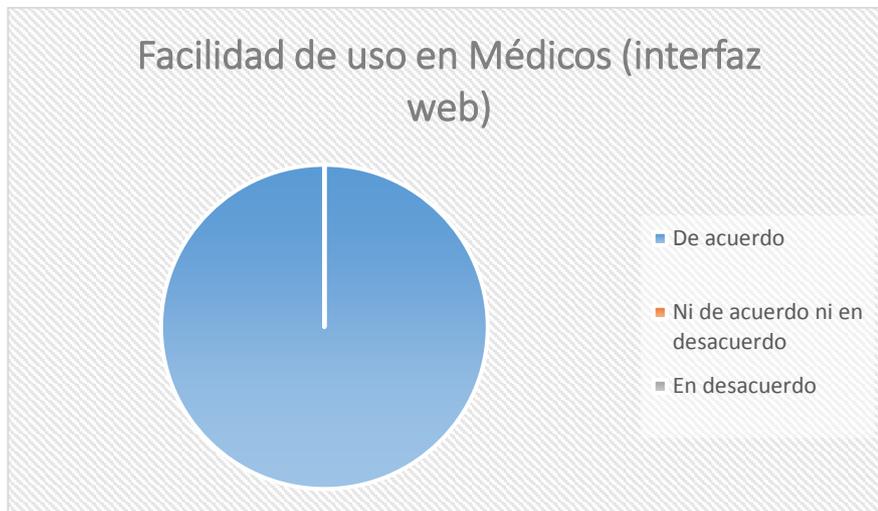
Se encontró que en el uso del prototipo no hubo mayores problemas, a pesar que el trackpad era nuevo para la mayoría de ellos, se adaptaron prontamente al manejo e ingreso de datos.

- Pregunta 2: Aplicación Android y facilidad de uso para el paciente



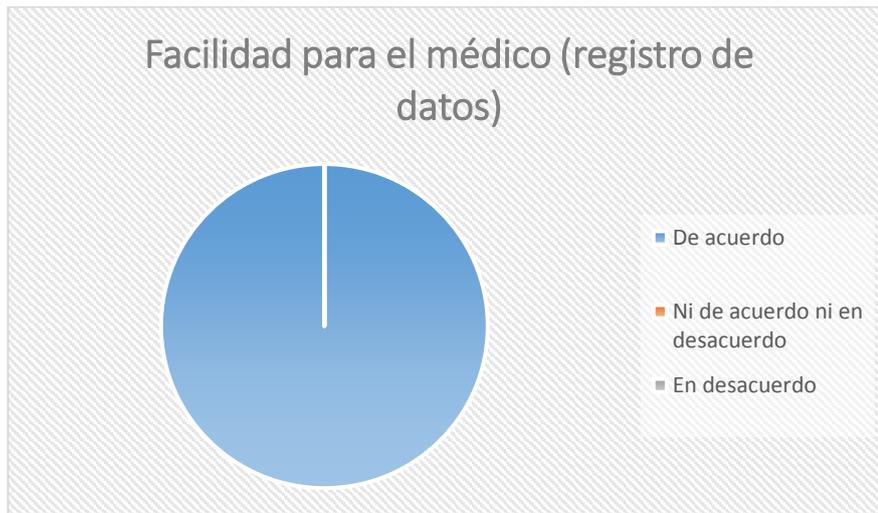
Una vez instalado el aplicativo fue sencillo para la mayoría de pacientes acceder, esto probablemente debido a que el uso de dispositivos móviles incrementó durante la pandemia, cumpliendo así con otro de nuestros objetivos.

- Pregunta 3: Aplicación web y facilidad de uso para el médico



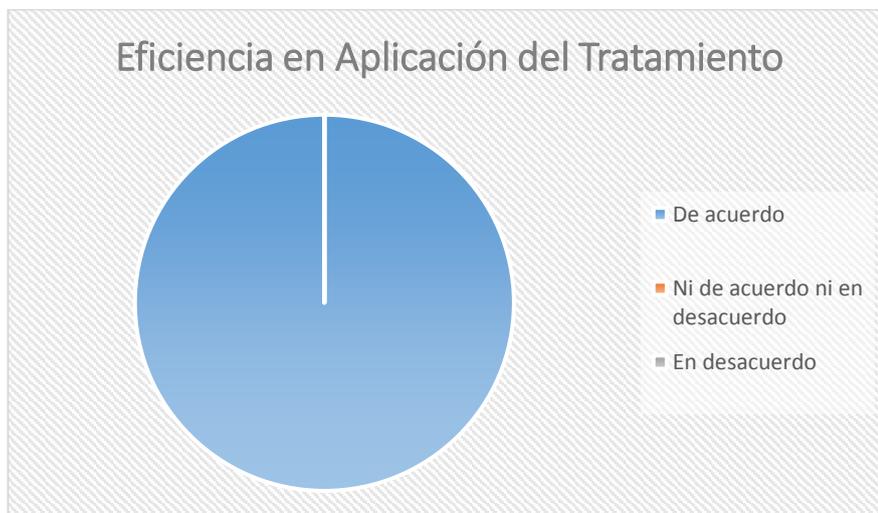
El acceso en línea por parte de los médicos se realizó de manera exitosa a través de la conexión a la red de la Raspberry mediante su computadora personal. Los cinco médicos realizaron el acceso mediante las credenciales de administrador para la prueba.

- Pregunta 4: Registro de datos y satisfacción para el médico



De los encuestados se pudo saber que el registro de datos de los signos vitales de los pacientes se dio de manera adecuada y que su ingreso y consulta satisfacen sus necesidades como médicos tratantes.

- Pregunta 5: Eficiencia en la aplicación del tratamiento



De acuerdo con los datos obtenidos se observa que el prototipo fue de ayuda en el control de los medicamentos administrados a los pacientes. La puntualidad juega un papel importante por lo que llevar registro de estos datos se vuelve muy útil, cumpliendo así los objetivos planteados.

6. Conclusiones

Se detalla a continuación las conclusiones de este trabajo de investigación en base a los objetivos planteados al inicio de la investigación.

- Se cumple el diseñar de un sistema de control y manejo telemático para personas con la enfermedad de diabetes con hardware embebido como e-Health, Arduino y Raspberry Pi 3 que interactúan mediante aplicaciones móviles y aplicación en web local del prototipo, se ensambla en una caja plástica y mediante una pantalla HDMI se puede tener control local del dispositivo, así como el ingreso de datos de manera automática y manual.
- Se logró observar y almacenar ondas de electrocardiograma, variables de pulso y oxígeno, y datos de glucosa confiables, confirmando que los sensores elegidos eran adecuados para el desarrollo del proyecto.
- La conexión en línea que permitía el prototipo garantiza el distanciamiento interpersonal, lo cual es beneficioso en el contexto de una pandemia. El médico no necesitó tocar al paciente para registrar la información necesaria para su diagnóstico, preservando así normas de bioseguridad tanto del profesional como del paciente.
- Android Studio es una herramienta útil para la implementación de aplicaciones que nos permitan manejar dispositivos electrónicos, Python se configura como el lenguaje ideal para fusionar todas las partes, y el IoT cumple un papel fundamental en todo el desarrollo de la propuesta. Con esto apreciamos de cerca que la tecnología IoT es aplicable no únicamente en hogares e industria, sino también a nivel profesional en varias ramas. Como estudiantes de electrónica debemos indagar en esta materia para el desarrollo de nuevos proyectos que no solamente nos beneficie en rédito económico sino también nos ayuden a mejorar como individuos y como sociedad.

7. Recomendaciones

Como recomendaciones principales al trabajo de investigación se detallan a continuación las siguientes:

- Al utilizar el prototipo se debe procurar medidas de aseo básicas, como lavarse las manos con agua y jabón, secárselas bien para que las gotas de agua o posible humedad no interfiera con la medida del pulsioxímetro. Para el medidor de azúcar, desinfectar el dedo con alcohol antes de utilizar la lanceta.
- El pulsioxímetro demora unos segundos en tomar la medida, se debe evitar presionar el botón de medir en el prototipo antes que el sensor registre datos válidos, para que la medición sea la confiable. Es recomendable utilizar un dedo diferente al pulgar, ya que este tiene un pulso adicional que puede llevar a registrar información alterada
- Por higiene es recomendable el uso de electrodos desechables, de manera que se utilice un grupo de electrodos al día. Se deben pegar preferiblemente sobre la piel seca.
- Se puede instalar y probar el prototipo en un centro de salud rural que tenga servicio de internet, para el adecuado uso en telemedicina.
- Se debe realizar pruebas con mas pacientes para validar el funcionamiento correcto del prototipo, con mas datos se puede afinar mejor los resultados del prototipo.
- Para futuros desarrollos de prototipos de telemedicina se puede implementar más sensores y el e-Health actualizado ya que la que se usó en esta investigación ya está descontinuada su producción.
- Se recomienda realizar mas desarrollos de este tipo de prototipos incluyendo el almacenamiento en la web.
- Se puede usar AWS (Amazon Web Services) para el tratamiento, monitorización y reportería de los datos obtenidos por los sensores del prototipo de telemedicina.
- Se recomienda que el prototipo sea utilizado para prácticas con estudiantes de la carrera de telecomunicaciones y la futura carrera de biomedicina de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Referencias bibliográficas

- Alberto, J., Reyes, O., & Plancarte, A. A. (n.d.). *BASES MOLECULARES DE LAS ACCIONES DE LA INSULINA**.
- Andrés Valencia Zambrano, W. (2018). *Diseño de prototipo doctor Pi para la medición y monitorización de signos vitales en adultos mayores utilizando sensores biométricos y médicos acoplados a raspberry Pi*. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15570>
- Android. (2019). Android. Retrieved from <https://www.android.com/>
- Arduino. (n.d.). Arduino. Retrieved from 2019 website: <https://www.arduino.cc/>
- Arduino. (2019a). Arduino. Retrieved from <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Arduino. (2019b). Bluetooth Arduino. Retrieved from <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/bluetooth-hc-06-app-arduino/>
- Arias, F. G. (2012). *El ProyEcto dE InvEstIgaclón Introducción a la metodología científica* (sexta; Episteme, Ed.). <https://doi.org/980-07-8529-9>
- ATA. (2019). www.americantelemed.org/. Retrieved from <https://www.americantelemed.org/>
- Bird KT. (1975). *Telemedicine; concept and practice*.
- Cooking-hacks.com. (2019). Cooking. Retrieved from <https://www.cooking-hacks.com>
- Dávila, J. F. H., & Viera, R. H. (2007). He Intestinal Polyps as a cause intestinal obstruction. Presentation of case. *Revista Habanera de Ciencias Medicas*, 6(2).
- e-Health v2. (2019). e-Health. Retrieved from <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/ehealth-biometric-sensor-platform-arduino-raspberry-pi-medical>
- El comercio. (2018). La diabetes afecta a un 7,8% de la población en el Ecuador. Retrieved from <https://www.elcomercio.com/actualidad/diabetes-poblacion-ecuador-glucosa-sangre.html>
- El Telégrafo. (2019). IESS implementa plan piloto de telemedicina. Retrieved from <https://www.eltelgrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/iess-plan-piloto-telemedicina-ecuador>
- elmedicointeractivo.com. (2018). [elmedicointeractivo.com](http://elmedicointeractivo.com/la-telemedicina-es-util-para-el-intercambio-de-informacion-del-paciente-diabetico/). Retrieved from <http://elmedicointeractivo.com/la-telemedicina-es-util-para-el-intercambio-de-informacion-del-paciente-diabetico/>
- ENSANUT. (2014). ENSANUT. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/ENSANUT/MSP_ENSANUT-ECU_06-10-2014.pdf
- Getafe, E. los problemas de la D.-, & de, A. de D. (n.d.). *Guía para personas con Diabetes tipo 1 y 2 (segunda parte)*.
- Magpi.raspberrypi.org. (2019). Raspberry PI Descripción. Retrieved from <https://magpi.raspberrypi.org/articles/raspberry-pi-3-specs-benchmarks>
- MySQL. (2019). MySQL. Retrieved from <https://www.mysql.com/>
- NodeJS. (2019). NodeJS. Retrieved from <https://nodejs.org/es/>
- Nymo Birger. (1994). Telemedicine. *Tlelektronikk Special Edition*.
- OMS. (2016). OMS | Informe mundial sobre la diabetes. WHO.
- Ouali, A., Poon, K. F., Lee, B. S., & Romaiti, K. Al. (2016). Towards achieving practical GPON FTTH designs. *2015 IEEE 20th International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks, CAMAD 2015*. <https://doi.org/10.1109/CAMAD.2015.7390490>
- Plan V. (2019). El sistema de salud en el Ecuador es una fábrica de enfermos. Retrieved from <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/el-sistema-salud-el-ecuador-una-fabrica-enfermos>
- Polaridad.es. (2019). polaridad.es. Retrieved from <https://polaridad.es/max30100-sensor-latido-corazon-oximetro-pulso-i2c-wearable-salud/>

- PúblicaFM. (2018). La diabetes se mantiene como la segunda causa de muerte en Ecuador. Retrieved from <https://www.publicafm.ec/noticias/actualidad/1/diabetes-segunda-causa-muerte-ecuador>
- Python. (2019). Python. Retrieved from <https://www.python.org/>
- RaspberryPi. (2019). Raspberry Pi. Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/>
- Rodríguez Moguel, E. (2005). *Metodología de la Investigación*.
- Semergen, J. M.-, & 2001, undefined. (n.d.). *Complicaciones de la diabetes mellitus. Diagnóstico y tratamiento*.
- Tintín Durán, E. I. (2015). *Diseño y elaboración de un prototipo de monitor de signos vitales aplicando métodos no invasivos con comunicación de datos a dispositivos móviles*. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7982>
- Valdés Menéndez, R. (2009). Convención y Feria Informática 2009. *Convención y Feria Informática 2009*. Retrieved from <http://www.informaticahabana.cu>
- VueJS. (2019). VueJS. Retrieved from <https://es-vuejs.github.io/vuejs.org/v2/guide/>
- www.mdsaude.com. (2019). 10 SÍNTOMAS DE DIABETES – PRIMEROS SIGNOS DE ADVERTENCIA. Retrieved from <https://www.mdsaude.com/es/endocrinologia-es/sintomas-de-la-diabetes/>
- www.paho.org. (2019). paho.org. Retrieved from https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=1400:la-diabetes-un-problema-prioritario-de-salud-publica-en-el-ecuador-y-la-region-de-las-americas&Itemid=360

8. Anexo

8.1. Encuestas

- Paciente I

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

ENCUESTA

En una escala del 1 al 3, donde 1 es muy en desacuerdo y 3 es muy de acuerdo, conteste las siguientes preguntas marcando el número de su respuesta:

1. El prototipo de agenda fue de fácil uso para usted.	1	2	<u>3</u>
2. La aplicación móvil fue de fácil uso para usted.	1	2	<u>3</u>
3. La aplicación web fue de fácil uso para su médico.	1	2	<u>3</u>
4. Su médico estuvo satisfecho con el registro de datos en la agenda.	1	2	<u>3</u>
5. El uso de la agenda hizo más eficiente llevar a cabo su tratamiento.	1	2	<u>3</u>

ACTA DE CONSENTIMIENTO

Yo, PACIENTE I, acepto participar en el proyecto de tesis con tema DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON LA ENFERMEDAD DE DIABETES mediante el uso del prototipo de agenda durante cuatro días.



FIRMA DEL PACIENTE

Figura 8.1: Encuesta de paciente I

- Paciente II

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

ENCUESTA

En una escala del 1 al 3, donde 1 es muy en desacuerdo y 3 es muy de acuerdo, conteste las siguientes preguntas marcando el número de su respuesta:

- | | | | |
|---|---|----------|----------|
| 1. El prototipo de agenda fue de fácil uso para usted. | 1 | 2 | <u>3</u> |
| 2. La aplicación móvil fue de fácil uso para usted. | 1 | <u>2</u> | 3 |
| 3. La aplicación web fue de fácil uso para su médico. | 1 | 2 | <u>3</u> |
| 4. Su médico estuvo satisfecho con el registro de datos en la agenda. | 1 | 2 | <u>3</u> |
| 5. El uso de la agenda hizo más eficiente llevar a cabo su tratamiento. | 1 | 2 | <u>3</u> |

ACTA DE CONSENTIMIENTO

Yo, PACIENTE II, acepto participar en el proyecto de tesis con tema DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON LA ENFERMEDAD DE DIABETES mediante el uso del prototipo de agenda durante cuatro días.


FIRMA DEL PACIENTE

Figura 8.2: Encuesta de paciente II

- Paciente III

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

ENCUESTA

En una escala del 1 al 3, donde 1 es muy en desacuerdo y 3 es muy de acuerdo, conteste las siguientes preguntas marcando el número de su respuesta:

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1. El prototipo de agenda fue de fácil uso para usted. | 1 | 2 | 3 |
| 2. La aplicación móvil fue de fácil uso para usted. | 1 | 2 | 3 |
| 3. La aplicación web fue de fácil uso para su médico. | 1 | 2 | 3 |
| 4. Su médico estuvo satisfecho con el registro de datos en la agenda. | 1 | 2 | 3 |
| 5. El uso de la agenda hizo más eficiente llevar a cabo su tratamiento. | 1 | 2 | 3 |
-

ACTA DE CONSENTIMIENTO

Yo, PACIENTE III, acepto participar en el proyecto de tesis con tema DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON LA ENFERMEDAD DE DIABETES mediante el uso del prototipo de agenda durante cuatro días.



FIRMA DEL PACIENTE

Figura 8.3: Encuesta de paciente III

- Paciente IV

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

ENCUESTA

En una escala del 1 al 3, donde 1 es muy en desacuerdo y 3 es muy de acuerdo, conteste las siguientes preguntas marcando el número de su respuesta:

- | | | | |
|---|---|---|----------|
| 1. El prototipo de agenda fue de fácil uso para usted. | 1 | 2 | <u>3</u> |
| 2. La aplicación móvil fue de fácil uso para usted. | 1 | 2 | <u>3</u> |
| 3. La aplicación web fue de fácil uso para su médico. | 1 | 2 | <u>3</u> |
| 4. Su médico estuvo satisfecho con el registro de datos en la agenda. | 1 | 2 | <u>3</u> |
| 5. El uso de la agenda hizo más eficiente llevar a cabo su tratamiento. | 1 | 2 | <u>3</u> |
-

ACTA DE CONSENTIMIENTO

Yo, PACIENTE IV, acepto participar en el proyecto de tesis con tema DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON LA ENFERMEDAD DE DIABETES mediante el uso del prototipo de agenda durante cuatro días.



FIRMA DEL PACIENTE

Figura 8.4: Encuesta de paciente IV

- Paciente V

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

ENCUESTA

En una escala del 1 al 3, donde 1 es muy en desacuerdo y 3 es muy de acuerdo, conteste las siguientes preguntas marcando el número de su respuesta:

1. El prototipo de agenda fue de fácil uso para usted.	1	<input checked="" type="radio"/> 2	3
2. La aplicación móvil fue de fácil uso para usted.	1	2	<input checked="" type="radio"/> 3
3. La aplicación web fue de fácil uso para su médico.	1	2	<input checked="" type="radio"/> 3
4. Su médico estuvo satisfecho con el registro de datos en la agenda.	1	2	<input checked="" type="radio"/> 3
5. El uso de la agenda hizo más eficiente llevar a cabo su tratamiento.	1	2	<input checked="" type="radio"/> 3

ACTA DE CONSENTIMIENTO

Yo, PACIENTE V, acepto participar en el proyecto de tesis con tema DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MANEJO TELEMÁTICO PARA PERSONAS CON LA ENFERMEDAD DE DIABETES mediante el uso del prototipo de agenda durante cuatro días.



FIRMA DEL PACIENTE

Figura 8.5: Encuesta de paciente V

8.2. Diagrama de conexiones

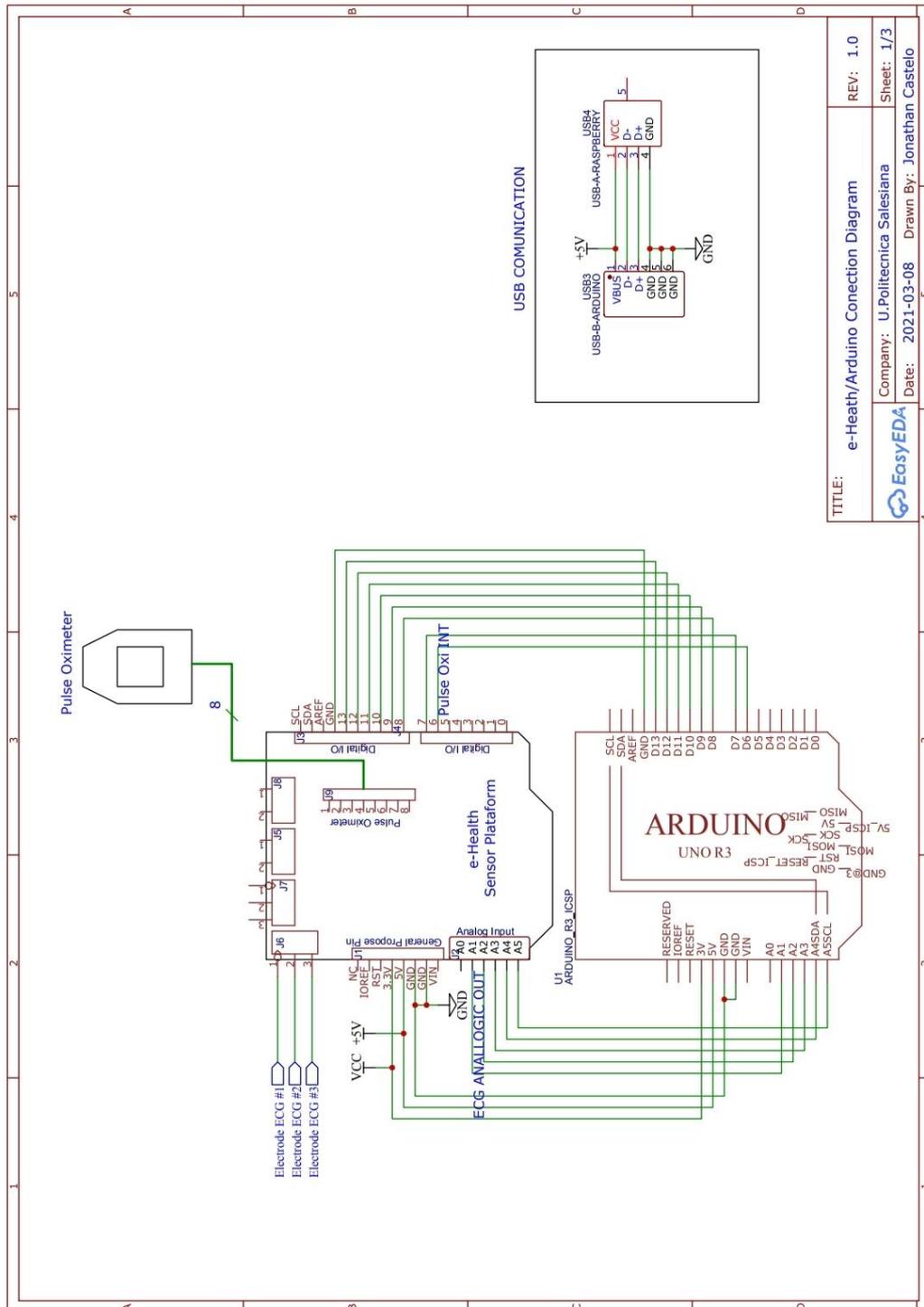
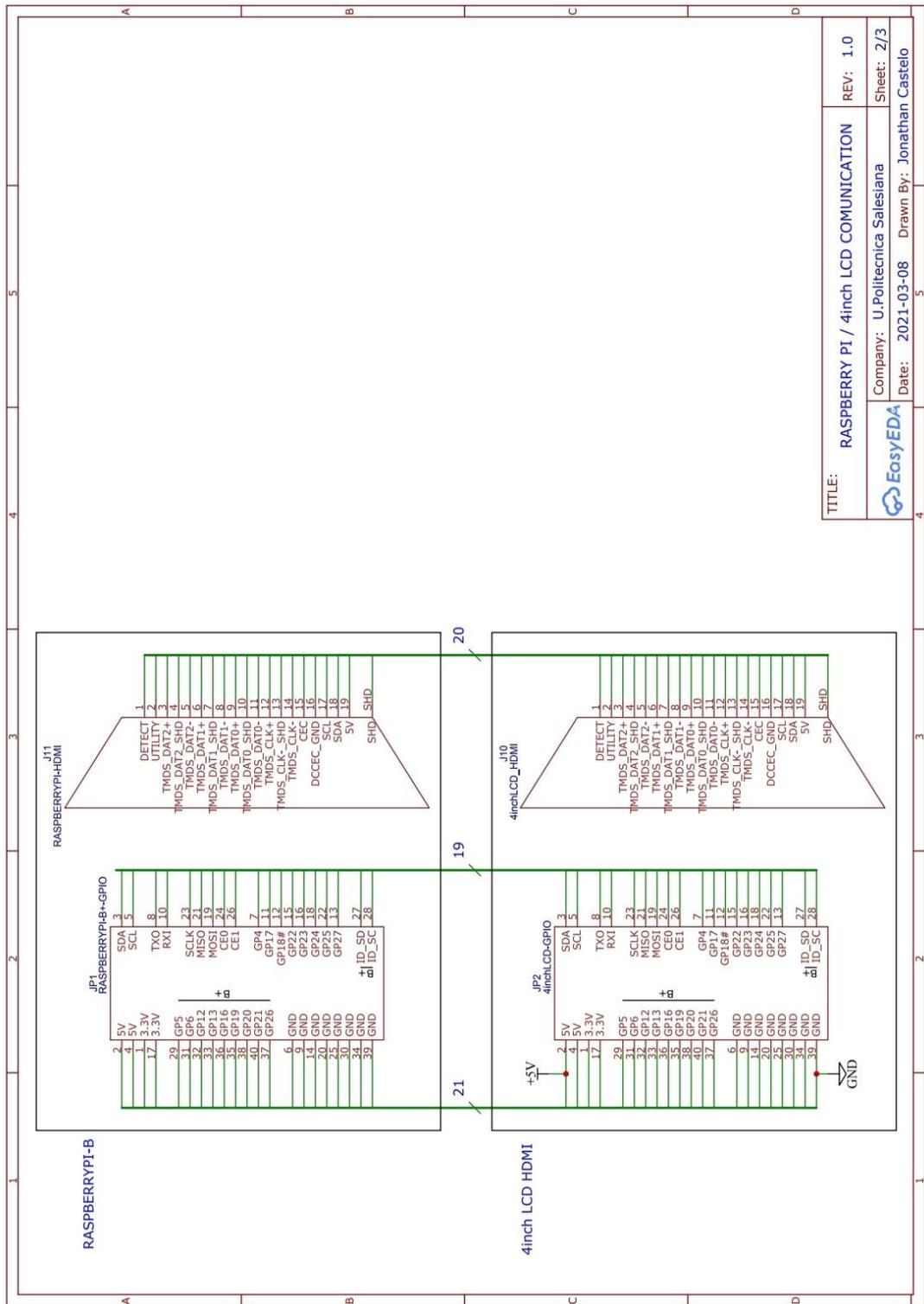
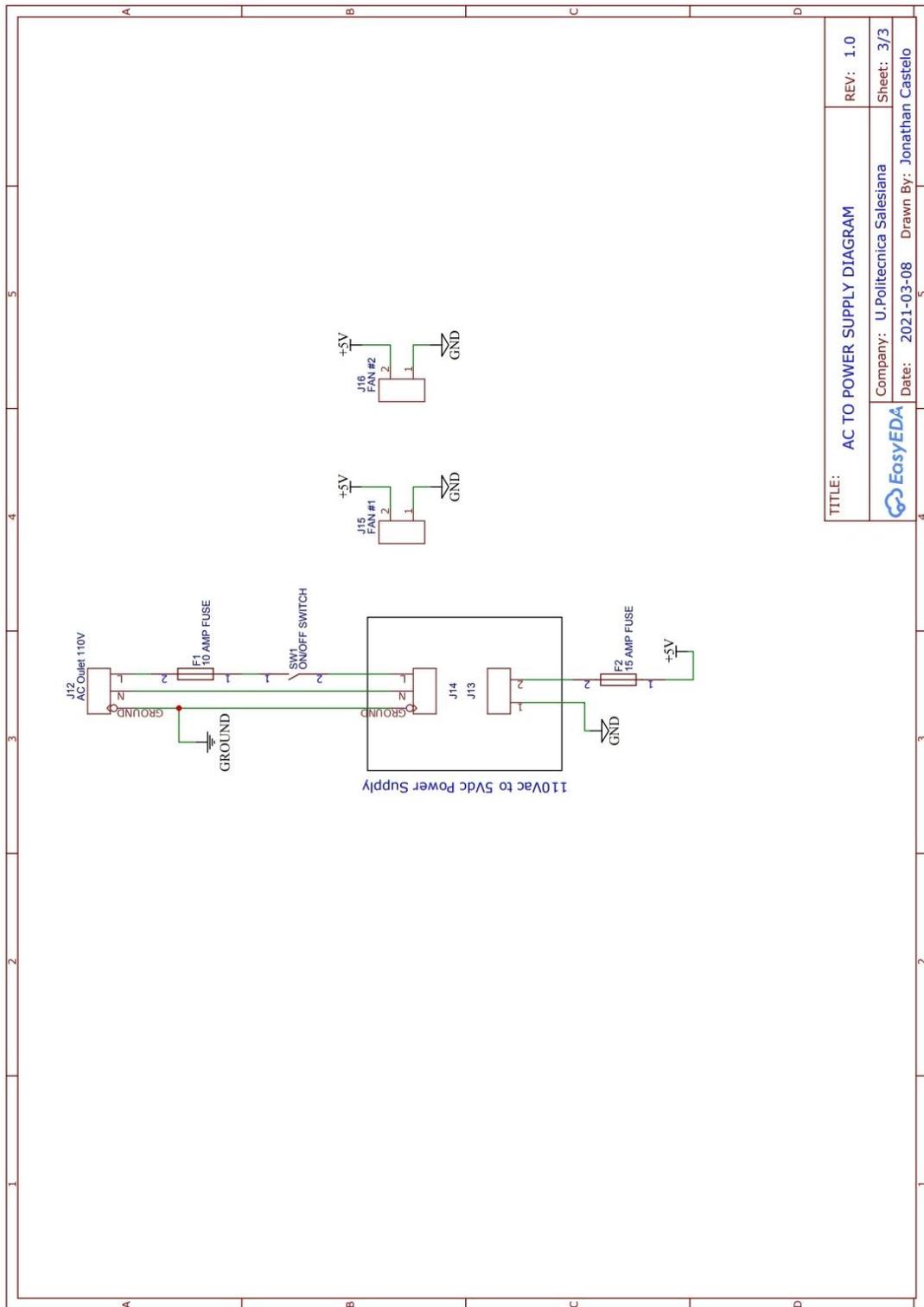


Figura 8.6: Diagrama de conexiones e-Health - Arduino



TITLE: RASPBERRY PI / 4inch LCD COMUNICACION	REV: 1.0
Company: U.Politecnica Salesiana	Sheet: 2/3
Date: 2021-03-08	Drawn By: Jonathan Castelo

Figura 8.7: Diagrama de conexiones, LCD Raspberry Pi



TITLE: AC TO POWER SUPPLY DIAGRAM	REV: 1.0
Company: U.Politecnica Salesiana	Sheet: 3/3
Date: 2021-03-08	Drawn By: Jonathan Castelo

Figura 8.8: Diagrama de conexiones, alimentación

8.3. Glucosa

La glucosa es medida con el estomago en ayunas, después de 6 a 8 horas de lo ultima comida, en el cuadro

Normalmente, la glucosa se mide con el estómago vacío, después de seis a ocho horas de la última comida. Un ejemplo muy conocido es la prueba del nivel de azúcar en la sangre en ayunas. El siguiente cuadro se basa en las mediciones promedio de azúcar en la sangre de un adulto sano. Las mediciones son tomadas antes del desayuno.

Tabla 8.1: Mínimos y máximos de glucosa en ayunas

Categoría	Valor mínimo	Valor máximo
Normal	70 mg / dL	100 mg / dl
Diabetes Pre	101 mg / dl	126 mg / dl
Diabetes Establecida	más de 126 mg / dl	-

Fuente: (DiabetesSalud, 2017)

La siguiente tabla es quí hay otra tabla que muestra los niveles promedio de azúcar en la sangre de un adulto saludable. 2 horas después de una comida.

Tabla 8.2: Máximos y mínimos de glucosa después del desayuno

Categoría	Valor mínimo	Valor máximo
Normal	70 mg / dL	menos de 140 mg / dl
Diabetes Pre	141 mg / dl	200 mg / dl
Diabetes Establecida	más de 200 mg / dl	

Fuente: (DiabetesSalud, 2017)

8.4. Frecuencia cardiaca

Estudios han demostrado que la frecuencia cardiaca disminuye conforme la edad de una persona avanza. En reposo una persona mayor a diez debería tener una frecuencia cardiaca de entre 60 y 100 pulsaciones por minuto (BPM). Atletas y personas que reciben entrenamiento físico de alto esfuerzo tienden a tener una frecuencia más baja, aproximadamente desde los 40 BPM. En la tabla 8.3 describimos la frecuencia cardiaca en relación con la edad del paciente:

Tabla 8.3: Frecuencia cardiaca normal de acuerdo con la edad

Edad	Frecuencia cardíaca normal
Menores a 1 mes	70 a 190 BPM
Entre 1 y 11 meses	80 a 160 BPM
Entre 1 y 2 años	80 a 130 BPM
Entre 3 y 4 años	80 a 120 BPM
Entre 5 y 6 años	75 a 115 BPM
Entre 7 y 9 años	70 a 110 BPM
Mayores a 10 años	60 a 100 BPM

(empendium, 2020)

Hay un sinnúmero de factores que pueden alterar la frecuencia cardiaca, entre las que podemos mencionar la actividad física, la temperatura corporal, emociones fuertes y cambios bruscos de posición, sin embargo, no tendría que salirse de los valores normales citados anteriormente.

Oxigenación

Se considera que el porcentaje adecuado y saludable de oxígeno en sangre es de entre el 95% y el 100%. Por eso, cuando la saturación se encuentra por debajo del 90% se produce **hipoxemia**, es decir, el nivel por debajo de los normal de oxígeno en sangre. Y uno de sus síntomas característicos es la dificultad para respirar. Además, cuando se da un porcentaje inferior a 80 se considera hipoxemia severa.

8.5. Validación médica:

Guayaquil, 9 de marzo de 2021

A quien corresponda

Por medio de la presente yo, Rafael Martínez Mori, MD con C.C. #0921599205, certifico que recibí una muy satisfactoria demostración del dispositivo sujeto a trabajo de titulación.

El dispositivo provee soluciones digitales para llevar pulso, oximetría, agenda, comidas, todo desde un explorador web. Vale la pena recalcar que, mediante desarrollos adicionales, se podría incluso proporcionar información referente a electrocardiograma y glucometría.

Si bien la sensibilidad, especificidad y demás especificaciones tendrían que ser verificados por los respectivos procesos de calidad, en lo privado este dispositivo podría resultar una llamativa herramienta para la visualización de datos médicos en una plataforma amigable al usuario. Se revisó parámetros correctos en cuanto a pulso cardiaco con rangos de 60 a 100. En la Oximetría se consideran valores nominales de 85 a 100, si es menor a eso, se debería descartar Hipoxia. La opción del ECG permite observar un gráfico, mas por resolución de muestreo no puede ser usada para un diagnóstico.

La propuesta de que el equipo sea para manejo remoto (Wifi) es una propuesta interesante para no afectar al médico que haga seguimiento del paciente por la situación actual del Covid.

Con esto brindo mi recomendación y doy fe del potencial del dispositivo médico prototipo desarrollado para este trabajo de titulación.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rafael Martínez Mori', written over a horizontal line.

Rafael Martínez Mori M.D.
Médico
Director Capacitaciones en Salud M&M

Figura 8.9: Validación médica