



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional De Loja

## Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

### Naturales No Renovables

#### Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones

**Diseño y construcción de un dispositivo biosensor portátil de bajo costo usando tecnología IoT para la monitorización remota de signos vitales enfocado a pacientes que padecen enfermedades crónicas**

**Trabajo de Integración Curricular,  
previo a la obtención del título de  
Ingeniero en Telecomunicaciones.**

#### **AUTOR:**

Kleyner Antonio Rivilla Armijos

#### **DIRECTOR:**

Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta. Mg. Sc.

**Loja – Ecuador**

**2024**

## Certificación

Loja, 17 de diciembre del 2024.

Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta. Mg. Sc  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y construcción de un dispositivo biosensor portátil de bajo costo usando tecnología IoT para la monitorización remota de signos vitales enfocado a pacientes que padecen enfermedades crónicas**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, de autoría del estudiante **Kleyner Antonio Rivilla Armijos**, con **cédula de identidad Nro. 1105232928**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizó la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta. Mg. Sc  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Kleyner Antonio Rivilla Armijos**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**  .....

**Cédula de identidad:** 1105232928

**Fecha:** 17 de diciembre del 2024

**Correo electrónico:** [kleyner.rivilla@unl.edu.ec](mailto:kleyner.rivilla@unl.edu.ec)

**Teléfono:** +593 98 545 2065

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica de texto completo del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Kleyner Antonio Rivilla Armijos**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño y construcción de un dispositivo biosensor portátil de bajo costo usando tecnología IoT para la monitorización remota de signos vitales enfocado a pacientes que padecen enfermedades crónicas**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de diciembre de dos mil veinticuatro.

**Firma:**  .....

**Autor:** Kleyner Antonio Rivilla Armijos

**Cédula:** 1105232928

**Dirección:** Santa Rufina-Chaguarpamba-Loja-Ecuador

**Correo electrónico:** [kleyner.rivilla@unl.edu.ec](mailto:kleyner.rivilla@unl.edu.ec)

**Teléfono:** +593 98 545 2065

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de trabajo de integración curricular:** Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta. Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

*A Dios*, por darme la oportunidad de vivir y por estar siempre conmigo en cada etapa de esta carrera universitaria, por haberme dado la sabiduría y firmeza necesaria para afrontar todas las dificultades que se me han presentado.

*A mis padres*, Dianita Armijos y Fabricio Rivilla, por ser los pilares fundamentales en toda mi vida y por haberme inculcado valores del esfuerzo, dedicación y perseverancia. Gracias a su esfuerzo y sacrificio me dieron la posibilidad de afrontar todos los desafíos presentados a lo largo de mi vida y las metas que me he propuesto.

*A mi familia*, abuelos, tíos y primos, por estar siempre conmigo y brindarme su apoyo durante todo este proceso. Sus consejos fueron de gran ayuda para mi vida.

*A mis compañeros y amigos*, por estar siempre presentes, por brindarme su apoyo en toda mi carrera universitaria y por haberme permitido vivir momentos inolvidables, superando las etapas difíciles y compartiendo momentos de alegría y felicidad.

Finalmente, a la planta docente de la carrera de Telecomunicaciones, gracias por su tiempo, apoyo y sabiduría que me han transmitido durante mi formación académica. Han enriquecido mis conocimientos y dejado una huella imborrable que me guiará en mi crecimiento como profesional.

***Kleyner Antonio Rivilla Armijos***

## **Agradecimiento**

Agradecer a Dios, por ser una fuente inagotable de fortaleza, gracias a eso he podido afrontar todas las dificultades que se me han presentado a lo largo de mi carrera universitaria. Su presencia siempre me ha brindado un sentimiento de esperanza en todos los momentos de mi vida.

A mis padres, por estar siempre conmigo apoyándome en todos los momentos de mi vida, gracias a ellos he podido afrontar todas las metas que me he propuesto, todo lo bueno que me define como persona es gracias a ellos. Su aliento y confianza fueron fundamentales para mantenerme enfocado y perseverante en mi camino hacia la culminación de mis estudios académicos.

También, agradecer a mi familia, especialmente a mis abuelos, gracias a sus consejos y su apoyo inquebrantable me ha permitido superar muchas dificultades a lo largo de mi vida. Gracias por enseñarme a que no me debo rendir fácilmente y a enfrentar los problemas para superarlos.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi tutor el Ing. Franklin Jiménez, quién fue mi guía en toda la realización de este proyecto de titulación. Gracias a sus consejos, sugerencias y su apoyo pude superar todos los conflictos presentados a lo largo del proyecto. Su dedicación y sabiduría fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

A mis amigos, por el soporte que me brindaron en toda la carrera, todas las conversaciones, proyectos y trabajos en equipo, me permitieron adquirir nuevos conocimientos y habilidades. Todos esos momentos de compañerismo serán inolvidables.

Finalmente, quiero agradecer a la carrera de Telecomunicaciones por brindarme la oportunidad de aprender nuevas cosas, crecer como persona y desarrollarme académicamente. A toda la planta docente, por impartirme todos sus conocimientos sobre las Telecomunicaciones, gracias por compartir todas esas bases que me servirán para formarme como profesional.

*Kleyner Antonio Rivilla Armijos*

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de Contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de Tablas: .....	x
Índice de Figuras: .....	xi
Índice de Anexos:.....	xiv
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1 Antecedentes investigativos.....	6
4.2 Enfermedades crónicas .....	7
4.2.1. Hipertensión.....	8
4.2.2. Enfermedades cerebrovasculares.....	9
4.2.3. Insuficiencia cardíaca .....	9
4.2.4. ASMA.....	10
4.2.5. EPOC .....	11
4.3 Aparatos médicos convencionales.....	12
4.4 Tecnologías inalámbricas .....	13
4.4.1. Redes de sensores inalámbricos.....	13
4.4.2. Topologías .....	14
4.4.3. Arquitectura de referencia para IoT.....	15

4.4.4.	Tecnología inalámbrica 802.11 – Wi-Fi.....	17
4.4.5.	Variantes de 802.11 – Wi-Fi.....	18
4.4.6.	Seguridad de 802.11 – Wi-Fi.....	19
4.5	Compones de hardware .....	20
4.5.1.	Microcontrolador ESP32 .....	20
4.5.2.	Sensor AD8232.....	22
4.5.3.	Sensor MAX30102 .....	24
4.5.4.	Sensor de temperatura LM35.....	25
4.5.5.	Sensor DHT11 .....	26
4.6	Plataformas IoT .....	27
4.6.1.	Firebase.....	27
4.6.2.	Realtime Database .....	27
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>29</b>
5.1	Diseño.....	31
5.1.1.	Microcontrolador .....	31
5.1.2.	Sensor electrocardiograma.....	32
5.1.3.	Sensor de oximetría y frecuencia cardíaca .....	33
5.1.4.	Sensor de temperatura.....	35
5.1.5.	Sensor de humedad.....	36
5.1.6.	Fuente de alimentación.....	37
5.1.7.	Módulo de carga .....	38
5.1.8.	Diseño de caja en 3D.....	40
5.1.9.	Conexiones de hardware.....	40
5.1.10.	Plataforma IoT .....	41
5.2	Funcionamiento lógico del dispositivo de monitoreo.....	42
5.3	Arquitectura IoT del dispositivo.....	44
5.4	Integración del hardware y software del dispositivo .....	45

5.5	Creación del proyecto en Firebase.....	45
5.5.1.	Configuración de Realtime Database .....	45
5.5.2.	Configuración de Autenticación .....	47
5.5.3.	Identificadores para la programación .....	49
5.5.4.	Herramienta de Firebase Hosting .....	50
5.5.5.	Integración con la página web .....	51
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>59</b>
6.1	Resultados obtenidos de la investigación de información .....	59
6.2	Resultados del diseño del circuito impreso .....	60
6.3	Resultados de la construcción del dispositivo .....	61
6.4	Comunicación entre el dispositivo y la plataforma IoT.....	62
6.5	Historial clínico y envío de alertas .....	66
6.6	Pruebas preliminares del dispositivo .....	68
6.7	Resultados finales de la validación de los datos de SpO2.....	69
6.8	Resultados finales de la validación de los datos de Frecuencia cardíaca .....	71
6.9	Resultados finales de la validación de los datos de Temperatura.....	72
6.10	Resultados del control de los signos vitales de un paciente.....	73
6.10.1.	Resultados y análisis de temperatura y humedad ambiente a personas con ASMA y/o EPOC .....	75
6.11	Resultados y análisis de señal ECG y PPG para pacientes cardíacos.....	77
6.12	Duración de la batería del dispositivo.....	79
6.13	Análisis de presupuesto económico del dispositivo.....	79
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>81</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>83</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>85</b>
<b>10.</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>86</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>92</b>

## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la presión arterial en adultos.....	9
<b>Tabla 2.</b> Niveles de SpO2, frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca.....	12
<b>Tabla 3.</b> Dispositivos disponibles en el mercado .....	13
<b>Tabla 4.</b> Estándares IEEE para la tecnología Wi-Fi.....	18
<b>Tabla 5.</b> Variables explicativas a revisar.....	29
<b>Tabla 6.</b> Microcontroladores con Wi-Fi.....	31
<b>Tabla 7.</b> Tipos de sensores electrocardiogramas .....	33
<b>Tabla 8.</b> Tipos de oxímetros de pulso.....	34
<b>Tabla 9.</b> Tipos de sensores de temperatura.....	35
<b>Tabla 10.</b> Clasificación de sensores de humedad y temperatura ambiente .....	36
<b>Tabla 11.</b> Especificaciones de la batería de litio .....	38
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones técnicas del módulo de carga.....	39
<b>Tabla 13.</b> Dimensiones de la caja en 3D .....	40
<b>Tabla 14.</b> Resultados de investigación de información.....	59
<b>Tabla 15.</b> Validación de datos de SpO2 del dispositivo.....	69
<b>Tabla 16.</b> Validación de datos de Frecuencia cardíaca del dispositivo .....	71
<b>Tabla 17.</b> Validación de datos de Temperatura del dispositivo .....	72
<b>Tabla 18.</b> Consumo de corriente de los sensores.....	79
<b>Tabla 19.</b> Presupuesto económico del dispositivo.....	79

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Esquema de topologías de estrella, malla y árbol sumidero .....	14
<b>Figura 2.</b> Arquitectura de referencia para IoT .....	15
<b>Figura 3.</b> Estructura de funcionamiento de la tecnología IoT .....	16
<b>Figura 4.</b> Estándares IEEE 802 .....	17
<b>Figura 5.</b> Modelo OSI y familia IEEE 802.11 .....	17
<b>Figura 6.</b> Características principales de Wi-Fi 7 .....	19
<b>Figura 7.</b> Microcontrolador ESP32 Genérico.....	20
<b>Figura 8.</b> Diagrama de bloques funcional del microcontrolador ESP32.....	21
<b>Figura 9.</b> Diagrama de pines del ESP32.....	22
<b>Figura 10.</b> Sensor AD8232 y sus pines de salida .....	22
<b>Figura 11.</b> Diagrama funcional del sensor AD8232.....	23
<b>Figura 12.</b> Clasificación de colocación de electrodos.....	23
<b>Figura 13.</b> Sensor MAX30102 .....	24
<b>Figura 14.</b> Toma de datos del sensor MAX3012 .....	25
<b>Figura 15.</b> Uso del sensor LM35.....	26
<b>Figura 16.</b> Sensor LM35 .....	26
<b>Figura 17.</b> Sensor DHT11 y sus pines de conexión .....	27
<b>Figura 18.</b> Área de estudio del dispositivo de monitoreo de pacientes.....	29
<b>Figura 19.</b> Configuración del sensor .....	36
<b>Figura 20.</b> Batería de litio 3.7V 800mAh.....	37
<b>Figura 21.</b> Módulo de carga 134N3P .....	39
<b>Figura 22.</b> Diseño de caja 3D en Tinkercad .....	40
<b>Figura 23.</b> Conexiones de los elementos de hardware .....	41
<b>Figura 24.</b> Datos del sensor AD8232 usando Ubidots .....	42
<b>Figura 25.</b> Datos del sensor AD8232 usando Firebase - Hosting .....	42

<b>Figura 26.</b> Diagrama de flujo del dispositivo de monitoreo.....	42
<b>Figura 27.</b> Arquitectura del dispositivo de monitoreo .....	45
<b>Figura 28.</b> Ingreso del nombre del proyecto .....	45
<b>Figura 29.</b> Crear base de datos Realtime Database .....	46
<b>Figura 30.</b> Ubicación de la base de datos .....	46
<b>Figura 31.</b> Reglas de la base de datos.....	46
<b>Figura 32.</b> Modificar reglas para mayor seguridad .....	47
<b>Figura 33.</b> Definir modo de acceso a la base de datos .....	48
<b>Figura 34.</b> Habilitar acceso para correo electrónico.....	48
<b>Figura 35.</b> Agregar cuenta autorizada .....	48
<b>Figura 36.</b> Clave de API web .....	49
<b>Figura 37.</b> URL de referencia.....	49
<b>Figura 38.</b> Integración de Hosting.....	50
<b>Figura 39.</b> Ingresar nombre de app web .....	50
<b>Figura 40.</b> SDK de Firebase para app web.....	51
<b>Figura 41.</b> Instalación de CLI Firebase .....	52
<b>Figura 42.</b> Autenticación de Firebase.....	52
<b>Figura 43.</b> Iniciar Firebase .....	53
<b>Figura 44.</b> Selección de funciones de Firebase .....	53
<b>Figura 45.</b> Selección de proyecto existente .....	54
<b>Figura 46.</b> Selección de proyecto creado .....	54
<b>Figura 47.</b> Aplicar reglas al proyecto.....	55
<b>Figura 48.</b> Selección de directorio público.....	55
<b>Figura 49.</b> Selección de página única del proyecto.....	56
<b>Figura 50.</b> Negar compilaciones en GitHub.....	56
<b>Figura 51.</b> Copilar desde la raíz del proyecto.....	57

<b>Figura 52.</b> Página web base.....	57
<b>Figura 53.</b> Ingreso de SDK en el script raíz .....	58
<b>Figura 54.</b> Diseño de PCB en software EasyEDA .....	61
<b>Figura 55.</b> Ensamblaje de los componentes .....	62
<b>Figura 56.</b> Visualización de datos en Firebase .....	62
<b>Figura 57.</b> Presentación de los datos en la interfaz web.....	63
<b>Figura 58.</b> Datos de temperatura corporal de un paciente.....	63
<b>Figura 59.</b> Datos de SpO2 de un paciente .....	64
<b>Figura 60.</b> Datos de Frecuencia cardíaca de un paciente .....	64
<b>Figura 61.</b> Datos de Humedad ambiente dónde se encuentra el paciente .....	65
<b>Figura 62.</b> Datos de Temperatura ambiente donde se encuentra el paciente .....	65
<b>Figura 63.</b> Datos de la señal PPG de un paciente.....	65
<b>Figura 64.</b> Datos de la señal ECG de un paciente .....	66
<b>Figura 65.</b> Historial clínico del paciente .....	67
<b>Figura 66.</b> Alerta de WhatsApp a contacto de confianza.....	68
<b>Figura 67.</b> Primeras pruebas de validación de datos .....	69
<b>Figura 68.</b> Paciente de pruebas de validación de datos.....	70
<b>Figura 69.</b> Datos de frecuencia cardíaca de un paciente .....	74
<b>Figura 70.</b> Datos de SpO2 de un paciente .....	74
<b>Figura 71.</b> Datos de Temperatura corporal de un paciente .....	75
<b>Figura 72.</b> Correlación de los signos vitales .....	75
<b>Figura 73.</b> Recolección de datos de señal ECG y PPG .....	77
<b>Figura 74.</b> Validación de la señal ECG del dispositivo.....	77
<b>Figura 75.</b> Validación de la señal PPG.....	78

## **Índice de Anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Manual de instalador.....	92
<b>Anexo 2.</b> Manual de usuario.....	120
<b>Anexo 3.</b> Preguntas de la encuesta realizada a los 10 pacientes voluntarios.....	131
<b>Anexo 4.</b> Pruebas del dispositivo con paciente realizando actividades cotidianas.....	136
<b>Anexo 5.</b> Especificaciones técnicas del microcontrolador ESP32.....	137
<b>Anexo 6.</b> Especificaciones técnicas del sensor AD8232.....	139
<b>Anexo 7.</b> Especificaciones técnicas del sensor MAX30102.....	140
<b>Anexo 8.</b> Especificaciones técnicas del sensor LM35.....	141
<b>Anexo 9.</b> Especificaciones técnicas del sensor DHT11.....	143
<b>Anexo 10.</b> Certificado de traducción del resumen.....	144

## **1. Título**

Diseño y construcción de un dispositivo biosensor portátil de bajo costo usando tecnología IoT para la monitorización remota de signos vitales enfocado a pacientes que padecen enfermedades crónicas

## 2. Resumen

Este proyecto aborda el diseño y construcción de un dispositivo biosensor portátil de bajo costo que utiliza tecnología IoT para la monitorización remota de signos vitales en pacientes con enfermedades crónicas como las cardíacas y pulmonares. El objetivo es mejorar el seguimiento médico y la calidad de vida de estos pacientes mediante la implementación de un sistema que permita el monitoreo en tiempo real fuera del entorno hospitalario. El desarrollo del prototipo se realizó a través de cuatro etapas: investigación y análisis de información, diseño, implementación y pruebas del dispositivo, y evaluación de resultados. Los resultados demostraron la capacidad del dispositivo para detectar y transmitir los signos vitales de saturación de oxígeno (SpO<sub>2</sub>), frecuencia cardíaca, temperatura corporal, señales ECG y PPG por medio de los sensores MAX30102, AD8232 y LM35. Mediante la tecnología Wi-Fi se realizó la integración con plataformas IoT como Firebase, la cual facilitó la visualización y análisis de datos, así como el envío de alertas en tiempo real mediante WhatsApp. El análisis de los resultados mostró que el dispositivo es útil para el monitoreo continuo, dando un promedio de error bajo comparado con los dispositivos médicos convencionales.

*Palabras Clave: Enfermedades crónicas, Monitorización, IoT, Sensores, Wi-Fi, Signos vitales.*

## **Abstract**

This project involves designing and constructing a low-cost, portable biosensor device using IoT technology for the remote monitoring of vital signs in patients with chronic diseases, such as heart and lung conditions. The goal is to enhance medical follow-up and improve the quality of life for these patients by implementing a system that enables real-time monitoring outside of the hospital environment. The development of the prototype was conducted in four phases: research and information analysis, design, implementation, testing, and evaluation of the results. The findings demonstrated the device's ability to detect and transmit vital signs, including oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>), heart rate, body temperature, ECG, and PPG signals, using MAX30102, AD8232, and LM35 sensors. Wi-Fi technology was employed to integrate with IoT platforms such as Firebase, facilitating data visualization and analysis and sending real-time alerts via WhatsApp. The analysis indicated that the device is useful for continuous monitoring, with a low average error rate compared to conventional medical devices.

***Keywords:*** *Chronic diseases, monitoring, IoT, sensors, Wi-Fi, vital signs.*

### 3. Introducción

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han revolucionado distintas áreas de la vida cotidiana convirtiéndose en una gran herramienta para el desarrollo de los países. Se ha dado lugar a un nuevo paradigma conocido como Internet de las Cosas (IoT, del inglés, *Internet Of Things*) que permite la obtención eficiente de información remota usando menos recursos. Las tecnologías de comunicación inalámbricas como Wi-Fi<sup>1</sup>, SigFox<sup>2</sup>, ZigBee<sup>3</sup>, LoRaWAN<sup>4</sup> y Bluetooth Low Energy (BLE)<sup>5</sup> están revolucionando la forma en que se interactúa con el mundo físico, permitiendo la conexión de objetos cotidianos a Internet.

Basándose en la tecnología IoT se ha propuesto numerosos dispositivos inteligentes capaces de abordar desafíos presentes en la vida diaria de las personas y del mundo en general. Estos abarcan temas trascendentales para un futuro sostenible como las ciudades inteligentes, inteligencia artificial, agricultura inteligente, hogares inteligentes, entre otros. Sin embargo, uno de los campos más importantes que ha impactado el IoT es la salud, específicamente para el diagnóstico y tratamiento de pacientes de forma remota, siendo un aspecto clave a la hora de prestar los servicios de atención médica para mejorar la calidad de vida de las personas.

Basándose en el último reporte proporcionado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador (INEC) en el año 2022, entre las enfermedades crónicas no transmisibles, la enfermedad isquémica del corazón es la principal causa de muerte en hombres con 7 224 defunciones y mujeres con 5 778 dando un total de 13 002 defunciones correspondiente al 12,4 %, de la misma manera, la cardiopatía isquémica, diabetes mellitus, hipertensión, enfermedades cerebrovasculares y las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores se encuentran entre las diez primeras causas de muerte de todas las defunciones. (Pérez et al., 2022). Estos datos reflejan que la falta de un monitoreo adecuado y continuo contribuye a la tasa de mortalidad en el Ecuador. Por lo que, esta situación resalta la urgencia de mejorar la atención y monitoreo para los pacientes con enfermedades crónicas.

En Ecuador, la mayoría de los hospitales no tienen sistemas de monitoreo remoto para pacientes crónicos. Los médicos usan dispositivos convencionales como tensiómetros y

---

<sup>1</sup> WiFi Alliance. Wi-Fi. 2024. [Wi-Fi Alliance](#)

<sup>2</sup> SigFox. 2024. [Home - Sigfox 0G Technology](#)

<sup>3</sup> Connectivity Standards Alliance (CSA). Zigbee. 2024. [Zigbee | Complete IOT Solution - CSA-IOT](#)

<sup>4</sup> Lora Alliance. LoRaWAN. 2024. [LoRa Alliance - Homepage - LoRa Alliance® \(lora-alliance.org\)](#)

<sup>5</sup> Bluetooth Technology. BLE. 2024 [Bluetooth® Technology Website](#)

estetoscopios, que los pacientes no pueden usar constantemente en su vida diaria. Esto los obliga a visitar el hospital para ser evaluados, dificultando el seguimiento y la acción inmediata.

En respuesta a esta problemática, el sector comercial ofrece diversos dispositivos que permiten la monitorización en tiempo real de los signos vitales. No obstante, estos dispositivos son incompletos para medir todos los datos necesarios de las enfermedades que se están monitoreando y, además, presentan un costo considerablemente elevado. Esto es un desafío significativo, ya que dificulta el acceso a la tecnología para pacientes con recursos limitados.

Por ende, el presente proyecto de titulación expone una solución tecnológica mediante el uso de IoT para la monitorización remota de signos vitales enfocado a enfermedades crónicas. El dispositivo integra varios sensores para obtener parámetros vitales del paciente y transmitir los datos a una plataforma de visualización y análisis, facilitando la toma de decisiones críticas.

Este trabajo tiene como objetivo general: Diseñar y construir un dispositivo biosensor portátil e inalámbrico de bajo costo usando tecnología IoT para el monitoreo remoto y en tiempo real de signos vitales enfocado en pacientes que padecen enfermedades crónicas, con el fin de avanzar en la tecnología de salud digital y ofrecer una solución innovadora para mejorar la atención médica, de la misma forma sus objetivos específicos son:

- Investigar y analizar información relacionada con el monitoreo de enfermedades crónicas, tecnologías inalámbricas y componentes de hardware y software para el diseño del prototipo junto con las plataformas digitales de visualización y análisis de los datos.
- Construir el dispositivo biosensor, asegurando una comunicación fluida entre los sensores y la plataforma digital, logrando la visualización en tiempo real de los datos del paciente.
- Realizar pruebas de funcionamiento del dispositivo midiendo la factibilidad de las mediciones a través de análisis de ciencia de datos, así mismo, realizar pruebas en pacientes que padezcan enfermedades crónicas para verificar la funcionalidad del dispositivo.

Este trabajo aborda varios aspectos relevantes y se organiza de la siguiente manera: en la sección 4 se revisa y analiza información relevante para el desarrollo del mismo. En la sección 5 se detallan los materiales y métodos empleados en el proyecto. Posteriormente, en la sección 6 se exponen los resultados derivados de las pruebas de funcionamiento del dispositivo. Luego, en la sección 7 se discute el impacto generado por el proyecto. Por último, en la sección 8 se presentan las conclusiones del proyecto y se menciona posibles líneas de investigación futuras.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Antecedentes investigativos

Diversas investigaciones han abordado aspectos como la adquisición, supervisión y alertas sobre las señales vitales, así como los sistemas que controlan el almacenamiento de datos y la interfaz para el usuario. Para identificar antecedentes investigativos relevantes, se ha filtrado la búsqueda entre investigaciones realizadas desde el año 2022 hasta la actualidad, utilizando parámetros de búsqueda en protocolos IoT y sistemas de monitoreo de signos vitales basados en la nube.

En el estudio de Ruiz et al. (2022) realizaron una propuesta de un prototipo WSN el cual monitorea las variables fisiológicas tales como la frecuencia cardiaca y la saturación de oxígeno en la sangre solo a personas que tengan 65 años, el personal médico autorizado llevará un mejor manejo al momento de realizar un diagnóstico a pacientes de la tercera edad. Asimismo, identifican como necesidad la reducción del tamaño del prototipo en su fuente de alimentación con el fin de a su vez, reducir la invasión del procedimiento.

En el trabajo de Gómez Manuela (2022) se desarrolla un brazalete portátil de bajo costo para la detección de movimientos de la mano que permita ser utilizado en desarrollos orientados a personas con movilidad reducida. Además, se desarrolló una GUI que permitió de manera satisfactoria el registro y almacenamiento de las señales mediante la prueba de adquisición para todos los sujetos contemplados en el proyecto. Se menciona que para trabajos futuros es importante mejorar las conexiones físicas del sistema teniendo en cuenta que estas hicieron el diseño más robusto y pueden generar perturbaciones a la señal, finalmente recomienda agregar más sensores para una mejor adquisición de información.

En la publicación de Elioenay Pérez López & David Asiain Ansorena (2022) se crea un prototipo de dispositivo wearable que hace uso de tecnologías IoT para la transmisión de parámetros fisiológicos del cuerpo humano. Concretamente se hace uso de la tecnología LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), desarrollando un prototipo capaz de medir la temperatura corporal y transmitirla mediante la red LoRaWAN hasta visualizarla en la interfaz del cliente final. Para futuras mejoras del prototipo recomiendan tener en cuenta los modos de ahorro de energía más profundos que el modo Sleep, permitiendo así un aumento en la duración de la batería. Adicionalmente, se debe analizar la tecnología que se usa en este proyecto, ya que esta puede no ser la adecuada para el entorno en el que se implementará nuestro proyecto. Finalmente, se analizaría agregar más sensores de mediciones vitales de un paciente para que se pueda monitorear más enfermedades crónicas.

En el proyecto de Mata et al. (2023) se presenta un prototipo de monitorización remota de pacientes con la capacidad de recopilar datos objetivos y subjetivos en la nube a través del uso de Io-MT y Chatbot. La recopilación de datos se realizó por medio de cinco sensores biométricos diseñados para medir la temperatura, peso, presión arterial, oxígeno en sangre y glucosa de los pacientes. Los resultados del prototipo son positivos; no obstante, es importante señalar que el artículo propone la creación de varios dispositivos para medir los signos vitales de los pacientes. Esta situación podría mejorarse mediante el diseño de un solo dispositivo capaz de recopilar todas las variables y enviar la información a la plataforma web, esta unificación no solo mejoraría la eficiencia del monitoreo remoto, simplificando su implementación, sino que también optimizaría la obtención de datos al reducir costos asociados con la producción y mantenimiento de múltiples sensores.

Finalmente, en Viatomtech (2022) se presenta un dispositivo comercial que permite monitorear el pulso continuo y la saturación de oxígeno en la sangre. Este dispositivo se conecta a una aplicación para computadora a través de bluetooth y tiene una duración de batería de 72 horas. Sin embargo, su precio de \$229.99 presenta un desafío, ya que puede ser inaccesible para personas de bajos recursos. Además, la duración de la batería podría ser mejorada, ya que 72 horas puede resultar un periodo corto, lo que podría ser un inconveniente en su uso.

#### **4.2 Enfermedades crónicas**

Según Robledo Martinez & Escobar Díaz (2010), las enfermedades crónicas:

se definen como un proceso de evolución prolongada, que no se resuelven espontáneamente y rara vez alcanzan una cura completa, las cuales generan una gran carga social tanto desde el punto de vista económico como desde la perspectiva de dependencia social e incapacitación. Tiene una etiología múltiple y con un desarrollo poco predecible, presentan múltiples factores de riesgo, con algunas excepciones y su origen no es contagioso (p. 2).

Los principales problemas (enfermedades cardíacas, eventos cerebrovasculares, cáncer, diabetes y enfermedades respiratorias crónicas) son causados por factores de riesgo como hipertensión arterial, hiperglucemia, hiperlipidemia, sobrepeso/obesidad, etc., que a su vez son causados por hábitos alimentarios poco saludables. los resultados de salud. (Robledo Martinez & Escobar Díaz, 2010)

La investigación de Kullayappa et al. (2023), describe cuales deben ser los parámetros que se deben medir para poder hacer el seguimiento remoto de esas enfermedades. «Los

profesionales realizan la medición de parámetros de salud cruciales, como la temperatura, la frecuencia cardíaca, el pulso, la saturación de oxígeno y la presión arterial, para evaluar el estado de los pacientes con diferentes dispositivos» (p. 2). Esto corrobora las mediciones que se emplearán en el desarrollo del dispositivo biosensor.

#### **4.2.1. Hipertensión**

La OMS (Organización Mundial de la Salud), define a la hipertensión como:

una afección en la que los vasos sanguíneos tienen una presión elevada persistentemente. La sangre se transporta desde el corazón a todas las partes del cuerpo en los vasos. Cada vez que el corazón late, bombea sangre a los vasos. La presión arterial se crea por la fuerza de la sangre que empuja contra las paredes de los vasos sanguíneos (arterias) mientras es bombeada por el corazón. Cuanto mayor es la presión, más fuerte tiene que bombear el corazón. (OMS, 2019)

**Medición de la presión arterial.** – Según Leslie Thomas (2022), «la presión arterial se mide en milímetros de mercurio (mm Hg). En general, la hipertensión se corresponde con una lectura de la presión arterial de 130/80 milímetros de mercurio o superior»

En Bakris (2023) sugiere que, para obtener las lecturas más precisas:

los médicos siguen un protocolo específico al medir la presión arterial diferente del control casual. La presión arterial se mide después de que la persona haya permanecido sentada durante 5 minutos. La persona no debe haber practicado ejercicio, tomado cafeína o fumado durante al menos 30 minutos antes de la medición.

Por lo general, se necesitará un monitor de presión arterial (o esfigmomanómetro). El dispositivo consta de un manguito de goma blanda inflable conectado a una pelota de goma que se utiliza para inflar el manguito y un medidor que registra la tensión del manguito. Cuando utilice el tensiómetro, el paciente debe sentarse con las piernas sin cruzar y la espalda apoyada. Con uno de sus brazos al descubierto (si la camiseta o camiseta está enrollada, procura que no quede atrapado), dóblalo y colócalo sobre la mesa de manera que quede más o menos a la altura de su corazón y puños, luego colócalo en tu brazo. (Bakris, 2023)

En la **Tabla 1** se presenta la clasificación de los valores de presión arterial para el control de la hipertensión en pacientes adultos

**Tabla 1.**  
*Clasificación de la presión arterial en adultos*

<b>Clasificación</b>	<b>Presión arterial (mm Hg)</b>
<b>Presión arterial normal</b>	Menos de 120/80
<b>Presión arterial elevada</b>	120-129/menos de 80
<b>Hipertensión arterial en fase 1</b>	130–139 (presión arterial sistólica) o 80-89 (presión arterial diastólica)
<b>Hipertensión arterial en fase 2</b>	140 (presión arterial sistólica) o superior o 90 (presión arterial diastólica) o superior

Fuente: (Bakris, 2023).

#### **4.2.2. Enfermedades cerebrovasculares**

Según el Manual MSD escrito por Alexandrov & Krishnaiah (2023), los accidentes cerebrovasculares (ictus) ocurren cuando: «una arteria que va al cerebro se obstruye o se rompe, produciendo la muerte de un área del tejido cerebral provocada por la pérdida de irrigación sanguínea (infarto cerebral). Los síntomas se presentan de forma brusca»

**Tratamiento del accidente cerebrovascular.** – Según (Alexandrov & Krishnaiah, 2023), los factores que aumentan el riesgo de accidente cerebrovascular incluyen presión arterial alta, diabetes, enfermedades cardiovasculares, antecedentes personales o familiares de accidente cerebrovascular, ataque cardíaco o isquemia transitoria

Las medidas preventivas incluyen controlar la presión arterial alta, que es crucial para reducir el riesgo de accidente cerebrovascular, si se ha sufrido un derrame cerebral, reducir la presión arterial puede ayudar a prevenir un ataque isquémico transitorio o futuros derrames cerebrales. Los profesionales de la salud controlan los signos vitales como la frecuencia cardíaca, la respiración, la temperatura y la presión arterial para asegurarse de que estén dentro de los rangos normales, en caso contrario, toman medidas inmediatas para corregirlos. (Mayo Clinic, 2024)

#### **4.2.3. Insuficiencia cardíaca**

La información de Mayo Clinic (2023b), señala que la insuficiencia cardíaca se produce cuando: «el músculo cardíaco no bombea sangre de la manera que debería. Cuando esto sucede,

la sangre a menudo retrocede y el líquido se puede acumular en los pulmones, lo que causa falta de aliento»

La insuficiencia cardíaca puede ser una afección potencialmente mortal. Las personas con insuficiencia cardíaca pueden experimentar síntomas graves y algunas pueden necesitar un trasplante de corazón o un dispositivo que ayude al corazón a bombear sangre. (Mayo Clinic, 2023b)

**Factores de riesgo.** - Los factores de riesgo son similares a los de accidentes cerebrovasculares principalmente la presión arterial alta, la cual involucra directamente las arterias del corazón haciendo que este se esfuerce más de lo que debería. De la misma forma, intervienen factores como las válvulas cardíacas, latidos irregulares, obesidad e infecciones virales. Por lo tanto, una forma de prevenir la insuficiencia cardíaca es tratar y controlar las afecciones que pueden causarla. Entre estas afecciones se incluyen la enfermedad de las arterias coronarias, la presión arterial alta, la diabetes y la obesidad (Mayo Clinic, 2023b).

#### **4.2.4. ASMA**

La OMS (Organización Mundial de la Salud) define el ASMA como:

una enfermedad pulmonar relativamente frecuente que provoca dificultad respiratoria esporádica. A menudo comienza en la infancia, aunque también puede aparecer en adultos y afecta a personas de todas las edades. Actualmente no existe cura, pero el tratamiento puede ayudar a controlar los síntomas. (OMS, 2020)

- **¿Cómo pueden saber los médicos si tengo asma?**

Los médicos suelen sospechar de la presencia de asma basándose en los síntomas que presentas. Para confirmar el diagnóstico, realizan pruebas respiratorias, también conocidas como pruebas de funcionalidad pulmonar, que evalúan el funcionamiento de tus pulmones. Si los resultados indican la presencia de asma, los médicos investigarán las posibles causas, incluyendo la presencia de alergias y en situaciones de crisis aguda, los profesionales de la salud también pueden verificar los niveles de oxígeno en tu sangre y, en ocasiones, realizar una radiografía de tórax (Manuales MSD, 2023).

- **¿La temperatura del clima afecta a pacientes con ASMA?**

Las condiciones meteorológicas y los cambios climáticos pueden desencadenar síntomas asmáticos o crisis en algunas personas con asma. En ciertos casos, las variaciones

repentinamente de tormentas y el aire frío junto con el seco son un desencadenante común de crisis asmáticas, especialmente en aquellos con asma inducida por el ejercicio, como los deportistas de invierno. Por otro lado, el aire caliente y húmedo también puede desencadenar problemas, especialmente en áreas donde la combinación de calor, luz solar y contaminación genera ozono a nivel del suelo, un potente desencadenante del asma. Además, el humo de incendios forestales y las condiciones húmedas y ventosas pueden favorecer el crecimiento de moho y la dispersión de polen, empeorando los síntomas asmáticos en ciertas personas (Strang, 2023).

#### **4.2.5. EPOC**

Según Soriano et al. (2018), la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es:

una enfermedad heterogénea, común, prevenible y tratable que se caracteriza por síntomas respiratorios persistentes y limitación del flujo de aire que se deben a anomalías de las vías respiratorias y/o alveolares, generalmente causadas por una exposición significativa a partículas o gases nocivos.

**Oximetría.** - La medición del oxígeno en la sangre se realiza mediante la oximetría de pulso, un proceso que emplea un pequeño dispositivo conocido como oxímetro de pulso. Este método no requiere de la inserción de una aguja en el sujeto, ya que permite medir los niveles de oxígeno en la sangre de manera no invasiva. El porcentaje de oxígeno en la sangre medido mediante este procedimiento se denomina "nivel de saturación de oxígeno" (SpO<sub>2</sub>), el cual representa la cantidad de oxígeno transportada por la sangre en relación a su capacidad máxima (Cañas, 2023).

En individuos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), los niveles de oxígeno en sangre suelen ser bajos, especialmente en etapas avanzadas de la enfermedad, donde también se pueden presentar altos niveles de dióxido de carbono. Además de medir los niveles de oxígeno, los médicos pueden realizar otras pruebas, como electrocardiogramas (ECG) o ecocardiogramas, para evaluar la función cardíaca y descartar posibles problemas cardíacos que puedan estar causando dificultad para respirar (Wise Robert, 2023).

Así mismo, los médicos pueden llevar a cabo otras pruebas diagnósticas para detectar otros trastornos que puedan estar causando los síntomas, ya que existen diversas afecciones que pueden manifestarse con síntomas similares a los de la EPOC (Cañas, 2023).

**Hipoxemia.** – En el estudio de Mayo Clinic (2023a), la hipoxemia se refiere a niveles anormalmente bajos de oxígeno en la sangre arterial, y no constituye una enfermedad en sí misma, sino más bien un indicador de problemas respiratorios o circulatorios. Algunos de los síntomas que pueden presentarse incluyen falta de aire, respiración acelerada, latidos cardíacos fuertes o rápidos, y confusión. Un nivel normal de oxígeno en las arterias oscila entre 75 y 100 milímetros de mercurio (mm Hg), y se considera hipoxemia cuando los niveles descienden por debajo de 60 mm Hg. La medición de los niveles de oxígeno y dióxido de carbono, un gas de desecho, se realiza mediante una muestra de sangre extraída de una arteria, conocida como gasometría arterial.

En la práctica clínica, lo primero que se evalúa es la cantidad de oxígeno transportado por los glóbulos rojos, lo que se denomina saturación de oxígeno. Esta medición se lleva a cabo mediante un oxímetro de pulso, un dispositivo médico que se adhiere al dedo. Los valores normales de saturación de oxígeno suelen situarse entre el 95 % y el 100 %, y se consideran bajos los valores inferiores al 90 % (Mayo Clinic, 2023a).

En la **Tabla 2** se presenta los niveles de mediciones de SpO<sub>2</sub>, frecuencia de respiración y frecuencia cardíaca junto con una interpretación del estado del paciente.

**Tabla 2.**  
*Niveles de SpO<sub>2</sub>, frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca*

<b>Estadio</b>	<b>Grave</b>	<b>Moderado</b>	<b>Leve</b>
<i>Saturación</i>	92 % o menor	93% - 94%	95% o mayor
<i>Frecuencia respiratoria</i>	≥25 rpm	21 – 24 rpm	≤20 rpm
<i>Frecuencia cardíaca</i>	≥131 ppm	91 – 130 ppm	≤90 ppm

Fuente: (OPS, 2020).

### **4.3 Aparatos médicos convencionales**

En el mercado existen muchos fabricantes que ofrecen un dispositivo capaz de recopilar niveles de oxígeno en la sangre de un paciente y enviar los datos a una plataforma web y aplicación móvil, en la **Tabla 3** se presenta una comparativa de algunos de estos dispositivos.

**Tabla 3.**  
*Dispositivos disponibles en el mercado*

<b>Dispositivo</b>					
<b>Nombre</b>	Wrist Pulse Oximeter	Pulse Oximeter Fingertip	OxyU	Rechargeable Oximeter	Wellue O2
<b>Fabricante</b>	Viatomtech	Viatomtech	Viatomtech	Viatomtech	Viatomtech
<b>Precio</b>	\$229.99	\$79.99	\$179.99	\$127.50	\$179.99
<b>Tecnología</b>	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth
<b>Datos</b>	SpO2 y frecuencia de pulso	SpO2 y frecuencia de pulso	SpO2, frecuencia cardíaca y movimiento corporal	SpO2 y frecuencia cardíaca	SpO2 y frecuencia cardíaca
<b>Recopilación de datos</b>	1/2s	1/1s	1/4s	1/4s	1/4s
<b>Duración de batería</b>	72 horas	16 horas	12 – 16 horas	24 horas	16 horas
<b>Recargable</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>Alertas</b>	Vibración y zumbido	Pitido	Vibración y pitido	Zumbido	Vibración
<b>Ubicación</b>	Brazo	Dedo índice	Muñeca	Dedo índice	Dedo índice

Fuente: Elaborado por el autor.

#### 4.4 Tecnologías inalámbricas

##### 4.4.1. Redes de sensores inalámbricos

En el trabajo de Romero Amondaray et al. (2020), las redes de sensores inalámbricos (WSN, del inglés *Wireless Sensor Network*) son cada vez más populares, utilizadas en

aplicaciones que requieren monitoreo continuo de variables, donde el uso de sensores convencionales no es viable. Su popularidad se debe a los bajos costos de construcción y mantenimiento, así como a su flexibilidad y escalabilidad. Estas redes consisten en dispositivos con sensores que colaboran para realizar tareas específicas. Estos dispositivos, llamados nodos sensores o motes, son unidades que recopilan información de diversos tipos de sensores (mecánicos, térmicos, biológicos, químicos, ópticos, magnéticos), la procesan y la envían a un nodo central que la transmite a través de una pasarela conectada a Internet.

Los nodos sensores tienen capacidades limitadas, bajo consumo de energía, capacidad de procesamiento limitada, memoria para almacenar poca información y capacidad de comunicarse con otros nodos de manera inalámbrica. Estas características hacen que los nodos sensores sean más eficientes en comparación con dispositivos tradicionales (Romero Amondaray et al., 2020).

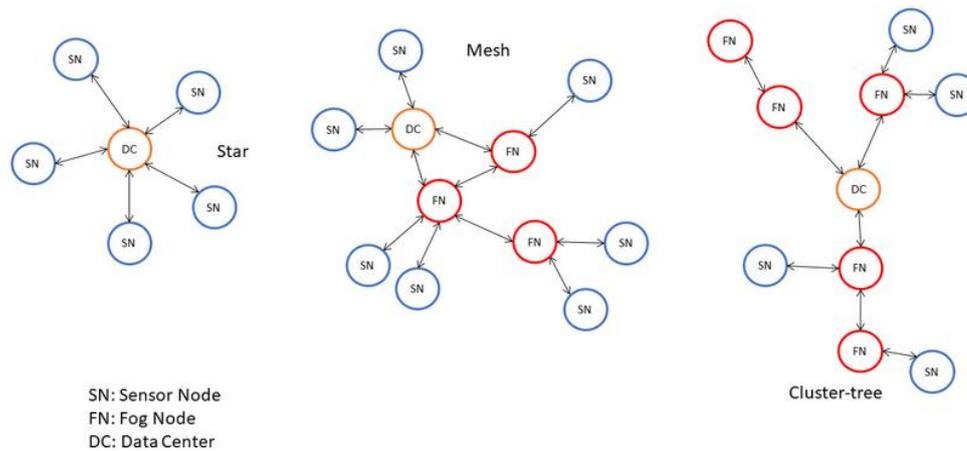
#### **4.4.2. Topologías**

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) implementadas suelen utilizar tres topologías de red comunes: punto a punto (también conocida como malla), estrella y árbol. En el artículo de Gutiérrez et al. (2013) realiza una descripción general de las topologías mencionando que, en la topología en estrella, los nodos de la red se conectan directamente a un nodo central, denominado sumidero. Debido a que los nodos se encuentran a solo un salto de distancia del sumidero, este puede recopilar datos redundantes provenientes de los diferentes sensores desplegados, el sumidero es entonces el encargado de procesar y analizar dicha información. A diferencia de la topología en estrella, las topologías de malla y árbol implican comunicaciones de múltiples saltos entre los nodos. En estos casos, la información debe pasar por varios nodos intermedios antes de llegar al sumidero central, esto permite una mayor cobertura y redundancia en la red, pero también conlleva una mayor complejidad en el enrutamiento y procesamiento de los datos.

La elección de la topología más adecuada dependerá de factores como el tamaño de la red, la distribución geográfica de los nodos, los requisitos de latencia y confiabilidad, entre otros aspectos clave del diseño de la WSN. En la **Figura 1** se puede observar las tres topologías mencionadas.

#### **Figura 1.**

*Esquema de topologías de estrella, malla y árbol sumidero*

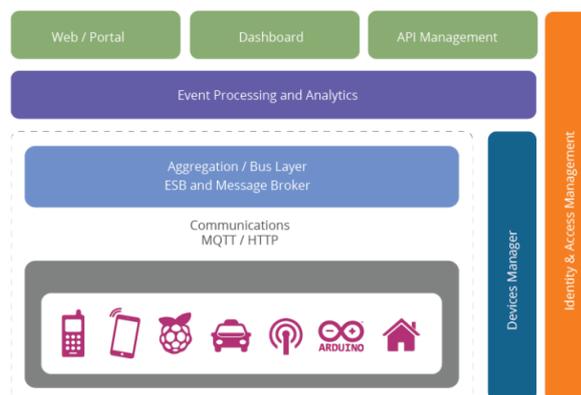


*Nota.* Las topologías están compuestas por los nodos sensores (SN), nodo de niebla (FN) y puerta de enlace (DC). Fuente: (Bertoli et al., 2021).

#### 4.4.3. Arquitectura de referencia para IoT

En el trabajo de Fremantle (2015), presenta una arquitectura de referencia, dónde se encuentran diversos componentes que conforman un conjunto integral. En la **Figura 2** se observa las capas que la conforman, las cuales pueden implementarse utilizando tecnologías específicas de acuerdo a las necesidades requeridas. Además, existen capas transversales o verticales, como la gestión de acceso e identidad, que desempeñan un papel crucial en la seguridad y la administración de los sistemas. Estas capas transversales abarcan aspectos fundamentales como la autenticación, autorización y control de acceso, garantizando la protección de la información y la gestión eficiente de los recursos en el entorno de la arquitectura de referencia.

**Figura 2.**  
*Arquitectura de referencia para IoT*



Fuente: (Fremantle, 2015).

Las capas que presenta Fremantle (2015) son:

- Comunicaciones cliente/externas: web/portal, panel de control, APIs

- Procesamiento y análisis de eventos (incluido el almacenamiento de datos)
- Capa de agregación/bus: ESB y agente de mensajes
- Transportes relevantes: MQTT/HTTP/XMPP/CoAP/AMQP, etc.
- Dispositivos

Las capas transversales son

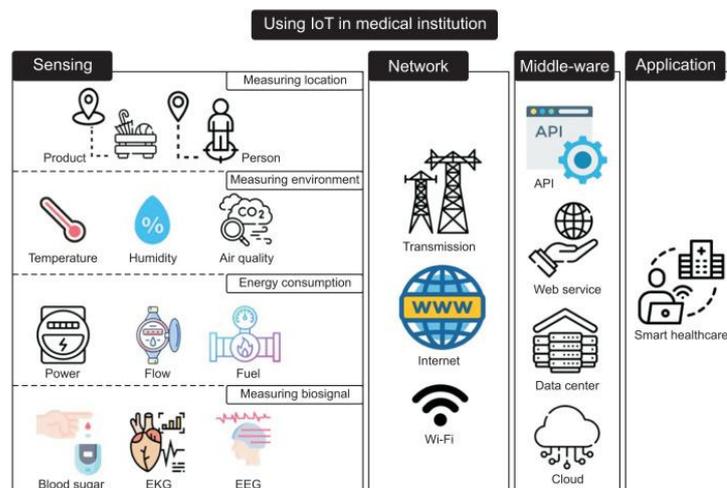
- Administrador de dispositivos
- Gestión de identidad y acceso.

Por consiguiente, si nos adentramos más a fondo en un modelo de estructura de tecnología IoT que haga referencia a su aplicación en temas de servicios de monitoreo de salud en pacientes, Kong et al. (2022) menciona que, «la tecnología IoT se clasifica en términos generales en cuatro capas: percepción, red, middle-ware y aplicación» (p.288).

En la **Figura 3** se observa una referencia al uso de Internet de las cosas (IoT) en instituciones médicas donde interactúan las cuatro capas de la arquitectura.

**Figura 3.**

*Estructura de funcionamiento de la tecnología IoT*



Fuente: (Kong et al., 2022).

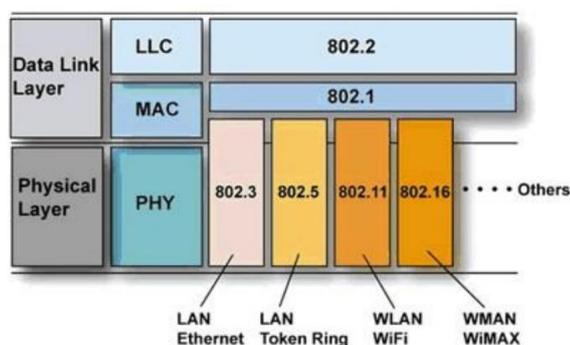
- **Capa de percepción (Sensing)**, se recolectan datos físicos/ambientales, como temperatura, humedad y luz, a través de diversos sensores, los cuales posteriormente son enviados a través de la red.
- **Capa de red (Network)**, se emplean tecnologías de comunicación como Internet, Wi-Fi y enrutamiento para transferir la información capturada en la capa de percepción hacia un dispositivo informático.

- **Capa de middle-ware**, se realiza la interpretación y almacenamiento de la información utilizando la red para los programas de aplicación necesarios para los servicios. Específicamente, la capa de middleware ofrece funciones de computación y almacenamiento de alto rendimiento e incluye sistemas de análisis de información como servidores intermedios, almacenamiento de datos permanente, sistemas de colas y sistemas de aprendizaje automático.
- **Capa de aplicación (Application)**, los servicios se agrupan por ubicación y propósito, y se combinan en varios campos para brindar servicios a los usuarios. (Kong et al., 2022)

#### 4.4.4. Tecnología inalámbrica 802.11 – Wi-Fi

En el trabajo de Anguís Horno (2008), indica que el estándar 802.11 creado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), forma parte de la familia de estándares 802 enfocados en tecnologías para redes de área local, se relaciona con las capas del modelo de referencia OSI, tal como se puede observar en la **Figura 4** que muestra las posiciones relativas de los diferentes estándares 802 dentro de dicho modelo, el cual proporciona un marco de referencia para comprender la estructura y funcionamiento de las redes de comunicación.

**Figura 4.**  
Estándares IEEE 802

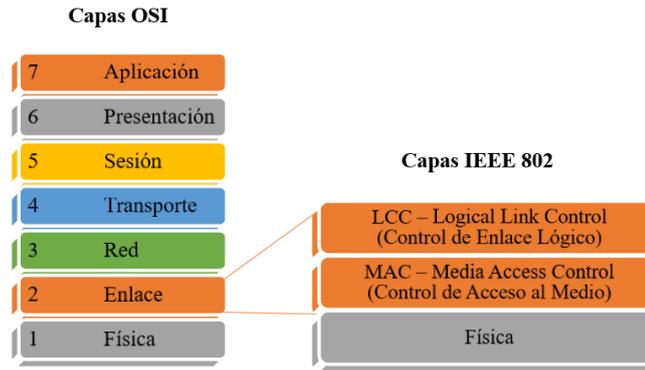


Fuente: (Anguís Horno, 2008)

Según el estudio de Anguís Horno (2008), define Wi-Fi como: «la abreviatura de la expresión inglesa “Wireless Fidelity” (que significa Fidelidad Inalámbrica). Se utiliza como denominación genérica para los productos que incorporan cualquier variante de la tecnología inalámbrica 802.11, que permite la creación de redes inalámbricas WLAN» (p.27).

El modelo de referencia de la norma 802.11 sigue el mismo modelo o arquitectura que toda la familia 802, es decir, capa física y la capa de enlace como se aprecia en la **Figura 5**.

**Figura 5.**  
Modelo OSI y familia IEEE 802.11



*Nota.* Elaboración propia basada en (Adonai Silveira Canêz, 2014)

#### 4.4.5. Variantes de 802.11 – Wi-Fi

La IEEE SA (2023), señala que todos los cambios al estándar IEEE 802.11 tienen como objetivo hacer que los dispositivos que funcionan dentro de sus especificaciones sean compatibles con versiones anteriores, de modo que cualquier dispositivo IEEE 802.11 moderno pueda comunicarse con productos más antiguos. En la **Tabla 4** se observa el conjunto de familias de 802.11 junto con sus especificaciones.

**Tabla 4.**

*Estándares IEEE para la tecnología Wi-Fi*

Estándar IEEE	Nombre Wi-Fi Alliance	Año lanzamiento	Frecuencia	Velocidad	Rango
<b>IEEE 802.11</b>	Wi-Fi 0	1997	2.4 GHz	2 Mbps	20m (indoor) 100m (outdoor)
<b>IEEE 802.11b</b>	Wi-Fi 1	1999	2.4 GHz	11 Mbps	35m (indoor) 140m (outdoor)
<b>IEEE 802.11a</b>	Wi-Fi 2	1999	5 GHz	54 Mbps	23m (indoor) 120m (outdoor)
<b>IEEE 802.11g</b>	Wi-Fi 3	2003	2.4 GHz	54 Mbps	38m (indoor) 140m (outdoor)
<b>IEEE 802.11n</b>	Wi-Fi 4	2009	2.4/5 GHz	600 Mbps	70m (indoor) 250m (outdoor)
<b>IEEE 802.11ac</b>	Wi-Fi 5	2013	5 GHz	6.9 Gbps	35m (indoor)
<b>IEEE 802.11ad</b>	-	2012	60 GHz	8.1 Mbps	3.3m (indoor)

<b>IEEE 802.11ah</b>	-	2017	Sub 1 GHz	347 Mbps	1km
<b>IEEE 802.11ax</b>	Wi-Fi 6	2021	2.4/5/6 GHz	9.6 Gbps	30m (indoor) 120m (outdoor)
<b>IEEE 802.11ay</b>	-	2021	60 GHz	303 Gbps	10m (indoor) 100m (outdoor)
<b>IEEE 802.11be</b>	Wi-Fi 7	2024	2.4/5/6 GHz	46.1 Gbps	30m (indoor) 120m (outdoor)

*Nota.* Elaboración propia basada en IEEE SA (2023)OX IT Solutions Ltd (2024)

La última actualización sobre los estándares de 802.11 es la presentación de Wi-Fi 7. En la **Figura 6** se presentan las características principales de Wi-Fi 7, además, en el portal web de la Wi-Fi Alliance (2024c) alude que:

basado en la tecnología IEEE 802.11be, Wi-Fi CERTIFIED 7 mejora el rendimiento de Wi-Fi en las bandas de 2,4 GHz, 5 GHz y 6 GHz, brindando capacidades de vanguardia para permitir innovaciones que requieren alto rendimiento, menor latencia y mayor confiabilidad en todos los entornos domésticos, empresariales e industriales.

**Figura 6.**  
*Características principales de Wi-Fi 7*



Fuente: (Wi-Fi Alliance, 2024b)

#### 4.4.6. Seguridad de 802.11 – Wi-Fi

La seguridad de las conexiones Wi-Fi es crucial para salvaguardar la privacidad de los datos personales, y la Wi-Fi Alliance ha liderado el avance de la seguridad Wi-Fi en respuesta al aumento de dispositivos Wi-Fi en uso globalmente. La Wi-Fi Alliance (2024a), destaca la última versión de seguridad de WPA3 donde menciona que:

- **WPA3-Personal**

WPA3-Personal ofrece una autenticación basada en contraseñas más sólida a los usuarios individuales a través de la autenticación simultánea de iguales (SAE), resistente a ataques de diccionario. Permite contraseñas fáciles de recordar, protege el tráfico de datos incluso si la contraseña se ve comprometida y no requiere cambios en la forma de conexión a la red.

- **WPA3-Enterprise**

WPA3-Enterprise, basado en WPA2-Enterprise, exige marcos de administración protegidos en todas las conexiones WPA3. Ofrece autenticación con múltiples métodos EAP, cifrado autenticado con AES-CCMP, derivación y confirmación de claves con HMAC-SHA256, y protección sólida del marco de gestión con BIP-CMAC.

- **WPA3-Enterprise con modo de 192 bits**

El modo de 192 bits de WPA3-Enterprise proporciona una mayor seguridad con protocolos de seguridad de 192 bits. Utiliza EAP-TLS con ECDH y ECDSA de 384 bits para autenticación, GCMP-256 para cifrado autenticado, HMAC-SHA384 de 384 bits para derivación y confirmación de claves, y BIP-GMAC-256 para protección del marco de gestión, estableciendo una base sólida de seguridad en redes WPA3.

## **4.5 Componentes de hardware**

### **4.5.1. Microcontrolador ESP32**

La empresa Espressif Systems (2024), describe al ESP32 como:

un chip único que combina Wi-Fi y Bluetooth en la frecuencia de 2,4 GHz, desarrollado utilizando tecnología de 40 nm de bajo consumo de TSMC. Su diseño se enfoca en lograr un óptimo desempeño y eficiencia en comunicaciones inalámbricas, demostrando robustez, versatilidad y fiabilidad en una amplia gama de aplicaciones y entornos de consumo energético. Dentro de la familia de chips ESP32 se encuentran modelos como el ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3, ESP32-U4WDH, y ESP32-S0WD, entre otros.

En la **Figura 7** se muestra el microcontrolador ESP32 genérico.

#### **Figura 7.**

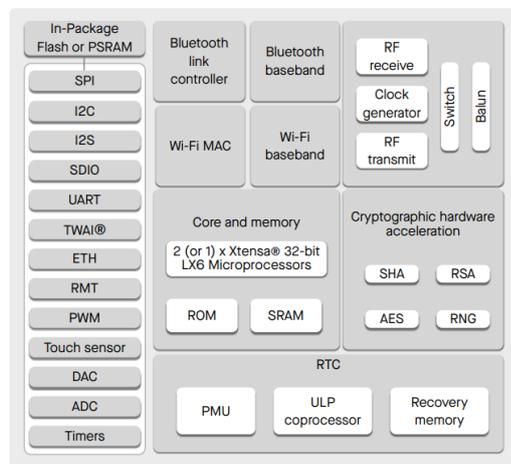
*Microcontrolador ESP32 Genérico*



Fuente: (Falabella, n.d.).

En la **Figura 8** se describe un diagrama que proporciona la funcionalidad general de los principales componentes y subsistemas que conforman el microcontrolador ESP32.

**Figura 8.**  
*Diagrama de bloques funcional del microcontrolador ESP32*



Fuente: (Espressif Systems, 2024)

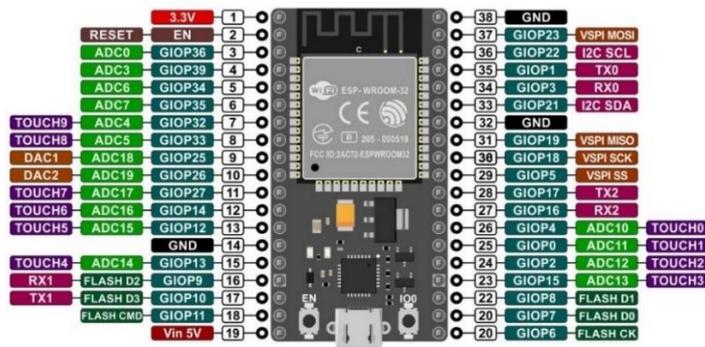
En otras características el ESP32 integra dos Conversores Analógico a Digital (ADC) SAR de 12 bits y admite mediciones en 18 canales (pines habilitados para analógicos). El coprocesador ULP en ESP32 también está diseñado para medir voltaje, mientras opera en el modo de suspensión, lo que permite un bajo consumo de energía. (Espressif Systems, 2024)

Al mismo tiempo, Espressif Systems (2024), menciona que el módulo tiene la capacidad de poder realizar una comunicación I2C (Circuito Integrado) para la comunicación con varios dispositivos externos conectados al mismo bus del ESP32, el funcionamiento de la comunicación I2C del módulo es el siguiente: I2C es un bus de dos hilos, que consta de una línea SDA y una SCL. Estas líneas están configuradas para abrir la salida de drenaje. Las líneas son compartidas por dos o más dispositivos: normalmente uno o más maestros y uno o más esclavos. La comunicación se inicia cuando un maestro envía una condición de inicio bajando SDA mientras mantiene SCL alta, seguido de 8 pulsos de reloj en SCL para transmitir la dirección del esclavo y un bit de lectura/escritura. Si el esclavo responde con un bit de reconocimiento, el maestro puede entonces enviar o recibir datos a través de SDA sincronizados

con los pulsos de reloj en SCL, y finaliza la comunicación enviando una condición de parada elevando SDA mientras SCL está alta.

La **Figura 9** muestra un módulo ESP32 con sus pines de salida.

**Figura 9.**  
*Diagrama de pines del ESP32*



Fuente: (Asanza, 2024)

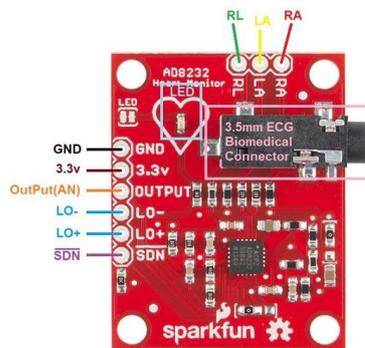
#### 4.5.2. Sensor AD8232

Según Analog Devices (2020), el AD8232 es:

un bloque de acondicionamiento de señal integrado diseñado para aplicaciones de medición de ECG y otras señales biopotenciales. Está diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales biopotenciales en presencia de condiciones ruidosas, como las creadas por el movimiento o la colocación remota de los electrodos. Este diseño permite que un convertidor analógico-digital (ADC) de ultra bajo consumo o un microcontrolador integrado adquieran fácilmente la señal de salida.

La **Figura 10** muestra el sensor AD8232.

**Figura 10.**  
*Sensor AD8232 y sus pines de salida*

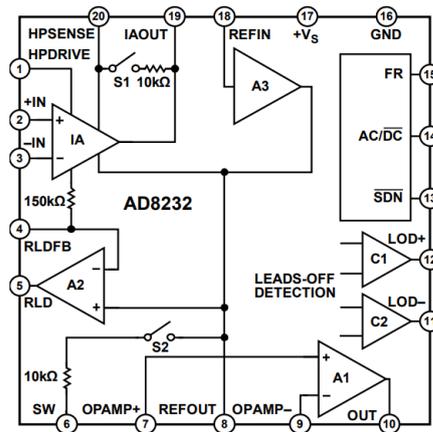


*Nota.* Se muestra los pines de conexión del sensor. Fuente: (Components101, 2020)

El AD8232 implementa un filtro de paso alto de dos polos para eliminar los artefactos de movimiento y el potencial de media celda del electrodo. El filtro está estrechamente acoplado

a la arquitectura del instrumento del amplificador, lo que permite implementar filtrado de paso alto y alta ganancia en un solo paso, ahorrando espacio y costos. Un verdadero amplificador operacional permite al AD8232 crear un filtro de paso bajo tripolar para eliminar el ruido adicional. La frecuencia de corte de todos los filtros es seleccionable por el usuario para adaptarse a diferentes tipos de aplicaciones (Analog Devices, 2020). En la **Figura 11** se muestra el diagrama electrónico general del sensor AD8232.

**Figura 11.**  
*Diagrama funcional del sensor AD8232*



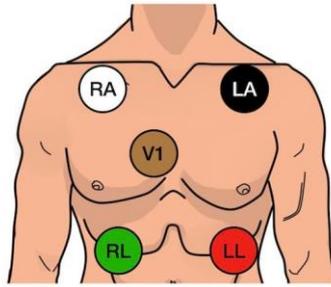
Fuente: (Analog Devices, 2020)

Posteriormente, para la colocación de los electrodos EZMed (2023), menciona que hay 5 derivaciones (véase la **Figura 12**) para colocar electrodos y monitorear una señal ECG, la clasificación es la siguiente:

Los 5 electrodos y cables conductores incluyen:

- Brazo Derecho (RA)
- Pierna Derecha (RL)
- Brazo izquierdo (LA)
- Pierna Izquierda (LL)
- Pecho (V1 o C)

**Figura 12.**  
*Clasificación de colocación de electrodos*



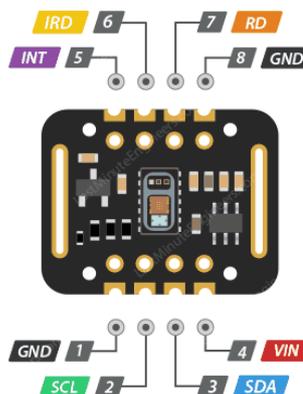
Fuente: (EZMed, 2023)

#### 4.5.3. Sensor MAX30102

El sensor MAX30102 presentado en la **Figura 13**, es un módulo integrado de monitor de oximetría y ritmo cardíaco. Incluye LEDs internos, fotodetectores, elementos ópticos y electrónica de bajo ruido con rechazo de luz ambiental. El MAX30102 ofrece una solución completa del sistema para facilitar el proceso de diseño en dispositivos móviles y portátiles. (Analog Devices, 2018)

Además, Analog Devices (2018), menciona que el sensor opera con una sola fuente de alimentación de 1.8V y una fuente de alimentación separada de 3.3V para los LEDs internos. La comunicación se realiza a través de una interfaz estándar compatible con I2C. Además, el módulo puede ser apagado mediante software con un consumo de corriente en espera de cero, lo que permite que los rieles de alimentación permanezcan encendidos en todo momento.

**Figura 13.**  
Sensor MAX30102



*Nota.* Se observa los pines de salida del sensor. Tomando de: (LastMinuteEngineers, 2022).

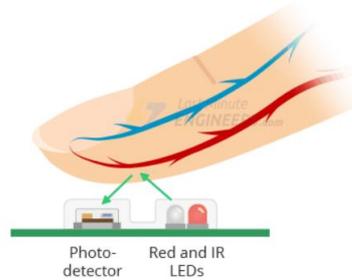
Por consiguiente, el funcionamiento que realiza el sensor es el siguiente:

El MAX30102 funciona al iluminar ambas luces sobre el dedo o el lóbulo de la oreja (o esencialmente en cualquier lugar donde la piel no sea demasiado gruesa, para que ambas luces puedan penetrar fácilmente el tejido) y midiendo la cantidad de luz reflejada usando un fotodetector. Este método de detección de pulso a través de la luz se llama fotopletoislograma.

En la **Figura 14** se puede observar que el sensor consta de un par de LEDs de alta intensidad (ROJO e IR, ambos de diferentes longitudes de onda) y un fotodetector. Las longitudes de onda de estos LED son 660 nm y 880 nm, respectivamente. (LastMinuteEngineers, 2022)

**Figura 14.**

*Toma de datos del sensor MAX3012*



Fuente: (LastMinuteEngineers, 2022)

Además, LastMinuteEngineers (2022) divide el funcionamiento en dos principios principales:

- i. **Medición de la frecuencia cardíaca:** El sensor utiliza el hecho de que la hemoglobina oxigenada (HbO<sub>2</sub>) en la sangre arterial absorbe más luz infrarroja (IR). A medida que la sangre se bombea a través del dedo con cada latido del corazón, la cantidad de luz reflejada cambia, creando una forma de onda que el sensor puede detectar para medir la frecuencia cardíaca.
- ii. **Oximetría de pulso:** Este principio se basa en que la cantidad de luz roja e infrarroja absorbida varía según la cantidad de oxígeno en la sangre. La sangre desoxigenada (Hb) absorbe más luz roja, mientras que la sangre oxigenada (HbO<sub>2</sub>) absorbe más luz infrarroja. Midiendo la proporción de luz roja e infrarroja recibida, el sensor puede calcular el nivel de oxígeno (SpO<sub>2</sub>) en la sangre.

#### **4.5.4. Sensor de temperatura LM35**

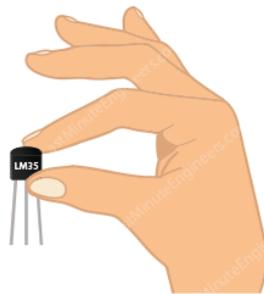
El LM35 es un dispositivo de temperatura de circuito integrado de precisión con una salida de voltaje linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados. Este dispositivo ofrece ventajas sobre los sensores de temperatura lineales calibrados en Kelvin, ya que no es necesario restar un voltaje constante grande de la salida para obtener una escala conveniente en grados centígrados. El LM35 no requiere calibración externa o ajuste para proporcionar precisión típica de  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  a temperatura ambiente y  $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$  en un rango de temperatura completo de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ . (Texas Instrument, 2017)

Por esta razón, según LastMinuteEngineers (2021) alude que:

El LM35 es fácil de usar; simplemente conecte el pin izquierdo a la alimentación (4V a 30V) y el pin derecho a tierra (suponiendo que el lado plano del sensor esté hacia usted). Entonces el pin del medio tendrá un voltaje analógico que es directamente proporcional (lineal) a la temperatura en °C.

La **Figura 15** muestra cómo se debe usar el sensor, intente apretar suavemente la caja de plástico del sensor para ver un aumento de temperatura.

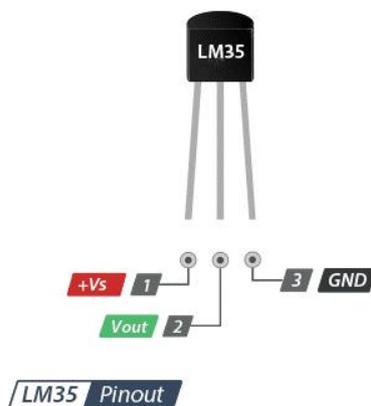
**Figura 15.**  
*Uso del sensor LM35*



Fuente: (LastMinuteEngineers, 2021)

El sensor LM35 se observa en la **Figura 16**, además, se visualiza cuáles son los pines de salida que tiene el sensor para poder medir los datos de temperatura.

**Figura 16.**  
*Sensor LM35*



Fuente: (LastMinuteEngineers, 2021)

#### **4.5.5. Sensor DHT11**

De acuerdo a (Av Electronics, 2024), el módulo DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa económico y fácil de usar. Integra un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire ambiente y muestra los datos a través de una señal digital en un pin de datos.

Los pines de conexión del sensor se muestran en la **Figura 17**.

**Figura 17.**  
*Sensor DHT11 y sus pines de conexión*



Fuente: (Mohammadreza Akbari, 2021)

Utilizar el sensor DHT11 en la plataforma Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu es muy sencillo, tanto a nivel de software como de hardware. A nivel de software, Arduino proporciona una biblioteca que admite el protocolo "bus único". En cuanto al hardware, simplemente conecte el pin de alimentación VCC a 3-5V, el pin GND a tierra (0V) y el pin de datos a nuestros pines digitales Arduino. Si desea conectar varios sensores DHT11 a un Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. Quizás el único inconveniente del sensor es que sólo puede adquirir nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor se calibra en fábrica para obtener factores de calibración escritos en su memoria OTP, lo que garantiza una alta estabilidad y confiabilidad a largo plazo.(Av Electronics, 2024)

## **4.6 Plataformas IoT**

### **4.6.1. *Firestore***

En el estudio de Villalón Pardo (2021), indica que Firestore:

es una base de datos en tiempo real referenciada al crecimiento de aplicaciones móviles y el manejo de información a través de ella. La mayoría de bases de datos necesitan una conexión a través de HTTP para obtener datos. Cuando una aplicación se conecta a Firestore lo hace a través de un websocket. Websocket es mucho más rápido que HTTP ya que con una sola conexión de socket es suficiente. Todos los datos se sincronizan automáticamente a través de ese único websocket tan rápido como la red de su cliente los pueda transportar. (p. 62)

### **4.6.2. *Realtime Database***

La documentación de Firestore (2024a), describe a Firestore Realtime Database como: una base de datos NoSQL alojada en la nube que almacena datos en formato JSON. Esta base de datos permite la sincronización en tiempo real de datos entre todos los clientes conectados, incluyendo dispositivos móviles, web y servidores. Además, los datos permanecen disponibles incluso cuando la aplicación se encuentra desconectada, lo que garantiza una experiencia sin interrupciones para los usuarios. Con Firestore Realtime

Database, es posible crear aplicaciones multiplataforma que compartan una única instancia de la base de datos y reciben automáticamente las actualizaciones más recientes.

Además, Firebase (2024a) señala que «cuando compilas apps multiplataforma con nuestros SDK de plataformas de Apple, Android y JavaScript, todos tus clientes comparten una instancia de Realtime Database y reciben actualizaciones automáticamente con los datos más recientes».

- **Firestore Hosting**

Firestore (2024b), describe a Firestore Hosting como «un servicio de hosting de contenido web con nivel de producción orientado a desarrolladores. Con un solo comando, puedes implementar aplicaciones web y entregar contenido dinámico y estático en una CDN (red de distribución de contenidos) global rápidamente».

El alojamiento de Firestore ofrece varias opciones de dominio y subdominios para la entrega de contenido, incluidos los subdominios gratuitos en Web, App y FirestoreApp.com. También le permite conectar dominios personalizados a sitios web alojados en Firestore, brindando a los desarrolladores flexibilidad y personalización. El alojamiento de Firestore facilita la creación de aplicaciones web progresivas (PWA) con una configuración de alojamiento liviana y ofrece capacidades de enrutamiento y reescritura de URL del lado del cliente para mejorar la experiencia y la funcionalidad de las aplicaciones web modernas. (Firestore, 2024b)

## 5. Metodología

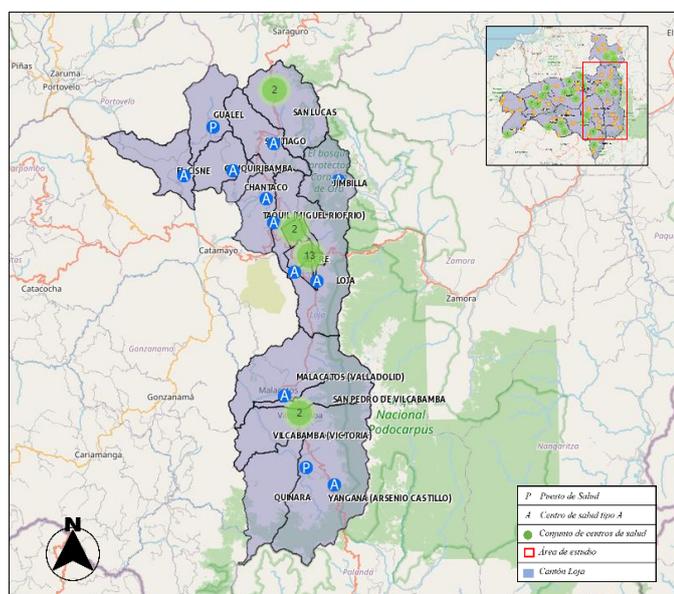
En este capítulo se presentan los métodos, diseño y el proceso de trabajo para el cumplimiento y desarrollo del presente Trabajo de Titulación.

**Tipo de investigación y enfoque.** - Se realizó una forma de investigación aplicada al emplear un escenario real de monitoreo de las variables de cambio en pacientes con enfermedades crónicas. Además, se adoptó un enfoque cuantitativo, ya que la información se derivó de datos recopilados por sensores, sujetos a condiciones predefinidas, y se evaluó en relación con los rangos establecidos para las variables de cambio.

**Área de estudio.** – El estudio se centra en la provincia de Loja (véase la **Figura 18**), donde se realizó las pruebas de funcionamiento del dispositivo de monitoreo.

**Figura 18.**

*Área de estudio del dispositivo de monitoreo de pacientes*



*Nota.* Elaboración propia basada en MSP (2024)

**Población y muestra.** - Como población específica de este proyecto se eligió a aquellos pacientes crónicos que padecen enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias crónicas.

**VARIABLES.** - Las variables que se analizó se muestran en la **Tabla 5**:

**Tabla 5.**

*Variables explicativas a revisar*

Nº	Variable	Rango de análisis	Descripción
----	----------	-------------------	-------------

1	Señal ECG y PPG	Visualización de ondas	Registro de la actividad eléctrica del corazón
2	SpO2	-95% o mayor a 92 % o menor	La cantidad de oxígeno en la sangre del paciente
3	Frecuencia cardíaca	≤90 ppm a ≥131 ppm	Los latidos por minuto del corazón del paciente
4	Temperatura	17°C a 39°C	La temperatura corporal del paciente
5	Temperatura y Humedad ambiente	Verano = 23 - 25 grados y humedad 45% - 60% Invierno = 21 - 23 grados y humedad 40% - 50%	Valores de temperatura y humedad recomendada por Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y hospitales por CAREL

*Nota.* Los rangos de SpO2 y Frecuencia cardíaca se presentaron en la sección 4.2.5. Fuente: Elaborado por el autor.

**Proceso.** - Para la presente propuesta de este proyecto se utilizó una metodología de cuatro fases, mismas que permitieron desarrollar el prototipo de manera eficaz y organizada con el propósito de obtener los resultados deseados.

- **Fase de investigación y análisis de información:** Con el fin de obtener datos sobre la situación entre las entidades de salud y los pacientes crónicos abordados en este proyecto, se considerarán como fuentes primarias antecedentes investigativos publicados relacionados con dispositivos de Internet de las Cosas para la Salud (IoMT) que realicen lecturas de signos vitales basados en la nube. Por otro lado, para adquirir información sobre los componentes electrónicos, tecnología inalámbrica, plataformas en la nube y cómo podrían interactuar para lograr el funcionamiento deseado del proyecto, se consultó información obtenida en el campo del Internet de las Cosas (IoT).
- **Fase de diseño:** Se llevó a cabo pruebas en los componentes electrónicos y plataformas en la nube, verificando el funcionamiento de sensores en parámetros de temperatura, frecuencia cardíaca, oxígeno en la sangre, temperatura – humedad del ambiente y señales ECG - PPG, con el objetivo de determinar cuál de ellos tiene mayores características y baja tasa de error en la toma de datos. También, se exploraron diversas plataformas como Ubidots y Firebase, con el fin de determinar cuál es la más adecuada para el recibo y presentación de los datos.
- **Fase de implementación:** Para la integración de los sensores y establecer la comunicación entre ellos, se llevó a cabo las conexiones entre los sensores y el microprocesador en una placa PCB (Printed Circuit Board). Simultáneamente, se

estableció la comunicación con la plataforma de IoT para visualizar y analizar los signos vitales del paciente de manera correspondiente.

- **Fase de pruebas de funcionamiento:** En la etapa final, se llevó a cabo pruebas en pacientes que padecen enfermedades crónicas y personas sin problemas de salud para verificar la coherencia de los resultados esperados en el desarrollo del proyecto, se realizó una comparación del margen de error con un dispositivo homologado utilizado para medir estos parámetros médicos. Además, se analizó la visualización en tiempo real de los datos presentados en la plataforma de IoT para asegurar que refleje con precisión los valores proporcionados por los sensores que están usando los pacientes de las enfermedades crónicas mencionadas.

## 5.1 Diseño

En esta sección se analizó los diferentes tipos de microcontroladores y sensores que pueden servir para la medición de los signos vitales y las conexiones entre ellos. Además, se probó el envío de los datos hacía las plataformas de IoT con el fin de verificar la presentación correcta de los datos. Finalmente, se describirá la arquitectura del sistema IoT para el dispositivo.

### 5.1.1. Microcontrolador

Para poder realizar la conexión del dispositivo con el servidor y ejecutar la transferencia de información, se necesita el uso de un módulo WiFi. En la sección 4.5, se describió el microcontrolador ESP32, puesto que es el seleccionado para el proyecto. En la **Tabla 6** se presenta cuáles son las ventajas que posee el módulo respecto a los otros que existen en el mercado.

**Tabla 6.**  
*Microcontroladores con Wi-Fi*

<i>Nombre</i>	<i>ESP32</i>	<i>Arduino UNO R4 Wi-Fi</i>	<i>Arduino MKR Wifi 1010</i>	<i>Raspberry Pi Zero WH</i>	<i>WiFi LoRa 32(V3)</i>
<i>Imagen</i>					
<i>Compatibilidad con Arduino</i>	Si	Si	Si	No	Si

<b>Velocidad de datos</b>	150 Mbps con HT40	150 Mbps	72 Mbps	1 Ghz	150 Mbps
<b>Protocolo Wi-Fi</b>	802.11 b/g/n/e/i	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
<b>Tamaño</b>	28 mm x 54.4 mm	68.58 mm x 45.72 mm	25 mm x 61.5 mm	65 mm x 30 mm	50.2 x 25.5 x 10.2 mm
<b>Procesador</b>	Tensilica Xtensa Dual-Core de 32 bits LX6	Xtensa® dual-core 32-bit LX7	SAMD21 Cortex®-M0+ 32bit	BCM2835 ARM v7	ESP32-S3FN8 (Xtensa® 32-bit LX7)
<b>Consumo de batería</b>	50 mA	50 mA	154mA	500 mA	115mA
<b>Corriente de operación</b>	5 $\mu$ A	8 mA	7 mA	1,2A	<10uA
<b>Voltaje de operación</b>	2,55 y 3,6 voltios	3.3 V	3.3 V	5 V	3.7 V
<b>Precio</b>	\$ 16	\$ 28	\$ 40	\$ 24	\$ 27

Fuente: Elaborado por el autor

Haciendo un balance general podemos observar que el

**Microcontrolador** ESP32 tiene mayores ventajas de bajo consumo de batería, menor tamaño, mayor compatibilidad de protocolos Wi-Fi, buena velocidad de datos y un bajo precio. Consecuentemente, estas son las características que benefician al dispositivo, ya que al realizar un procesamiento en tiempo real necesitamos una alta velocidad de datos y un bajo consumo de batería, el tamaño debe ser lo más reducido posible para que no sea invasivo al paciente y de esta forma se redujeron los costos del proyecto.

### 5.1.2. Sensor electrocardiograma

Para poder monitorear de manera precisa la actividad eléctrica del corazón y obtener datos vitales para el diagnóstico médico, es fundamental contar con un sensor de electrocardiograma. En la sección 4.5.2, se detalló el sensor AD8232 como la elección para el proyecto. En la **Tabla 7** se presenta cuáles son las características más relevantes respecto a otros sensores disponibles.

**Tabla 7.**  
Tipos de sensores electrocardiogramas

<i>Nombre</i>	<i>AD8232</i>	<i>ECG Click</i>	<i>SEN-11574</i>
<i>Imagen</i>			
<i>Rechazo de ruido</i>	80 dB y bloqueo de corriente DC	Bloqueo de corriente DC	No especifica
<i>Filtrado de señal</i>	Filtrado RFI - Paso alto y paso bajo	Paso alto y paso bajo	-
<i>Consumo de batería</i>	0.17 mA	1 mA	3 mA
<i>Voltaje de operación</i>	3.3 V	5 V	3 V
<i>Tamaño</i>	28 mm x 35 mm	57,15 mm x 25,4 mm	15 mm x 3 mm
<i>Precio</i>	\$ 20	\$ 39	\$ 26.25

Fuente: Elaborado por el autor

De las características propuestas podemos observar que el **Sensor AD8232** está diseñado con rechazos de ruido y filtrado de la señal, igual que el sensor ECG Click, pero a diferencia es que el Ad8232 posee un bajo consumo de batería, el tamaño y precio es menor. Con respecto al sensor SEN-11574, su tamaño es menor que el AD8232, pero no cuenta con filtrado y eliminación de ruido lo cual es esencial para la correcta visualización de la señal ECG.

### **5.1.3. Sensor de oximetría y frecuencia cardíaca**

Para poder monitorear de manera precisa los niveles de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardíaca, necesitamos un sensor de oxímetro de pulso. En la sección 4.5.3, se particularizó el sensor MAX30102 como el sensor elegido para el dispositivo. En la **Tabla 8** se presenta cuáles son las funciones mejoradas que posee el sensor respecto a varios oxímetros de pulso disponibles.

**Tabla 8.**  
*Tipos de oxímetros de pulso*

<i>Nombre</i>	<i>MAX30102</i>	<i>MAX30100</i>	<i>MIKROE-3102</i>	<i>AFE4490</i>
<i>Imagen</i>				
<i>Almacenamiento</i>	FIFO 32 bits	FIFO 16 bits	27 bits	24 bits
<i>Resolución ADC</i>	18 bits	14 bits	14 bits	22 bits
<i>Recuento de ADC / IR</i>	65536 recuentos	23 000 - 29 000 recuentos	2000 recuentos	-
<i>Ancho de pulso LED</i>	69 $\mu$ s-114 ms	200 $\mu$ s-1,6 ms	Ajustable	50 $\mu$ s - 4 ms
<i>Tipo de detección</i>	PPG (Reflexión de luz)	PPG (Reflexión de luz)	PPG (Reflexión de luz)	PPG (Reflexión de luz)
<i>Tamaño</i>	21 mm x 15mm	21 mm x 15mm	42.9 mm x 25.4 mm	55 x 34 mm
<i>Voltaje de operación</i>	3.3 V a 5 V	3.3 V a 5 V	3.3 V	2 V a 3.6 V
<i>Consumo de batería</i>	60 mA	60 mA	40 mA	50 mA
<i>Costo</i>	\$ 13	\$ 10	\$ 13	\$ 80.34

Fuente: Elaborado por el autor

De la tabla podemos observar que las ventajas del **Sensor MAX30102** son similares al sensor MA30100, pero tiene mejoras en la capacidad de almacenamiento, resolución ADC y un ancho de pulso más eficiente, lo que resulta en un menor consumo de batería. Por otro lado, el sensor AFE4490 posee muy buenas características, aunque sus principales desventajas son el costo y el tamaño; su diámetro considerable conllevaría a que el dispositivo sea invasivo para el paciente.

### 5.1.4. Sensor de temperatura

Finalmente, para medir la temperatura del paciente es necesario contar con un sensor que realice cálculos en °C. En la sección 4.5.4 se definió el sensor LM35, el cuál es el elegido para realizar esta medición. En la **Tabla 9** se presenta cuáles son las particularidades que posee el sensor respecto a varios sensores que realizan el mismo sentido.

**Tabla 9.**  
*Tipos de sensores de temperatura*

Nombre	LM35	DS18B20	RTD PT100	MLX90614
Imagen				
Precisión	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Rango de sentido	-55 a + 150 °C	-55 a +125 °C	-100 a +400 °C	-70 a +382.2 °C
Consumo de batería	0.0915 mA	1.5 mA	Pasivo	1.5 mA
Tamaño	4.7 mm x 12.7 mm	20 mm x 1.5 cm	5 mm x 100 mm	7.5 mm x 5.85 mm
Voltaje de operación	4 V – 30 V	3 V a 5.5 V	5 V	3.3 V a 5 V
Precio	\$ 2	\$ 2.20	\$ 13	\$ 12

Fuente: Elaborado por el autor

De las características mencionadas podemos concluir que el **Sensor de temperatura LM35** ofrece numerosas ventajas respecto a los demás sensores. Sus principales beneficios radican en su bajo consumo de batería, tamaño y precio, lo que lo convierte en la opción más favorable para la integración con el dispositivo.

- **Calibración de temperatura de  $V_{OUT}$  del sensor LM35**

Como ya se mencionó anteriormente el sensor LM35 puede convertir el voltaje  $V_{OUT}$  en temperatura, esto lo realiza mediante una ecuación simple.

El voltaje de salida en mV es un producto de la temperatura en Celsius y el número 10. Se puede obtener el valor de temperatura en Celsius dividiendo el voltaje analógico  $V_{OUT}$  leído en mV por 10, como se expresa en la siguiente fórmula:

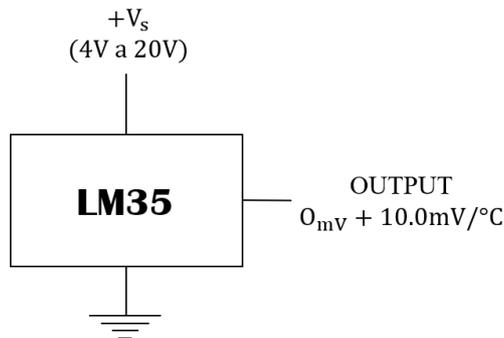
$$V_{OUT} = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \times T$$

Donde:

- $V_{OUT}$  = Voltaje de salida
- $^{\circ}\text{C}$  = Grados Celsius
- $T$  = Dato de temperatura medido

En la **Figura 19** se puede observar los parámetros mencionados en la fórmula.

**Figura 19.**  
*Configuración del sensor*



Fuente: Elaborado por el autor

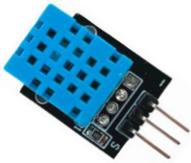
Además, debemos tener en cuenta que el microcontrolador ESP32 genera una respuesta no lineal, lo cual podría afectar la precisión de 2 formas: cuando se tiene bajos valores de voltajes y cuando el voltaje supera 3.21V se puede saturar, pero debemos tener en cuenta que en estos rangos darían valores muy lejanos a los valores normales de temperatura corporal.

### **5.1.5. Sensor de humedad**

Por otra parte, para medir la temperatura y humedad ambiental se escogió el sensor DHT11. En **Tabla 10** se presenta las características que posee a comparación de otros existentes en el mercado.

**Tabla 10.**  
*Clasificación de sensores de humedad y temperatura ambiente*

<i>Nombre</i>	<i>DHT11</i>	<i>BME280</i>	<i>YL-83</i>
---------------	--------------	---------------	--------------

<i>Imagen</i>			
<i>Rango de humedad</i>	20% - 80%	0 - 100%	10% - 90%
<i>Rango de Temperatura</i>	0 °C – 50 °C	-40 °C – 85 °C	0 °C – 60 °C
<i>Tamaño</i>	23 mm x 12mm x 5cm	9 x 11 x 2mm	37mm x 13mm x 12mm
<i>Consumo de batería</i>	2.5 mA	0.0027 mA	15 mA
<i>Voltaje de operación</i>	3 V – 5 V	1.8 a 3.3	3 V – 5 V
<i>Precio</i>	\$ 6	\$ 10	\$ 10.70

Fuente: Elaborado por el autor

Para este sensor se consideró los rangos de operación, consumo de batería y precio, el sensor BME-280 es el que mejores características presenta, pero su comunicación es I2C, por lo tanto, entraría en conflicto con el sensor MAX30102 que realiza la misma comunicación, por esta razón se optó por el **Sensor DHT11** que posee muy buenas características de funcionamiento.

#### **5.1.6. Fuente de alimentación**

Como fuente de alimentación se investigó clases de baterías de litio por el motivo que son recargables y con un tamaño menor, dando la ventaja de integrarla en la caja 3D del dispositivo sin ocupar demasiado espacio.

La batería seleccionada se presenta en la **Figura 20**.

**Figura 20.**  
*Batería de litio 3.7V 800mAh*



Fuente: (OGNX, 2022)

Las especificaciones técnicas se muestran en la **Tabla 11**, dónde observamos que esta batería tiene la capacidad de ser recargable y sus dimensiones son bajas. Las dimensiones de la batería son cercanas al dispositivo, por tal motivo se escogió esta batería para la alimentación de los sensores.

### Descripción del Producto

**Tabla 11.**

*Especificaciones de la batería de litio*

<b>Modelo</b>	<b>503048</b>
Tipo	Batería de litio
Capacidad	800mah
Recargable	Sí
Voltaje de carga	4,2 V
Voltaje nominal	3,7 V
Temperatura de funcionamiento	-20° a 50°
Dimensiones (L x An x Al)	Aprox. 1,9 x 1,2 x 0,2 pulgadas (48 x 30 x 5 mm).

Fuente: (OGNX, 2022)

#### 5.1.7. Módulo de carga

Para poder recargar el dispositivo debemos agregar un módulo de carga que se integre con la batería y permita alimentarla cuando baje nivel de alimentación. Para esto se eligió el módulo 134N3P el cuál se presenta en la **Figura 21**.

**Figura 21.**  
Módulo de carga 134N3P



Fuente: (Novatronic, 2024)

El microcontrolador que estamos usando tiene un pin **VIN** por dónde lo debemos alimentar el cual acepta un voltaje de máximo 5V, la batería funciona a 3.7V por lo tanto no es un voltaje suficiente para alimentar completamente el dispositivo. Por lo tanto, este módulo de carga tiene la capacidad de aumentar el voltaje de la batería permitiendo una salida de 5V desde su entrada tipo A conectado al pin VIN del microcontrolador.

Las especificaciones del módulo se presentan en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.**  
*Especificaciones técnicas del módulo de carga*

<b>Chip Principal</b>	<b>TP5400</b>
Voltaje de entrada	3.7- 5.5 V DC
Corriente de carga	1 A (max)
Corriente de salida	1.2 A (max)
Voltaje de salida	5 V DC
Tipo de Batería a cargar	Li-ion 18650
Temperatura de trabajo	-10°C ~ 85°C
Dimensiones	20 mm x 18.2 mm x 10.5 mm

Fuente: (Novatronic, 2024)

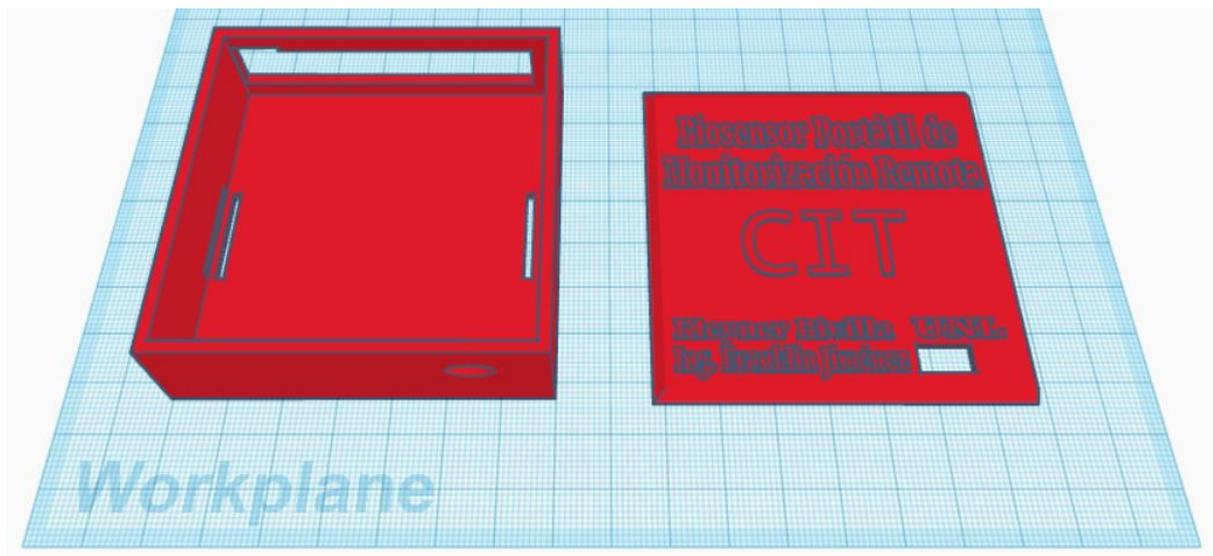
### 5.1.8. Diseño de caja en 3D

Para albergar los materiales mencionados anteriormente, se realizó un diseño en 3D en forma de caja. La caja permitirá que el microcontrolador permanezca seguro, cubriendo de humedad, polvo y otras afecciones que puedan perjudicar el funcionamiento del dispositivo.

En la **Figura 22** se presenta el diseño realizado en la plataforma de Tinkercad

**Figura 22.**

*Diseño de caja 3D en Tinkercad*



Fuente: Elaborado por el autor

Las dimensiones de la caja son las siguientes:

**Tabla 13.**

*Dimensiones de la caja en 3D*

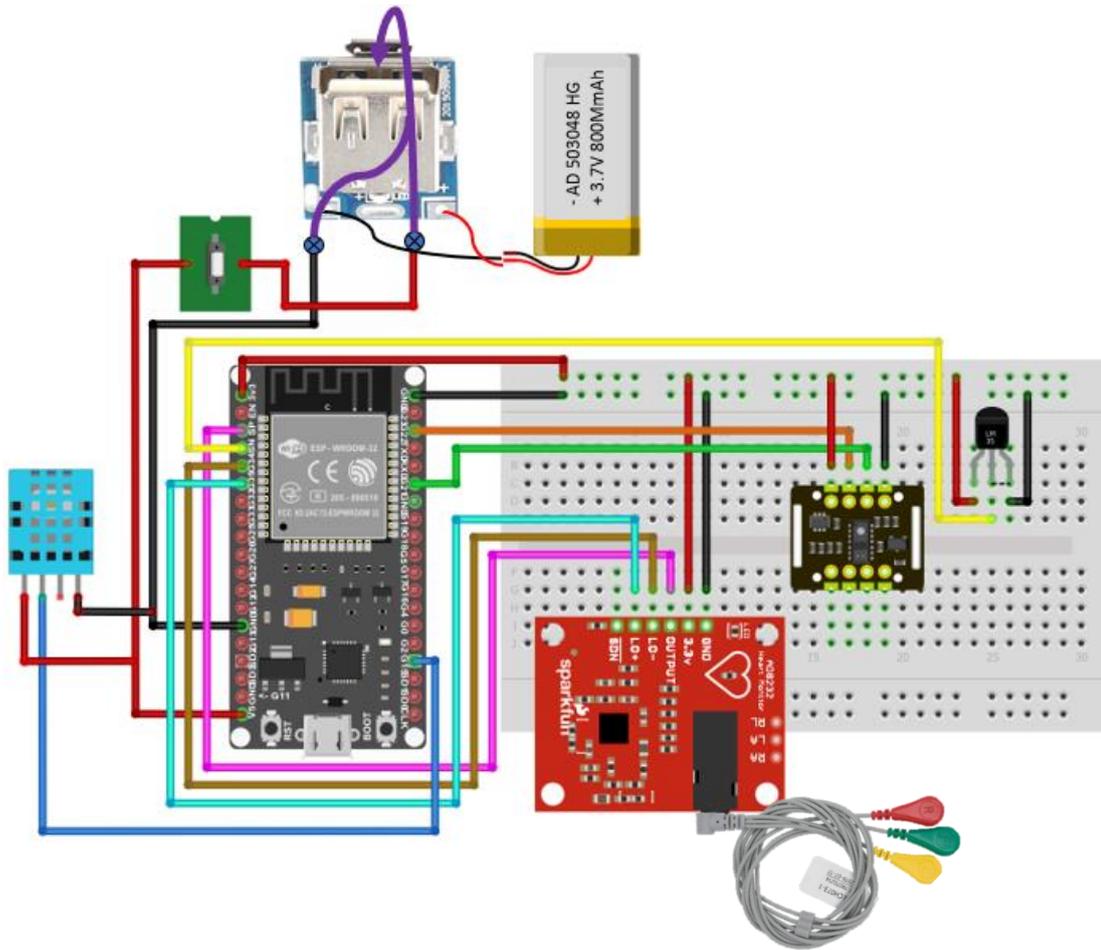
<b>Largo</b>	72 mm
<b>Ancho</b>	70 mm
<b>Alto</b>	20 mm

Fuente: Elaborado por el autor

### 5.1.9. Conexiones de hardware

En la **Figura 23** se observa las conexiones necesarias que se deben realizar para tener una adecuada comunicación entre el microcontrolador ESP32 y los demás sensores, además, se agregó un módulo de carga junto con un switch para poder prender y apagar el dispositivo para un funcionamiento más eficiente de la batería.

**Figura 23.**  
*Conexiones de los elementos de hardware*



Fuente: Elaborado por el autor

### **5.1.10. Plataforma IoT**

El almacenamiento de las mediciones históricas de un paciente se lleva a cabo en un servidor en línea, cuya función es guardar los datos recogidos por los sensores. Adicionalmente, este servidor facilita la interconexión entre nuestros dispositivos, incluyendo sensores y la página web. En la sección 4.6 se describió las características de la plataforma Firebase, la cuál es la que presenta una mayor tasa de transmisión de datos y permite una eficiente visualización de los signos vitales. Se realizaron las pruebas para dos plataformas de IoT; Ubidots y Firebase.

**Pruebas con Ubidots.** – Ubidots es una herramienta de recopilación de datos, análisis y visualización en la nube listas para la presentación. Tiene las siguientes características; API y protocolos que se puede conectar de cualquier hardware a Ubidots Cloud por medio de HTTP, MQTT, TCP, UDP o Parse (protocolo personalizado). Las ventajas de Ubidots incluyen la facilidad de implementación con pocas líneas de código en cada dispositivo. Sin embargo, su

principal desventaja es que no opera completamente en tiempo real lo cual representa un problema en la visualización de la señal ECG. En la **Figura 24** se pueden apreciar ciertos paquetes perdidos o corrupción de datos, por lo que esta opción se descartó.

**Figura 24.**

*Datos del sensor AD8232 usando Ubidots*

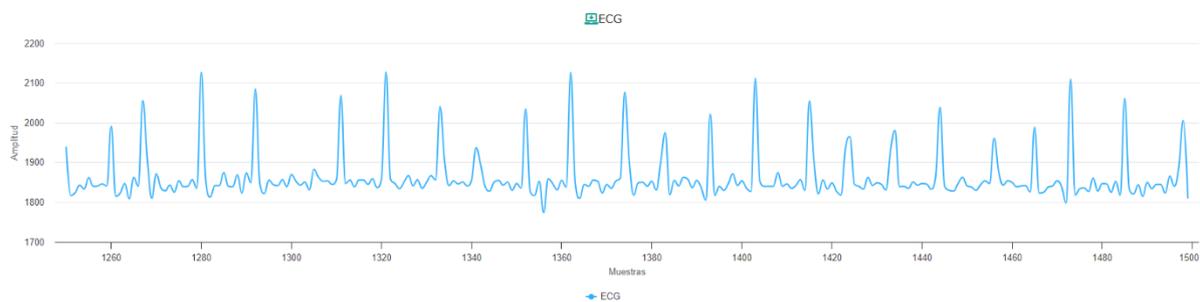


Fuente: Elaborado por el autor

**Pruebas con Firebase.** – Se utiliza la función de Realtime Database descrita en la sección 4.6.2, desde el microcontrolador se envían los datos en formato JSON para que puedan ser almacenados en la nube. Seguidamente, realizamos la integración Hosting que permite realizar una transferencia rápida y segura para aplicaciones web, Además Firebase brindará 2 subdominios gratuitos en *web.app* y *firebaseapp.com* para realizar la presentación final de los datos. En la **Figura 25** podemos visualizar la gráfica de los datos del sensor AD8232 sin usar los electrodos del sensor.

**Figura 25.**

*Datos del sensor AD8232 usando Firebase - Hosting*

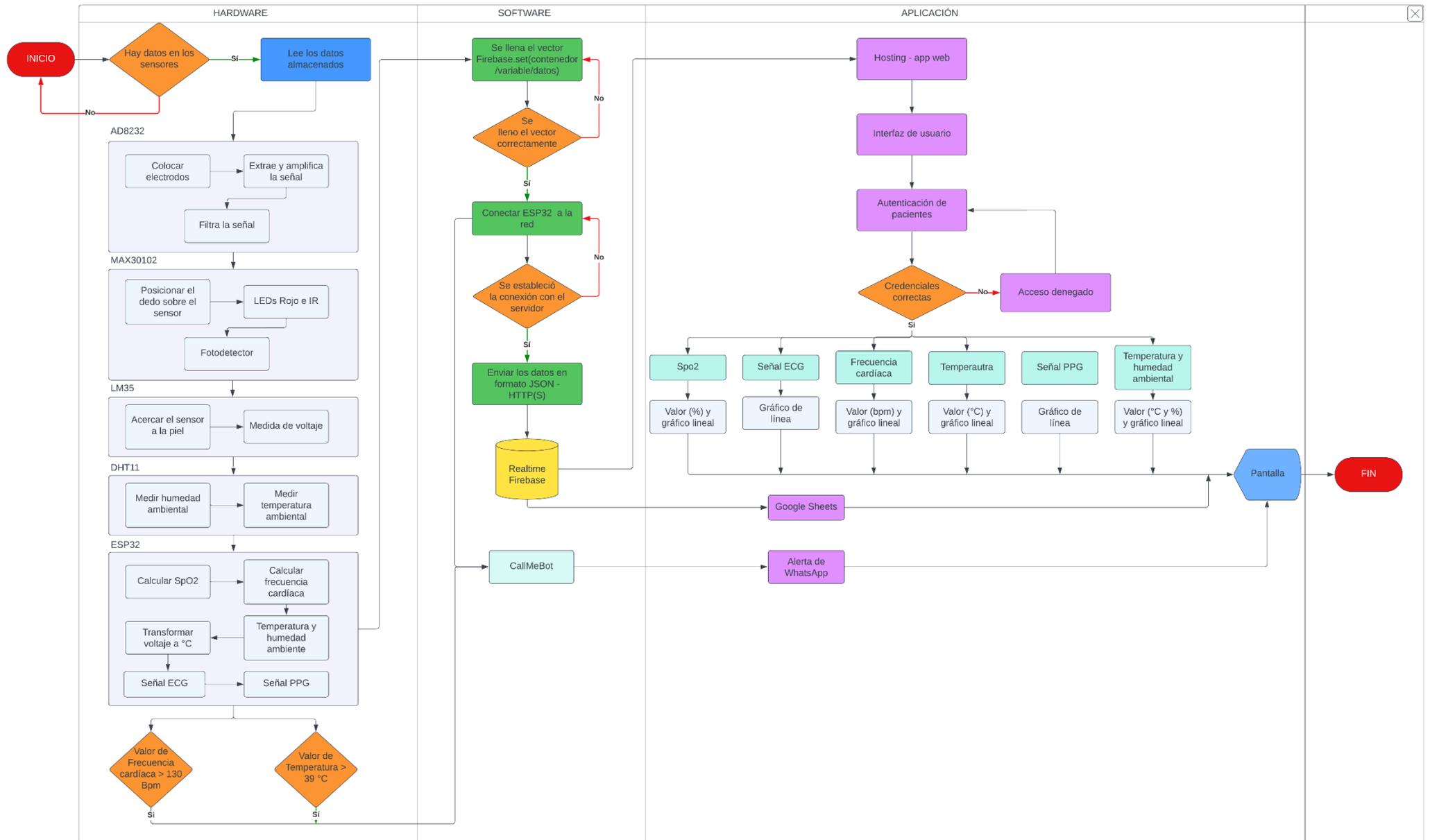


*Nota.* La gráfica no es la señal ECG de un paciente, es una prueba de envío de datos del sensor AD8232 para verificar la eficiencia y fluidez de transmisión. Fuente: Elaborado por el autor.

## 5.2 Funcionamiento lógico del dispositivo de monitoreo

**Figura 26.**

*Diagrama de flujo del dispositivo de monitoreo*



Fuente: Elaborado por el autor

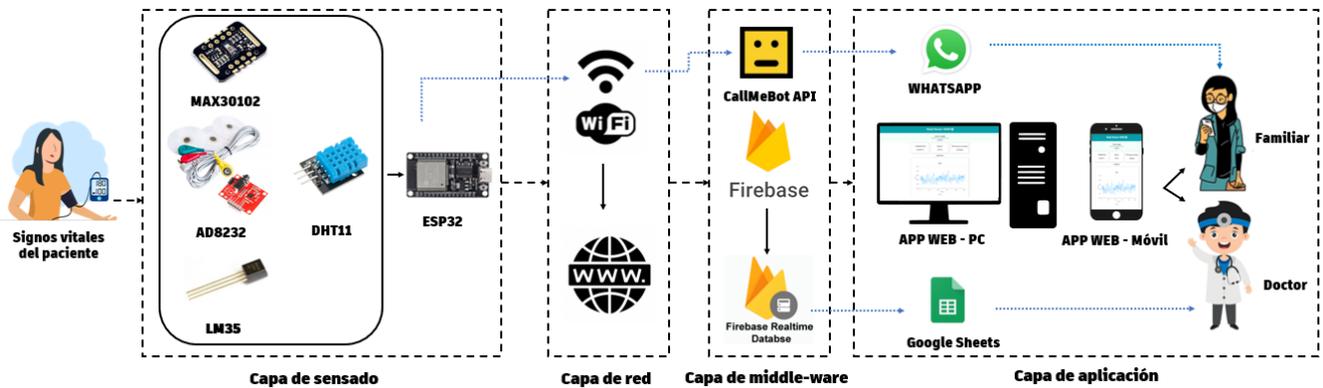
### 5.3 Arquitectura IoT del dispositivo

En la sección 4.4.3 se presentó una arquitectura de referencia de IoT, de manera que, el dispositivo de monitoreo de enfermedades crónicas está compuesto por las siguientes partes:

- **Capa de percepción (Sensing):** Los sensores usados para la adquisición de los signos vitales del paciente son los siguientes: El sensor Ad8232 que capturó los datos la señal electrocardiograma, el sensor MAX30102 el cuál adquirió el valor de SpO2, frecuencia cardíaca y señal PPG, para la temperatura se empleó el sensor LM35. Además, se implementó el sensor DHT11 que nos brindará datos de temperatura y humedad ambiental.
- **Capa de red (Network):** Se utilizó la tecnología inalámbrica Wi-Fi para realizar la comunicación entre el microcontrolador ESP32 y la plataforma de integración, lo que permitió el envío de los signos vitales del paciente hacía la nube para su posterior análisis.
- **Capa de middle-ware:** Para la interpretación y almacenamiento de la información se empleó Firebase usando su herramienta de Base de datos en tiempo real, se conectó el dispositivo enviando los datos en formato JSON, de este formato para el sensor Ad8232 se envió en un Array y para el MAX30102, LM35 y DHT11 en formato float. Conjuntamente, en esta etapa se encuentra CallMeBot que se encarga de enviar una alerta cuando el parámetro de Frecuencia cardíaca/Temperatura superen un límite establecido.
- **Capa de aplicación (Application):** La Base de datos en tiempo real de Firebase se comunicó con una aplicación web basada en código HTML, por lo tanto, se creó la interfaz de usuario final dónde se puede observar y analizar los signos vitales (SpO2, frecuencia cardíaca, señal ECG y PPG) y datos de temperatura y humedad para analizar en las condiciones ambientales en las que se encuentra el paciente y cómo influye en sus signos vitales para los pacientes que sufren enfermedades crónicas. Además, en esta etapa se encuentra WhatsApp que recibe la alerta de CallMeBot enviada por el ESP32 y notifica al médico/familiar que existe un problema con el paciente. Finalmente, desde Firebase se realiza la integración con Google Sheets para que los datos del paciente se puedan almacenar y el médico pueda analizar profundamente el historial clínico del paciente.

La arquitectura IoT del dispositivo de monitoreo se ilustra en la **Figura 27**:

**Figura 27.**  
*Arquitectura del dispositivo de monitoreo*



Fuente: Elaborado por el autor

## 5.4 Integración del hardware y software del dispositivo

A continuación, se describirá los pasos para la conexión entre el dispositivo con la base de datos de Firebase y, posteriormente, vincularlo con la aplicación web (página web) donde se visualizarán y analizarán los datos.

## 5.5 Creación del proyecto en Firebase

En la plataforma de Firebase creamos un nuevo proyecto y asignamos el nombre que le vamos a dar a nuestro dispositivo:

**Figura 28.**  
*Ingreso del nombre del proyecto*

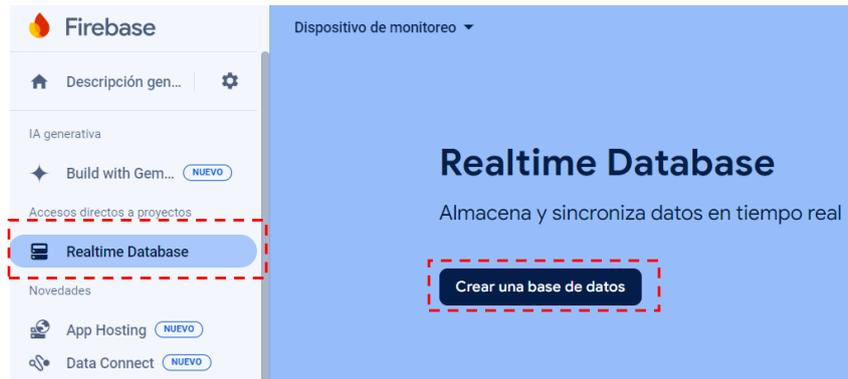


Fuente: Elaborado por el autor

### 5.5.1. Configuración de Realtime Database

Una vez que creamos el proyecto, nos dirigimos a la herramienta de "Realtime Database" y damos clic en "Crear una base de datos"

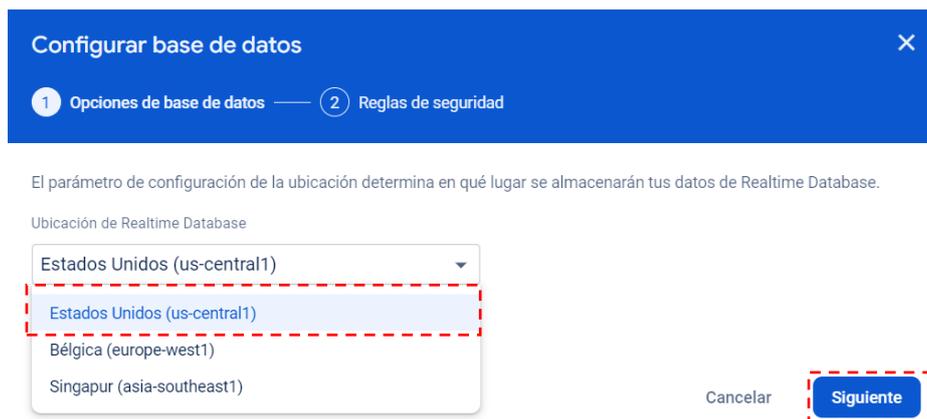
**Figura 29.**  
*Crear base de datos Realtime Database*



Fuente: Elaborado por el autor

Posteriormente, damos clic en “*Estados Unidos (us-central1)*”, que será la ubicación del servidor dónde estarán almacenados nuestros datos.

**Figura 30.**  
*Ubicación de la base de datos*



Fuente: Elaborado por el autor

El segundo paso será definir las reglas para proteger los datos que llegarán desde el dispositivo a la plataforma, en nuestro caso damos clic en comenzar en “*Comenzar en modo bloqueado*” y luego clic en “*Habilitar*”.

**Figura 31.**  
*Reglas de la base de datos*



Fuente: Elaborado por el autor

Consecuentemente, se visualizará la interfaz de Realtime Database, dónde realizaremos una configuración adicional.

### i. Modificar las reglas de los datos

Anteriormente definimos las reglas en modo bloqueado, por lo tanto, debemos editar esas reglas con la intención de que únicamente las cuentas que nosotros permitamos puedan ver y analizar los datos, proporcionando así una mayor seguridad a los datos del paciente.

#### Figura 32.

*Modificar reglas para mayor seguridad*



Fuente: Elaborado por el autor

### 5.5.2. Configuración de Autenticación

En este apartado vamos a crear las cuentas que tendrán permitido acceder a los datos del paciente que el dispositivo está enviando.

Primero damos clic en “Autenticación” y luego en “Método de acceso”. Ahora, en este apartado podemos elegir el método que queramos usar para ingresar nuestra cuenta, en nuestro caso elegimos “Correo electrónico/contraseña” ya que es método general que la mayoría de las personas poseen.

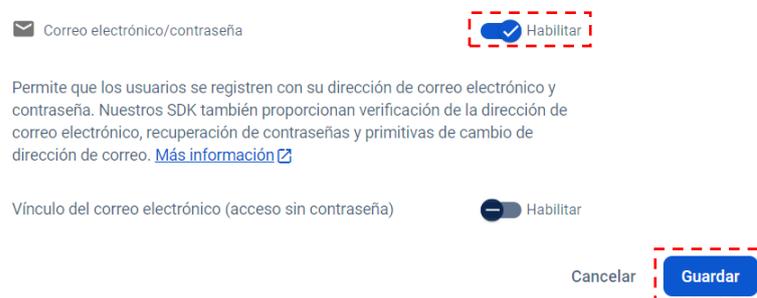
**Figura 33.**  
*Definir modo de acceso a la base de datos*



Fuente: Elaborado por el autor

Habilitamos el correo electrónico para nuestro proyecto y damos clic en Guardar.

**Figura 34.**  
*Habilitar acceso para correo electrónico*



Fuente: Elaborado por el autor

Finalmente, nos dirigimos al apartado de “Usuarios” y agregamos las cuentas que van a tener acceso a los datos ingresando su correo electrónico y contraseña.

**Figura 35.**  
*Agregar cuenta autorizada*



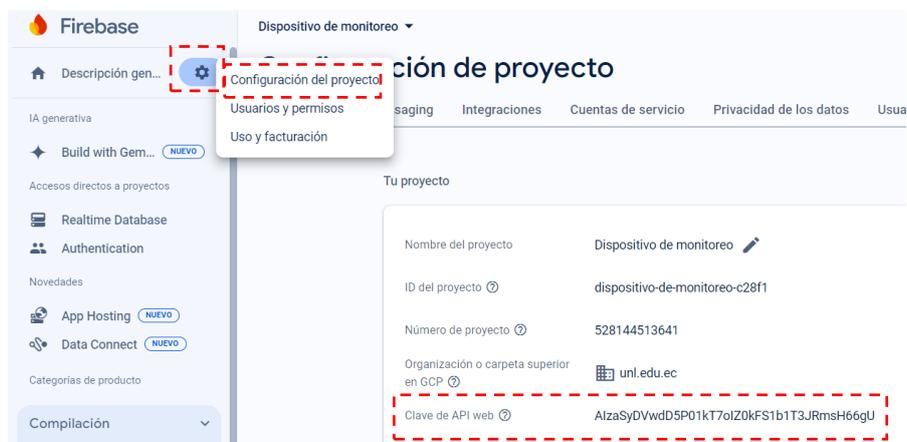
Fuente: Elaborado por el autor

### 5.5.3. Identificadores para la programación

Una vez que configuramos nuestro proyecto en Realtime Database debemos extraer algunos datos del proyecto para incluirlos en el código que vamos a realizar.

- i. **Clave de API web:** La clave API es un identificador único que sirve para garantizar que solo los dispositivos autorizados puedan acceder y publicar en el proyecto de Firebase

**Figura 36.**  
*Clave de API web*



Fuente: Elaborado por el autor

- ii. **URL de referencia:** La URL es la dirección única que proporciona acceso a la base de datos desde el dispositivo para que este pueda leer o enviar los datos recopilados del paciente

**Figura 37.**  
*URL de referencia*

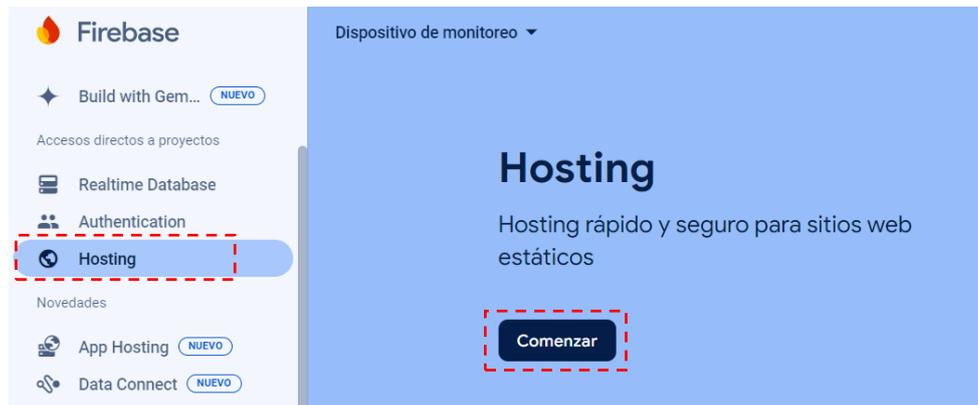


Fuente: Elaborado por el autor

### 5.5.4. Herramienta de Firebase Hosting

La visualización y análisis de los datos se realizará en una interfaz web, por lo tanto, en este apartado debemos indicarle a Firebase que nos proporcione unas credenciales mediante el uso de su herramienta “Hosting” dando clic en “Comenzar”

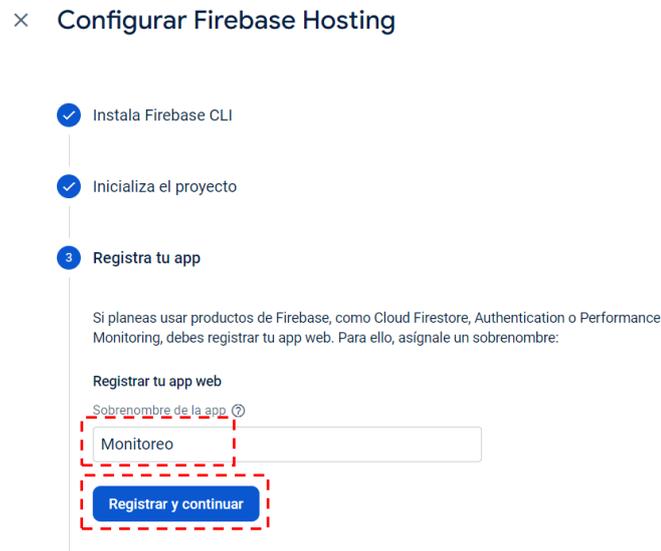
**Figura 38.**  
*Integración de Hosting*



Fuente: Elaborado por el autor

Posteriormente, asignamos un nombre a nuestra app web que estamos creando y damos clic en “Registrar y continuar”

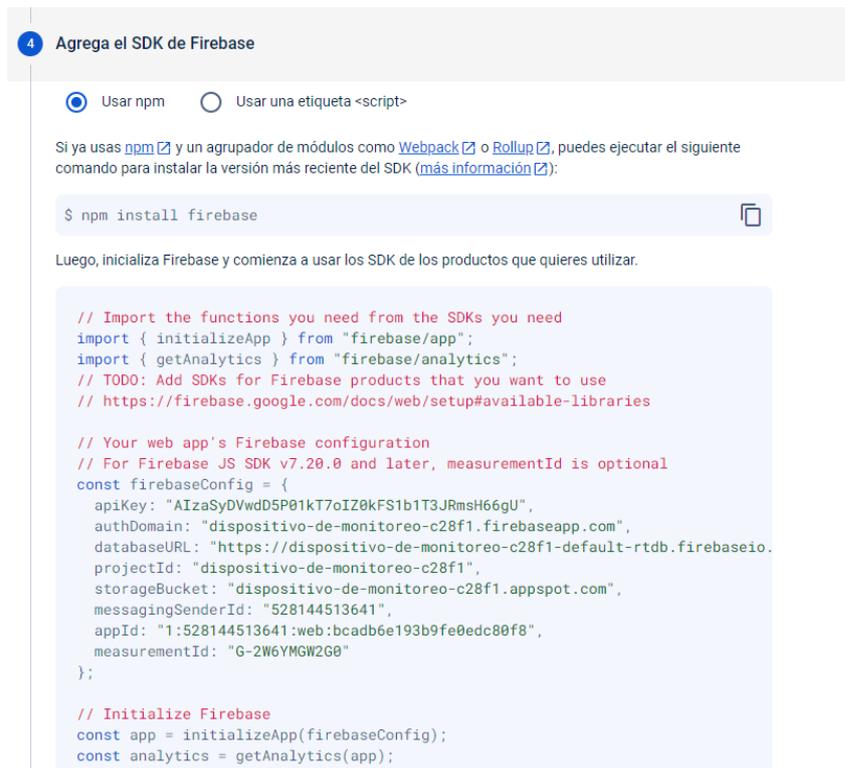
**Figura 39.**  
*Ingresar nombre de app web*



Fuente: Elaborado por el autor

Finalmente, Firebase nos proporciona instrucciones para agregar el SDK (Kit de Desarrollo de Software) que nos servirá al momento de escribir el código para inicializar nuestra aplicación web.

**Figura 40.**  
*SDK de Firebase para app web*



Fuente: Elaborado por el autor

### **5.5.5. Integración con la página web**

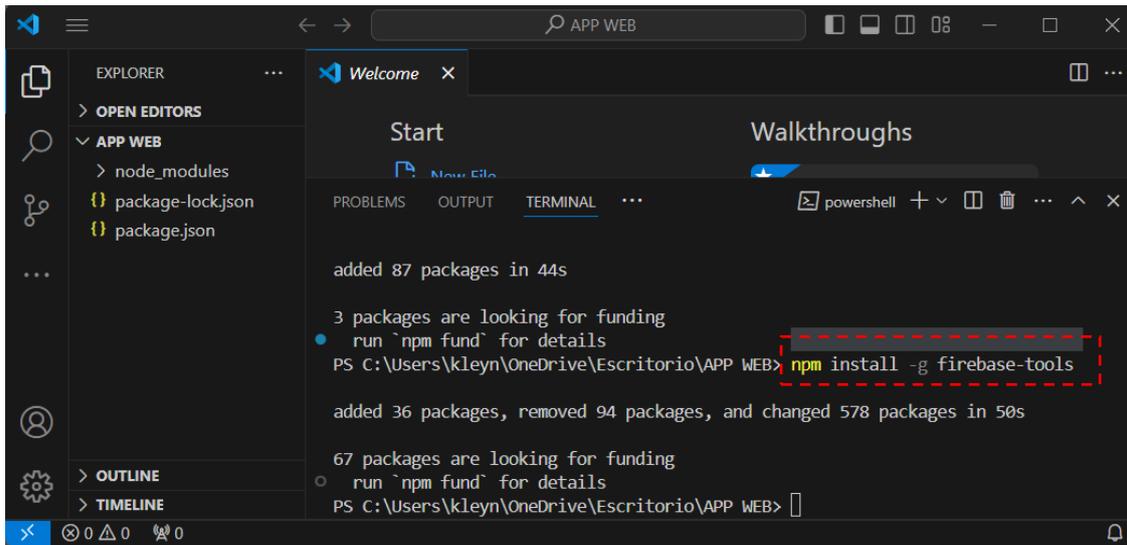
Cuando los datos de los signos vitales se encuentran en Firebase los integramos mediante el uso de Hosting a la página web creada mediante programación HTML y JavaScript. El proceso de integración es el siguiente:

- **Paso 1:** Crear una carpeta en el escritorio de nuestra computadora y luego abrimos esa carpeta usando el software Visual Studio Code.

Primeramente, debemos instalar Firebase, para ello abrimos el terminal e ingresamos el siguiente comando:

***npm install -g firebase-tools***

**Figura 41.**  
*Instalación de CLI Firebase*



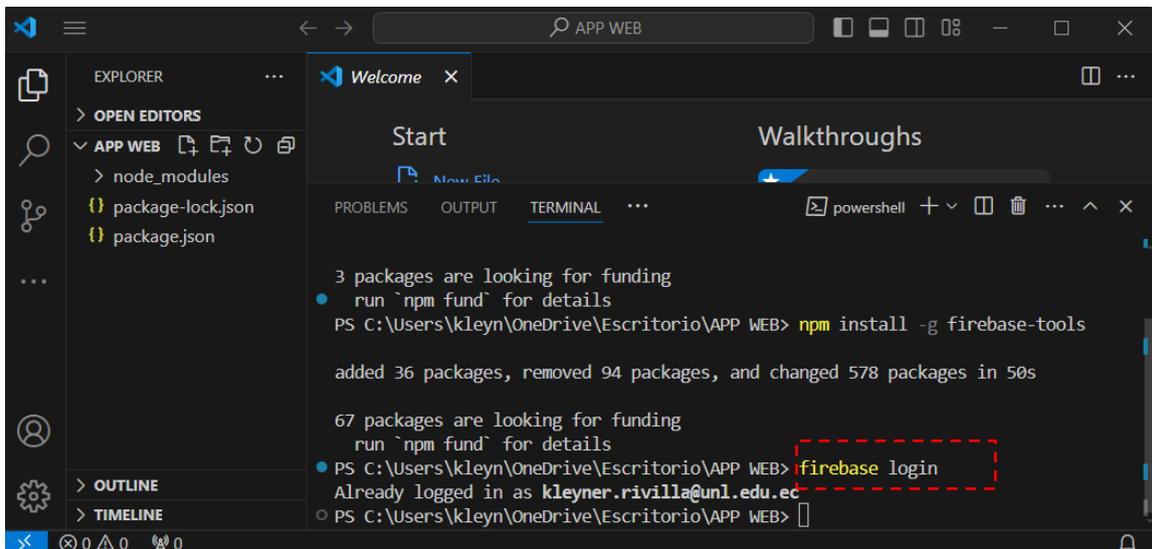
Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 2:** Teniendo el CLI de Firebase instalado, nos autenticamos para iniciar un proyecto nuevo.

Ingresamos el siguiente comando:

*firebase login*

**Figura 42.**  
*Autenticación de Firebase*



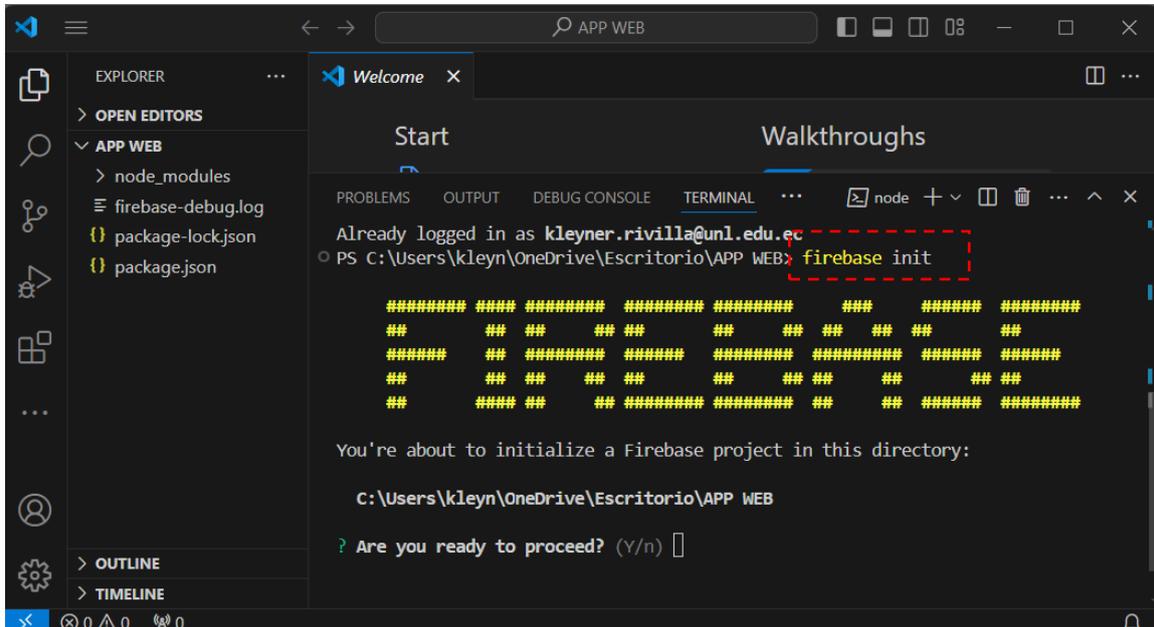
Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 3:** Ahora estamos situados en nuestra cuenta de Firebase, procedemos a iniciar Firebase para escoger nuestro proyecto.

Ingresamos el siguiente comando y luego ingresamos (Y):

## *firebase init*

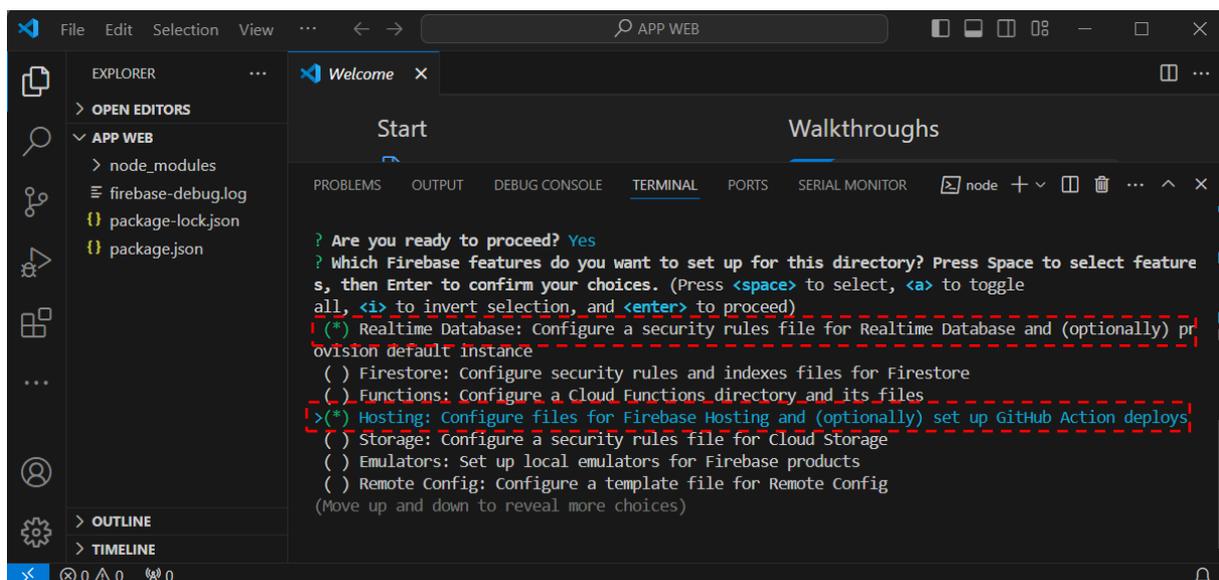
**Figura 43.**  
*Iniciar Firebase*



Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 4:** Nos desplazamos y seleccionamos:
  - *Realtime Database: Configure a security rules file for Realtime Database and (optionally) provision default instance*
  - *Hosting: Configure files for Firebase Hosting and (optionally) set up GitHub Action deploys*

**Figura 44.**  
*Selección de funciones de Firebase*

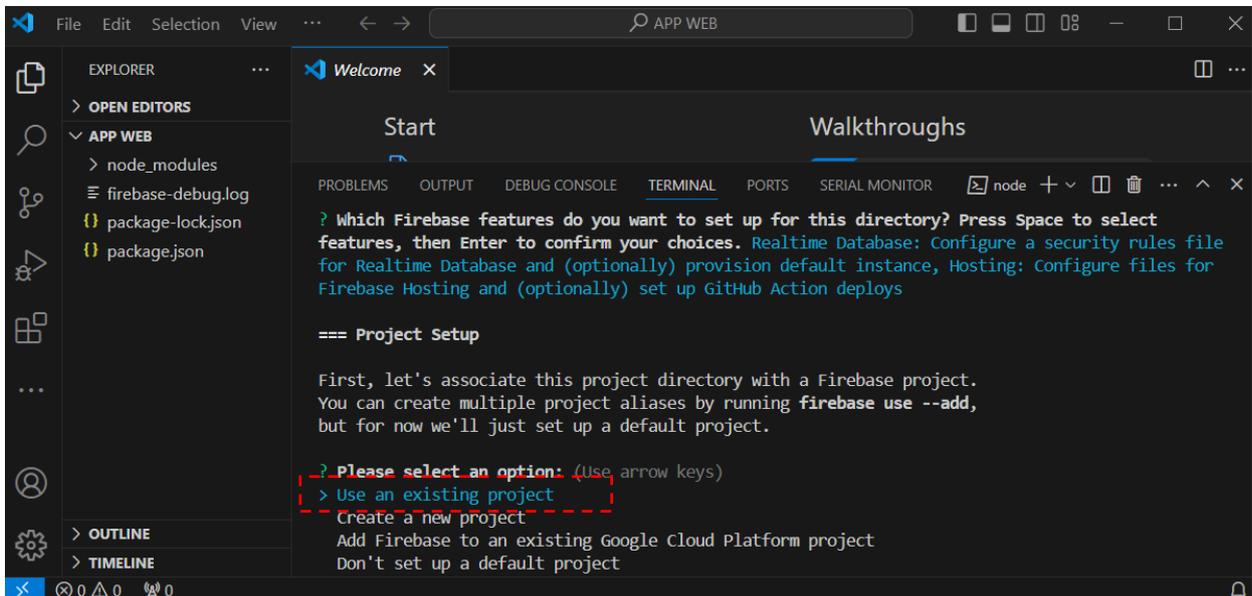


Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 5:** Seleccionamos la primera opción de Usar un proyecto existente:

**Figura 45.**

*Selección de proyecto existente*

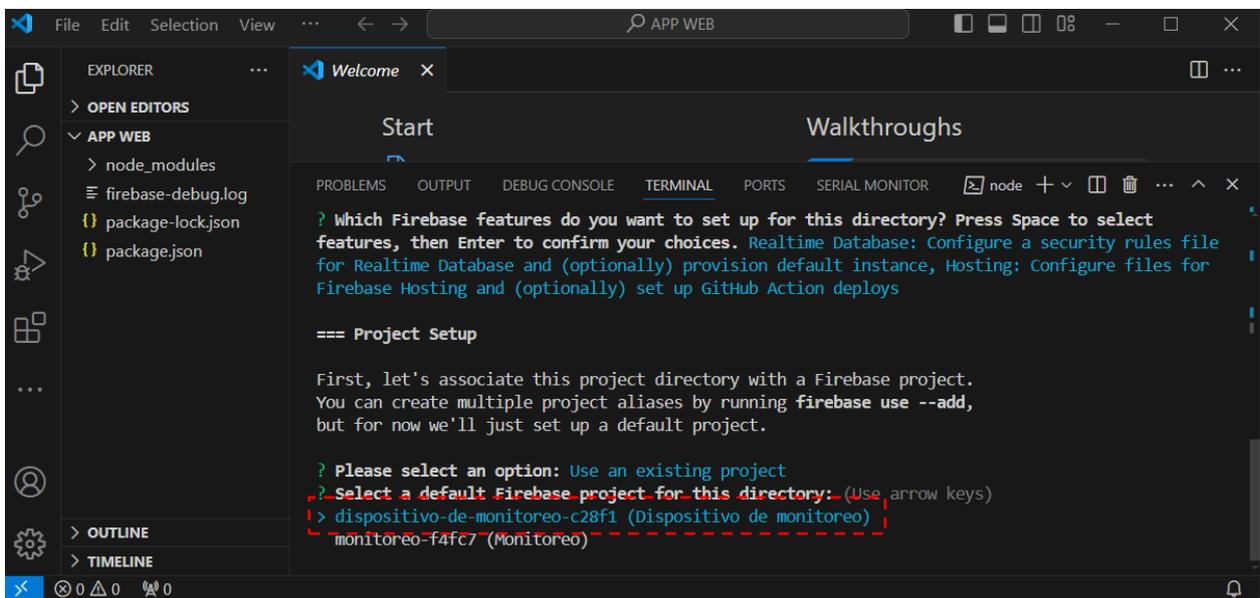


Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 6:** Escogemos el nombre de nuestro proyecto que creamos anteriormente

**Figura 46.**

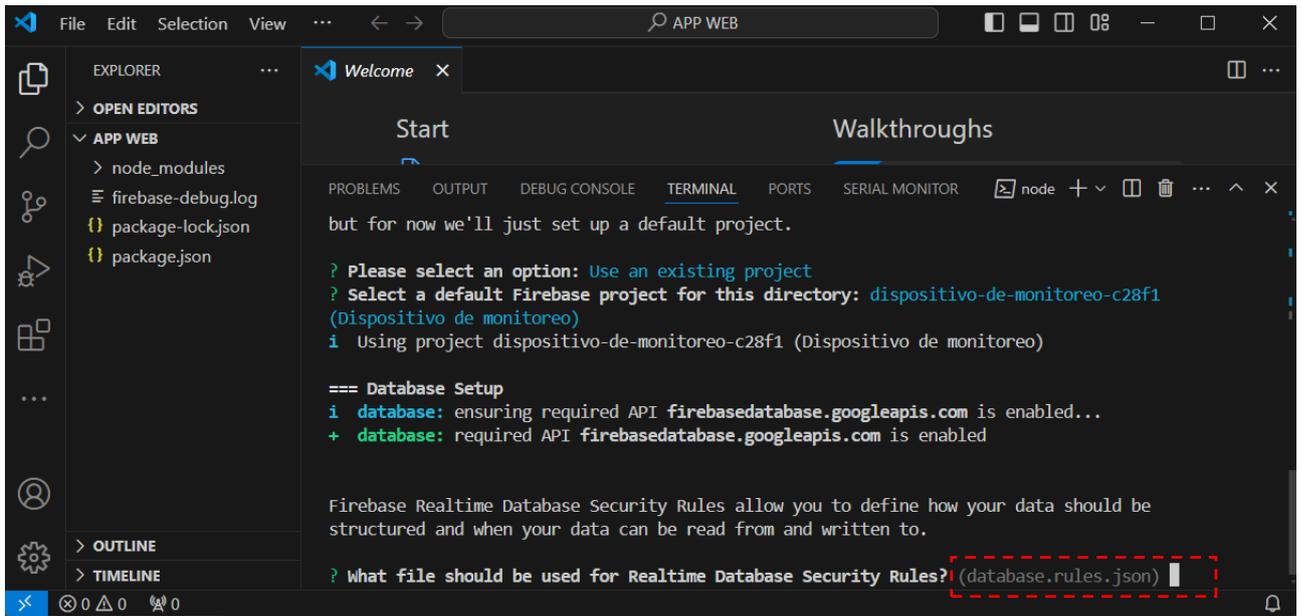
*Selección de proyecto creado*



Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 7:** Damos *enter* para indicar que se tomen las mismas reglas que ya configuramos anteriormente en la creación del proyecto

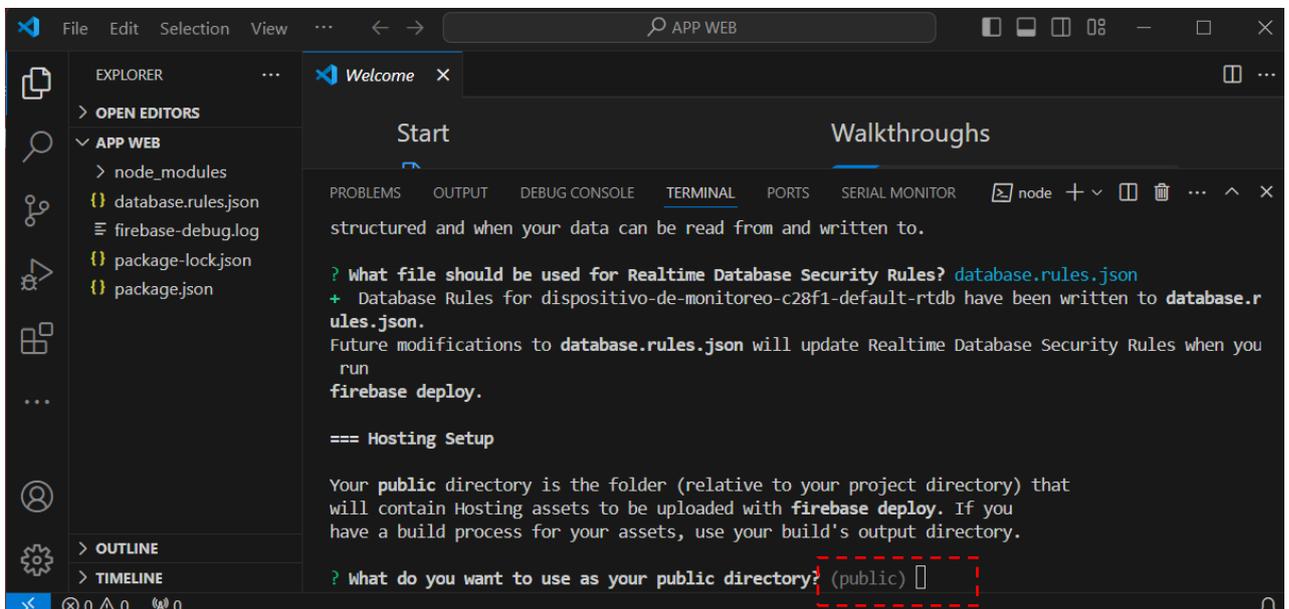
**Figura 47.**  
*Aplicar reglas al proyecto*



Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 8:** Damos *enter* para indicar que el directorio de nuestro proyecto permanezca en público.

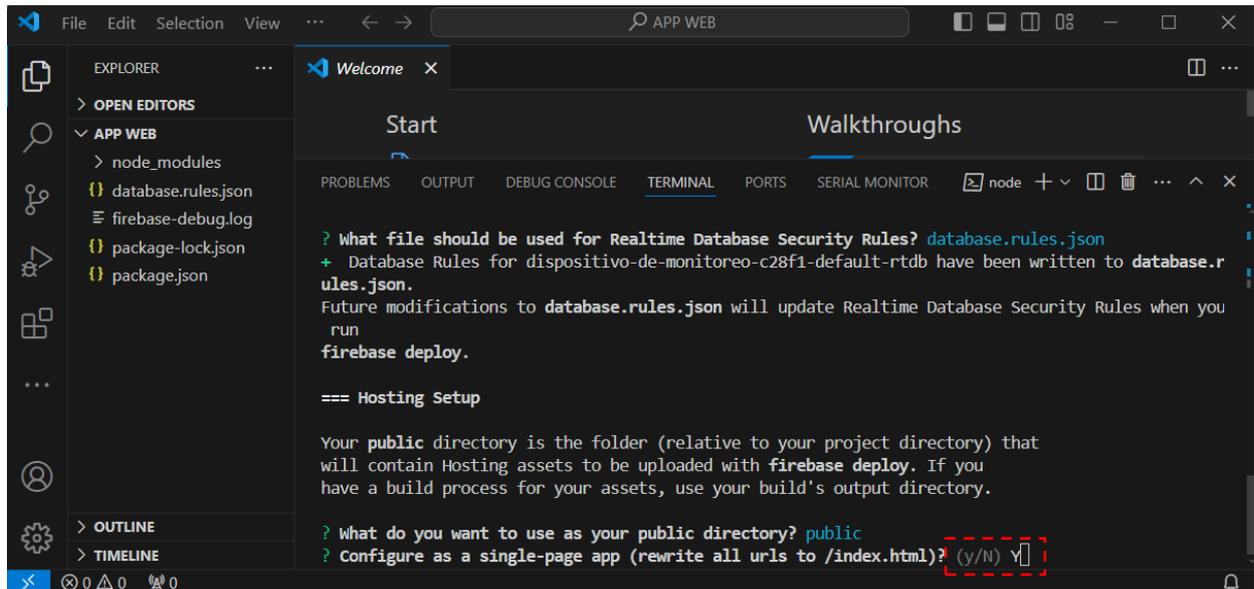
**Figura 48.**  
*Selección de directorio público*



Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 9:** Escribimos *(Y)* para indicar que es una aplicación de página única

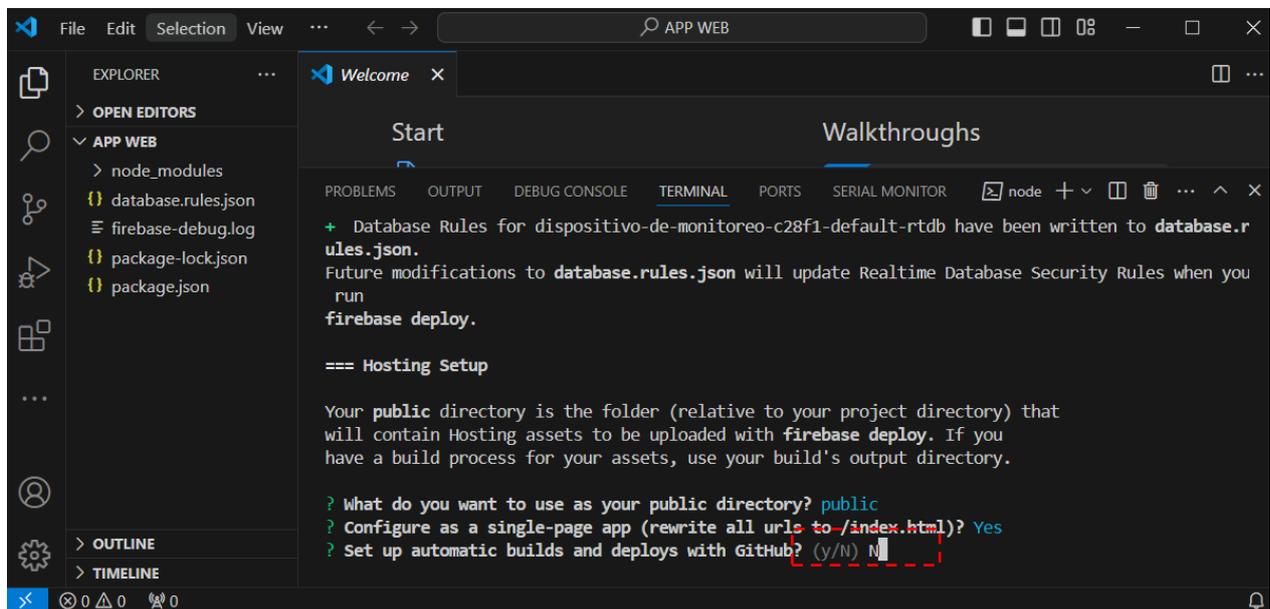
**Figura 49.**  
*Selección de página única del proyecto*



Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 10:** Escribimos (N) porque no queremos realizar compilaciones en GitHub

**Figura 50.**  
*Negar compilaciones en GitHub*

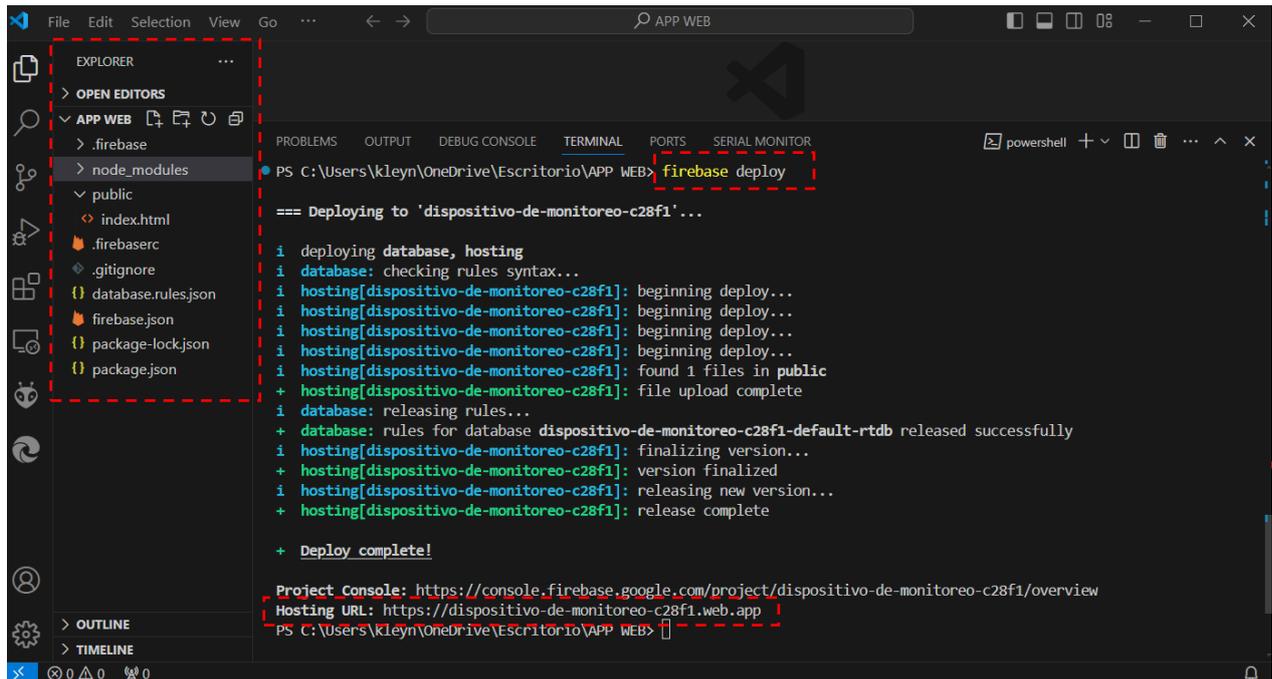


Fuente: Elaborado por el autor

- **Paso 11:** Posteriormente, Firebase nos crea una página web base para su modificación. Para ver la página web base, ingresamos el siguiente comando:

*firebase deploy*

**Figura 51.**  
*Copilar desde la raíz del proyecto*

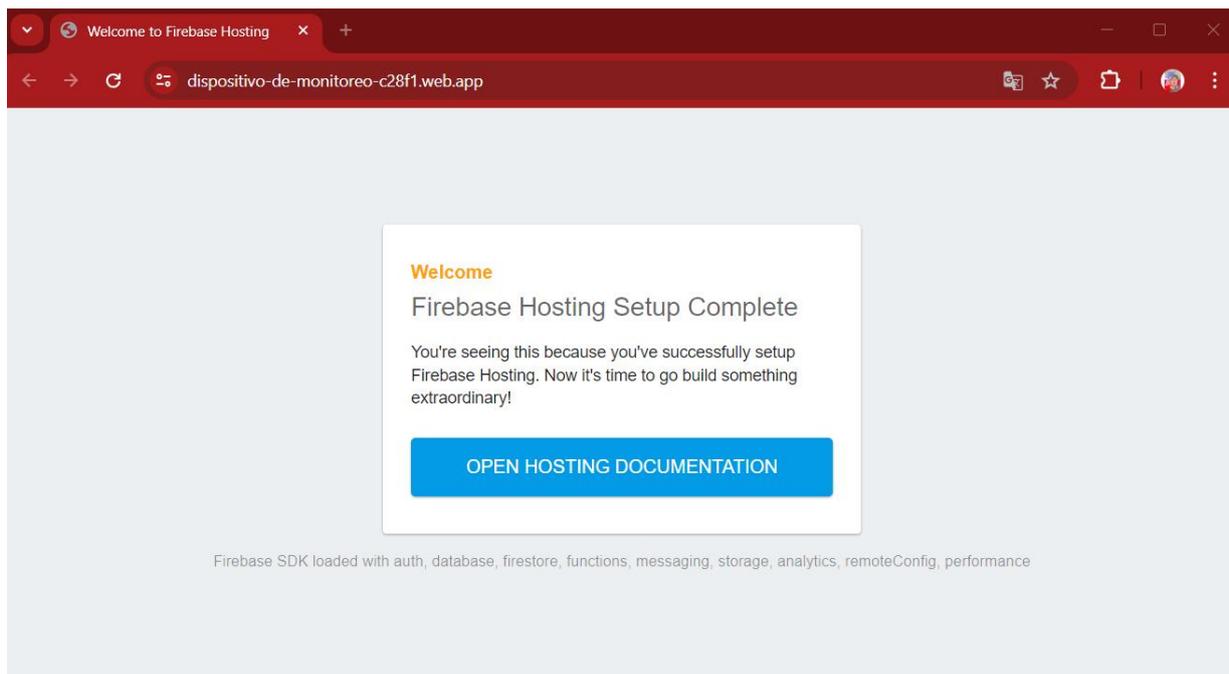


Fuente: Elaborado por el autor

Además, podemos observar que Firebase entregará una URL publicada en internet desde la cual podemos acceder a tu proyecto desde cualquier parte.

En la **Figura 52** se muestra la página base que nos crea Firebase.

**Figura 52.**  
*Página web base*



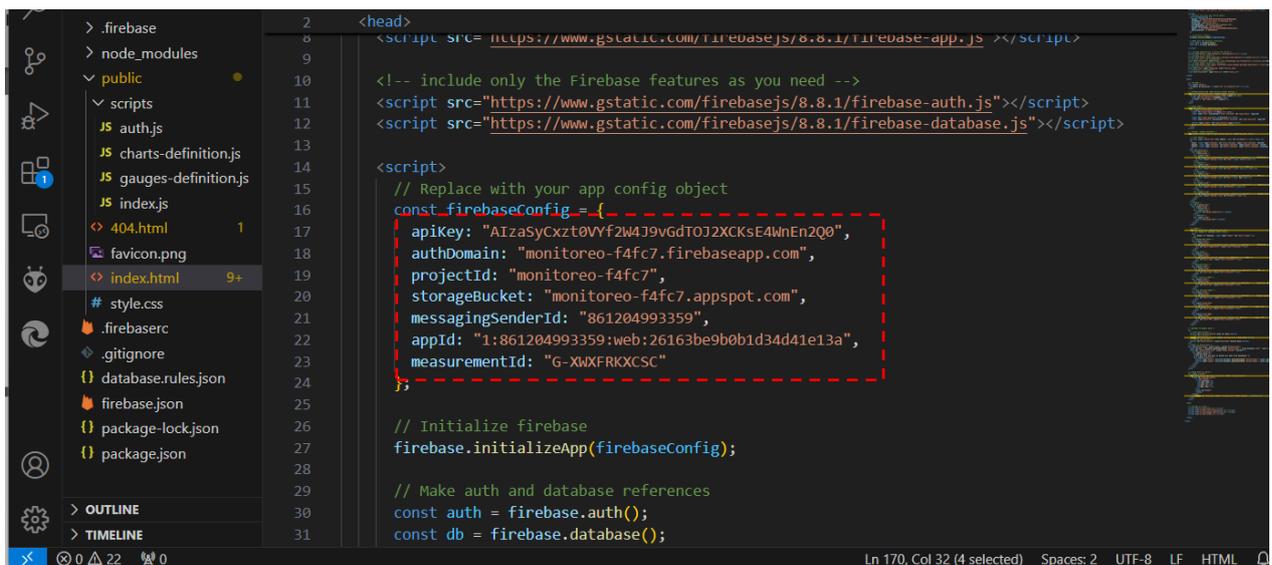
Fuente: Elaborado por el autor

Por otro lado, podemos observar que nos crea carpetas en la sección de *EXPLORER* de Visual Studio Code, en este apartado es donde agregaremos los scripts para la configuración de la página web.

Finalmente, de acuerdo a nuestra configuración debemos agregar el SDK descrito en la **Figura 40**, en el script de *index.html* dónde se encuentra el código raíz de nuestra página web. En la **Figura 53** se muestra la ubicación del SDK.

**Figura 53.**

*Ingreso de SDK en el script raíz.*



```
2 <head>
8 <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-app.js"></script>
9
10 <!-- include only the Firebase features as you need -->
11 <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-auth.js"></script>
12 <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-database.js"></script>
13
14 <script>
15 // Replace with your app config object
16 const firebaseConfig = {
17   apiKey: "AIzaSyCxzt0VYf2W4J9vGdTOJ2XCKsE4WnEn2Q0",
18   authDomain: "monitoreo-f4fc7.firebaseio.com",
19   projectId: "monitoreo-f4fc7",
20   storageBucket: "monitoreo-f4fc7.appspot.com",
21   messagingSenderId: "861204993359",
22   appId: "1:861204993359:web:26163be9b0b1d34d41e13a",
23   measurementId: "G-XWXRKXCSC"
24 };
25
26 // Initialize firebase
27 firebase.initializeApp(firebaseConfig);
28
29 // Make auth and database references
30 const auth = firebase.auth();
31 const db = firebase.database();
```

Fuente: Elaborado por el autor

## 6. Resultados

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos basándose en los objetivos específicos planteados inicialmente. Se describe detalladamente cuales son los datos encontrados y se analizan cada uno de ellos.

**Objetivo específico 1:** *“Investigar y analizar información relacionada con el monitoreo de enfermedades crónicas, tecnologías inalámbricas y componentes de hardware y software para el diseño del prototipo junto con las plataformas digitales de visualización y análisis de los datos”*

### 6.1 Resultados obtenidos de la investigación de información

Para el primero objetivo se realizó una investigación detallada en diferentes motores de búsqueda como: Google Académico, ScienceDirect, IEEE y PubMed con el objetivo de recolectar información de interés sobre las enfermedades crónicas, elementos de hardware (sensores) para la toma de signos vitales del cuerpo y ambiente, tecnología adecuada para la comunicación de los sensores con la base de datos y app web de visualización e información de los signos vitales de los pacientes.

A continuación, en la **Tabla 14** se presenta los resultados obtenidos de toda la búsqueda de información; sensores seleccionados, tecnología de comunicación, plataforma de IoT y variables usadas para el monitoreo de signos vitales.

**Tabla 14.**  
*Resultados de investigación de información*

Tecnología inalámbrica	Componente de software	Monitoreo de enfermedades crónicas	Componentes de hardware
802.11 (Wi-Fi)	Firebase (Realtime Firebase - Hosting)	Frecuencia cardíaca	MAX30102
		SpO2	MAX30102
		Temperatura	LM35
		Señal ECG	AD8232

*Nota.* Adicionalmente, se monitoreó la temperatura y humedad ambiente, porque es una variable que afecta a personas con ASMA y/o EPOC. Fuente: Elaboración propia

De toda la información recolectada en la sección **4.2** la información presentada por Kullayappa et al. (2023) describe los signos vitales básicos que se deben medir para monitorear enfermedades crónicas de las cuales están las enfermedades cardiovasculares y enfermedades

respiratorias como el ASMA y/o EPOC, por lo tanto, de esa información se estudió las variables de frecuencia cardíaca, SpO<sub>2</sub>, temperatura y señal ECG – PPG. Además, para los pacientes que tienen ASMA y/o EPOC tienden a tener complicaciones de salud respecto al clima dónde se encuentran, por consiguiente, se analizó la temperatura y humedad ambiente para estos pacientes en específico.

Posteriormente, los elementos de hardware fueron seleccionados de acuerdo a los requerimientos de las variables a sensar y tomando en cuenta que posean una mayor tasa de precisión y menor precio. En la sección **5.1** se analizó diferentes sensores para la toma de signos vitales de los cuales se seleccionaron el AD8232, MAX30102 y LM35, luego para la temperatura y humedad se eligió el sensor DHT11.

Finalmente, la tecnología de comunicación que conectará el dispositivo de monitoreo con la plataforma IoT es la tecnología Wi-Fi. El microcontrolador ESP32 cuenta con este medio de comunicación enviando los datos a Firebase, que servirá como base de datos. Desde allí, los datos son reenviados mediante el uso de Hosting a una interfaz web para visualizar y analizar las mediciones.

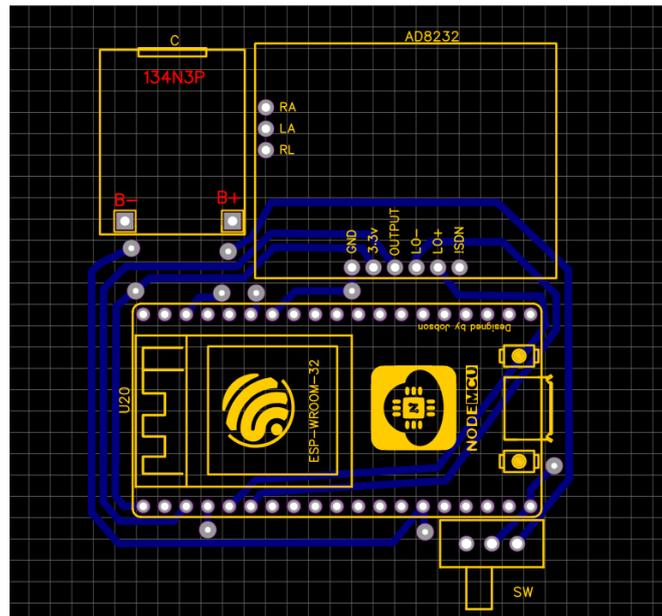
**Objetivo específico 2:** *“Construir el dispositivo biosensor, asegurando una comunicación fluida entre los sensores y la plataforma digital, logrando la visualización en tiempo real de los datos del paciente”*

## **6.2 Resultados del diseño del circuito impreso**

Para cumplir el objetivo 2, primero se realizó el diseño en el software Fritzing de las conexiones de hardware que se deben realizar, lo cual se presenta en la sección **5.1.9**, en base a estas conexiones se procedió a realizar el diseño del circuito impreso en el software EasyEDA teniendo en cuenta conseguir realizar el diseño en el menor espacio posible, esto con la intención de evitar que el dispositivo sea muy invasivo, el diseño final se puede observar en la **Figura 54**.

Conjuntamente, se tuvo en cuenta que para los sensores MAX30102, LM35 y DHT11 no van directamente en la placa, por lo tanto, para estos sensores se colocaron pines específicos: 4 pines para el sensor MAX30102 y 3 pines para el sensor LM35. Por otra parte, para el sensor DHT11 se optó por soldar cables a la parte inferior de la placa con el fin de ahorrar espacio y se ubicará en la parte superior de los sensores soldados.

**Figura 54.**  
*Diseño de PCB en software EasyEDA*



Fuente: Elaboración propia

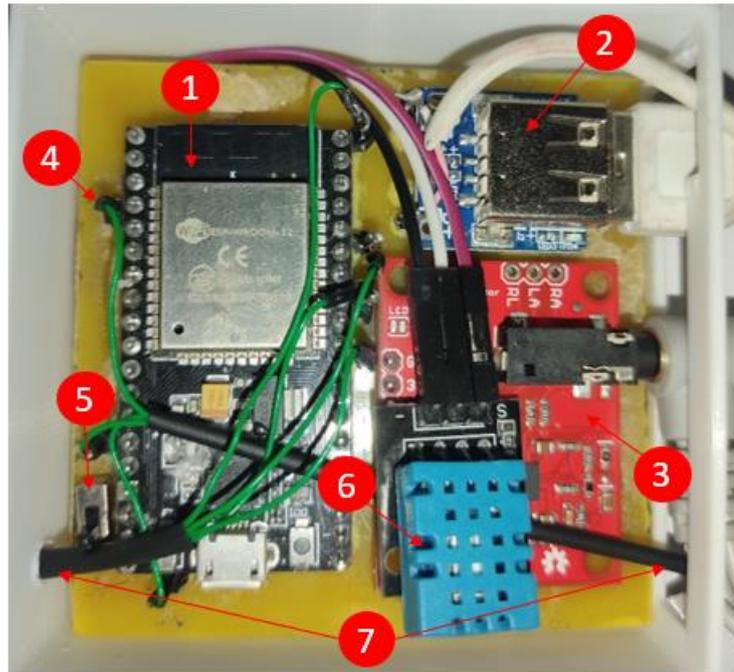
Finalmente, para la implementación de la batería se utilizará el módulo 134N3P y para ello se dejó 2 pines dónde se soldó los cables que conectarán en la entrada tipo A del módulo y con ellos se podrán alimentará los demás elementos.

### 6.3 Resultados de la construcción del dispositivo

En la **Figura 55** se puede observar el resultado del ensamblaje de los sensores que van dentro de la placa, el sensor AD8232, 134N3P, el microcontrolador ESP32 y los pines de salida para el sensor MAX30102, LM35. Estos elementos se distribuyen de la siguiente manera:

1. Microcontrolador ESP32
2. Módulo de carga 134N3P
3. AD8232
4. Pin de salida
5. Switch
6. DHT11
7. Salidas para MAX30102 y LM35

**Figura 55.**  
*Ensamblaje de los componentes*

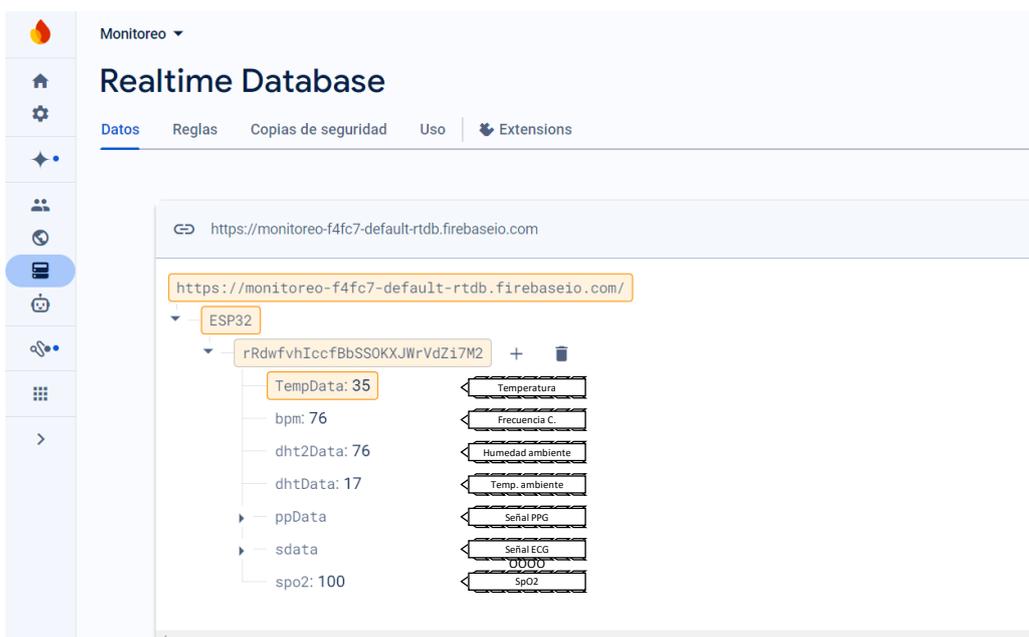


Fuente: Elaboración propia

#### 6.4 Comunicación entre el dispositivo y la plataforma IoT

El envío de los datos se da en formato JSON, el microcontrolador se comunica con la plataforma de Firebase mediante Wi-Fi y presenta los resultados mediante Realtime Firebase como se muestra en la **Figura 56**.

**Figura 56.**  
*Visualización de datos en Firebase*



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, estos datos son enviados mediante la opción Hosting de Firebase hacia la interfaz web dónde se pudo visualizar y analizar los signos vitales del paciente, estos datos se los puede observar en la **Figura 57**.

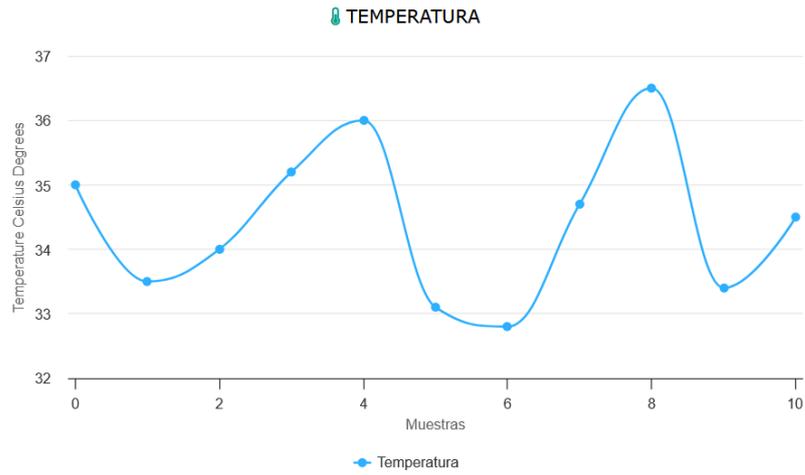
**Figura 57.**  
Presentación de los datos en la interfaz web



*Nota.* Aquí se presenta los datos que van llegando desde Firebase, es la primera parte de la interfaz  
Fuente: Elaboración propia

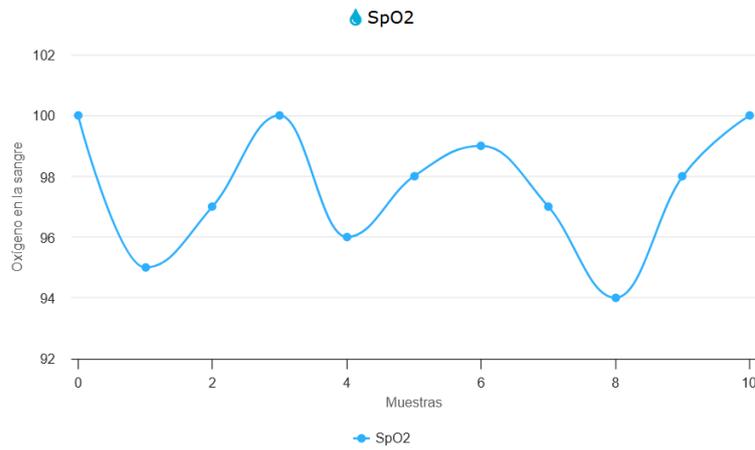
Al momento de seleccionar la opción de *Gráficos*, podremos observar la señal ECG y, además, se nos presentará una gráfica lineal de todas las variables que estamos evaluando.

**Figura 58.**  
*Datos de temperatura corporal de un paciente*



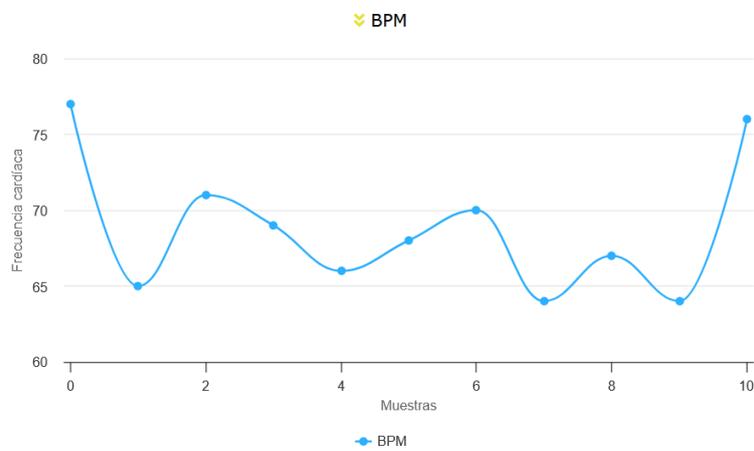
Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 59.**  
*Datos de SpO2 de un paciente*



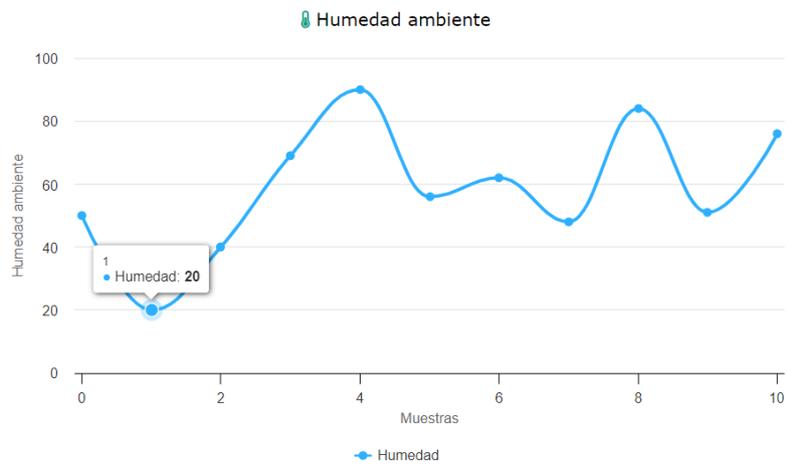
Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 60.**  
*Datos de Frecuencia cardíaca de un paciente*



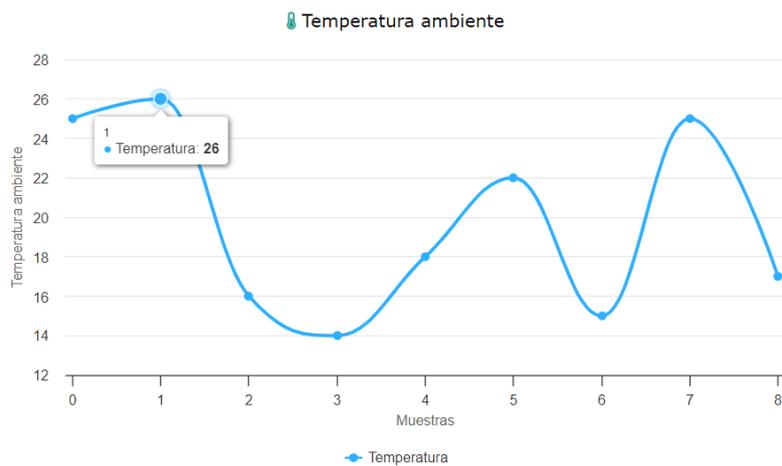
Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 61.**  
*Datos de Humedad ambiente dónde se encuentra el paciente*



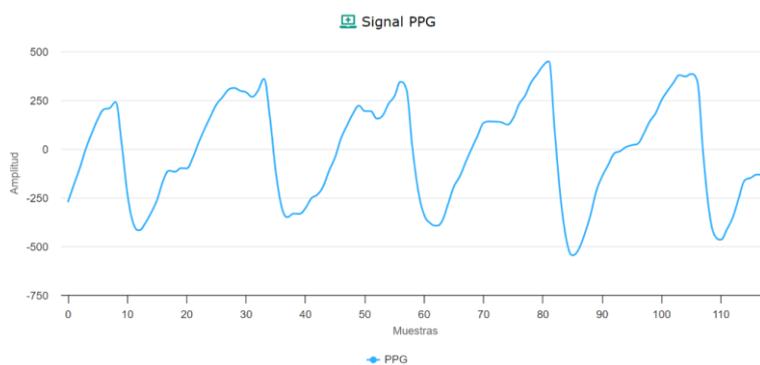
Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 62.**  
*Datos de Temperatura ambiente donde se encuentra el paciente*



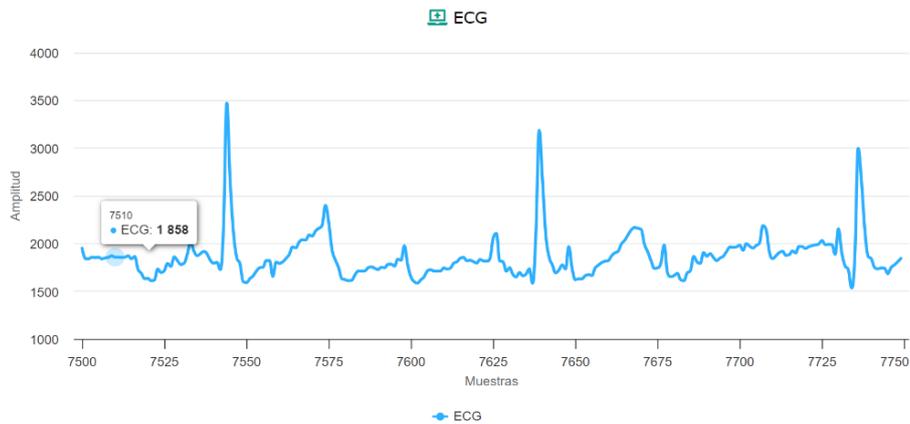
Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 63.**  
*Datos de la señal PPG de un paciente*



*Nota.* La señal PPG se grafica cada 118 valores tomados por el sensor. Fuente: Elaboración propia

**Figura 64.**  
Datos de la señal ECG de un paciente



*Nota.* La señal ECG se grafica cada 250 valores tomados por el sensor. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos presentados en la interfaz web, podemos visualizar que existe una comunicación fluida entre el dispositivo, la plataforma IoT y la propia interfaz. Esto se puede corroborar analizando la **Figura 56** y la **Figura 57**, dónde observamos que los valores que está proporcionado el dispositivo coinciden con los valores que se están presentando en la interfaz para su posterior análisis.

### 6.5 Historial clínico y envío de alertas

Los pacientes que usen el dispositivo sus datos de signos vitales se guardaran automáticamente la plataforma de Google Sheets para su posterior análisis y variaciones en los datos que está capturando. Por otro lado, cuando una variable no esté en los rangos normales de un paciente el dispositivo enviará una alerta de WhatsApp notificando la variable en cuestión y el valor anormal que está capturando del paciente.

El proceso tanto para la vinculación como la presentación de los datos medidor por el dispositivo biosensor se detalla en el **Anexo 1**.

La **Figura 65** muestra los datos guardados del paciente y en la **Figura 66** se observa las alertas que le llegan a los contactos previamente configurados.

**Figura 65.**  
*Historial clínico del paciente*

HISTORIAL DEL PACIENTE Guardado en Drive

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Extensiones Ayuda

Menús 100% \$ % 0.00 123 Times ... 12 + B I A

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Fecha y Hora	Spo2	Temperatura	Frecuencia cardiaca	Temperatura Ambiente	Humedad	Señal PPG	Señal ECG														
176	8/7/2024 23:31:15	88	34,41758	67	20,6	70	-37,37241	-44,1862	-46,5931	0,79655	8,9828	4,4912	7,2429	3,6223	1,8115	0,9051	5,4529	7,7267	3,8634	1,9314	5,9650	2,982
177	9/7/2024 14:16:49	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7615	5,3804	2,6900	8,6548	9,3274	9,6637	4,8311	1,7415	1,8707	9,9354	1,9677	0,4838	7,419
178	9/7/2024 20:03:47	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7615	5,3804	2,6900	8,6548	9,3274	9,6637	4,8311	1,7415	1,8707	9,9354	1,9677	0,4838	7,419
179	9/7/2024 20:03:49	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7615	5,3804	2,6900	8,6548	9,3274	9,6637	4,8311	1,7415	1,8707	9,9354	1,9677	0,4838	7,419
180	9/7/2024 20:04:49	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7615	5,3804	2,6900	8,6548	9,3274	9,6637	4,8311	1,7415	1,8707	9,9354	1,9677	0,4838	7,419
181	9/7/2024 20:05:49	98	32,10257	56	23	62	-142,28482	-177,14241	-179,5712	66,28542	1,4212	21,0710	0,5389	2,6783	6,3399	8,1699	4,0844	7,0420	8,5217	9,2607	0,3697	0,184
182	9/7/2024 20:06:49	98	27,18681	64	23	62	-6,95462	-12,97731	-19,48866	0,74432	3,7212	3,1391	1,3430	4,6715	8,3357	8,1676	3,0839	3,0419	5,0209	5,5104	4,2552	1,627
183	9/7/2024 20:07:49	98	26,05861	59	23	62	-95,13287	-100,56644	-91,28322	9,1416	1,0704	6,0353	5,5172	7,5885	8,7942	2,0602	4,0301	4,5150	3,2575	6,1287	6,5643	0,2821
184	9/7/2024 20:08:37	98	27,99267	76	23	62	-49,41141	-63,7057	-55,35285	6,6764	8,3382	7,1691	4,5845	2,2922	7,1461	5,0730	1,5365	5,2682	4,6341	8,3170	4,1580	0,0792
185	9/7/2024 20:08:49	97	28,79853	73	23	62	-163,037	-198,51849	-199,75925	0,8794	5,4390	8,7191	1,8594	4,9297	9,6493	5,1757	7,5873	8,7937	4,3967	7,1989	3,5997	6,799
186	9/7/2024 20:59:17	93	26,86447	70	23	62	-88,54576	-99,77288	-91,88644	9,4432	7,2216	6,1085	4,8054	5,4029	7,0130	3,5011	1,7537	0,8761	1,5438	8,2719	9,6359	5,317
187	10/7/2024 11:11:47	14	33,47253	44	24,9	53	86,26486	123,63243	132,31622	7,6581	2,8297	9,1457	4,5721	2,2863	6,1432	8,0717	4,0357	7,982	1,3991	3,1995	0,5997	2,998
188	10/7/2024 14:11:08	100	22,27106	57	25,8	48	17,74541	23,37271	11,18635	3,4068	0,7034	3,8517	9,9258	6,9629	1,9814	4,9075	2,453	6,1225	5,6137	7,1934	4,8596	2,4298
189	10/7/2024 16:27:57	98	25,65568	78	24,5	57	122,797	165,8985	168,4492	5,4224	2,8123	3,8063	4,0307	2,0153	1,0072	0,5031	1,0251	3,6012	5,0063	9,9968	9,4984	2,2492
190	10/7/2024 16:34:14	99	30,00733	50	24,9	54	-24,82	-33,41153	-34,20576	4,1028	8,5514	7,2757	1,3621	5,1810	3,5905	0,2952	4,6476	1,3238	9,6619	7,8309	6,4154	3,7077
191	10/7/2024 18:29:58	100	37,74359	65	22,2	67	-76,46563	-107,23282	-104,1164	9,5058	3,0291	1,5145	5,7529	3,7863	6,8933	3,4466	1,7238	5,8616	7,9930	6,3962	6,1982	0,0991
192	10/7/2024 22:33:09	100	30,00733	66	22,2	55	-40,865	-56,9325	-68,46625	9,2331	6,1165	2,0582	3,5291	0,7648	8,8822	4,9411	9,4705	5,2352	8,6176	2,3088	7,6544	6,8272
193	11/7/2024 1:58:06	103	18,70312	66	23	52	361,91739	452,45868	474,22934	0,1146	3,0573	0,5286	4,2647	8,1321	3,5667	7,8303	6,6084	9,8045	1,9023	3,4517	5,7254	2,862
194	11/7/2024 1:58:13	102	18,31348	69	23	52	-409,45596	-628,72797	-644,8640	1,7543	2,4701	1,8533	3,5247	6,7458	3,9197	5,4011	2,2700	2,1356	5,0678	5,0332	2,5168	2,258
195	15/7/2024 0:25:50	100	21,1709	77	22,6	52	-17,30157	-51,15079	-75,07539	5,8537	9,2688	6,1346	4,3270	2,1632	1,0837	5,548	7,7702	2,8884	7,4442	2,2238	6,1166	3,05

Fuente: Elaborado por el autor

## Figura 66.

Alerta de WhatsApp a contacto de confianza



*Nota.* El dato de temperatura fue provocado intencionadamente para confirmar el envío de la alerta correspondiente a esa variable. Fuente: Elaborado por el autor

**Objetivo específico 3:** *“Realizar pruebas de funcionamiento del dispositivo midiendo la factibilidad de las mediciones a través de análisis de ciencia de datos, así mismo, realizar pruebas en pacientes que padezcan enfermedades crónicas para verificar la funcionalidad del dispositivo”*

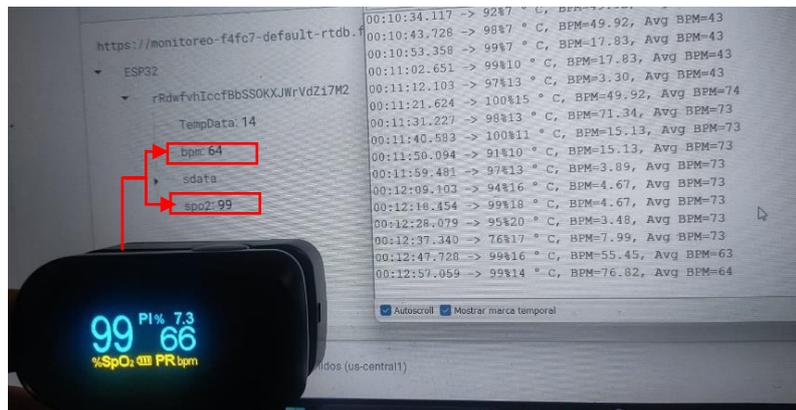
### 6.6 Pruebas preliminares del dispositivo

Para validar los datos que están capturando los sensores, primero se realizaron pruebas con los componentes conectados a una protoboard. Las pruebas se realizaron en el bloque de **Bienestar Estudiantil** de la **Universidad Nacional de Loja** en el puesto de **Atención médica** para estudiantes. El área cuenta con un doctor/a especializado junto con una enfermera, los cuales son los encargados de atender a estudiantes y maestros de la universidad que acuden diaria y semanalmente a realizarse controles de signos vitales, la mayor tendencia por afecciones respiratorias.

Con ayuda del doctor y enfermera encargada se realizó pruebas a un grupo de estudiantes con afecciones respiratorias como se aprecia en la **Figura 67**.

**Figura 67.**

*Primeras pruebas de validación de datos*



*Nota.* Las pruebas realizadas únicamente son para validar y calibrar los datos que están recopilando los sensores. Fuente: Elaborado por el autor.

Posteriormente, terminada la calibración de los sensores se procedió a realizar pruebas con el dispositivo final ensamblado en la PCB.

### 6.7 Resultados finales de la validación de los datos de SpO2

Para cuantificar la confiabilidad y validez del dispositivo se determinó el error absoluto y porcentaje de error basándose en 20 mediciones obtenidas las cuales se presentan en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.**

*Validación de datos de SpO2 del dispositivo*

Muestras	Dispositivo Comercial	Prototipo	Error	
	SpO2 (%)	SpO2 (%)	Error abs. %	Error %

<b>Paciente 1</b>	93	96	3	0.03
<b>Paciente 2</b>	98	97	1	0.01
<b>Paciente 3</b>	94	96	2	0.02
<b>Paciente 4</b>	99	98	1	0.01
<b>Paciente 5</b>	94	93	1	0.01
<b>Paciente 6</b>	98	97	1	0.01
<b>Paciente 7</b>	99	99	0	0.00
<b>Paciente 8</b>	100	99	1	0.01
<b>Paciente 9</b>	95	95	0	0.00
<b>Paciente 10</b>	97	96	1	0.01
<b>Paciente 11</b>	100	98	2	0.02
<b>Paciente 12</b>	96	94	2	0.02
<b>Paciente 13</b>	98	96	2	0.02
<b>Paciente 14</b>	99	97	2	0.02
<b>Paciente 15</b>	97	95	2	0.02
<b>Paciente 16</b>	94	93	1	0.01
<b>Paciente 17</b>	98	98	0	0.00
<b>Paciente 18</b>	96	98	2	0.02
<b>Paciente 19</b>	97	97	0	0.00
<b>Paciente 20</b>	95	96	1	0.01
			<b>Promedio %</b>	1 %

Fuete: Elaborador por el autor

El dispositivo comercial utilizado para la validación de los datos es el Oxímetro KI-200 de la marca K&I / K&Y el cuál según su fabricante presenta un margen de error de 4 (%). Por lo tanto, el dispositivo implementando se encuentra en el rango de parámetros válidos para la medición de estos signos vitales. Las mediciones se realizaron con 10 pacientes realizando 2 tomas cada 1 como se observa en la **Figura 68**.

**Figura 68.**

*Paciente de pruebas de validación de datos*



*Nota.* Se realizó varias pruebas en distintos lugares dónde la paciente realizó varias actividades con el fin de validar lo no invasivo del dispositivo. Fuente: Elaborado por el autor

### 6.8 Resultados finales de la validación de los datos de Frecuencia cardíaca

El dispositivo comercial también puede medir la frecuencia cardíaca del paciente dando como resultado los datos expuestos en la **Tabla 16**.

**Tabla 16.**  
*Validación de datos de Frecuencia cardíaca del dispositivo*

Muestras	Dispositivo Comercial	Prototipo	Error	
	Frecuencia cardíaca (Bpm)	Frecuencia cardíaca (Bpm)	Error abs. %	Error %
<b>Paciente 1</b>	72	74	2	0.03
<b>Paciente 2</b>	69	67	2	0.03
<b>Paciente 3</b>	70	70	0	0.00
<b>Paciente 4</b>	71	67	4	0.06
<b>Paciente 5</b>	66	65	1	0.02
<b>Paciente 6</b>	67	66	1	0.01
<b>Paciente 7</b>	65	63	2	0.03
<b>Paciente 8</b>	80	79	1	0.01
<b>Paciente 9</b>	68	65	3	0.04
<b>Paciente 10</b>	72	71	1	0.01
<b>Paciente 11</b>	73	70	3	0.04

<b>Paciente 12</b>	69	68	1	0.01
<b>Paciente 13</b>	71	68	3	0.04
<b>Paciente 14</b>	74	72	2	0.03
<b>Paciente 15</b>	68	69	1	0.01
<b>Paciente 16</b>	70	68	2	0.03
<b>Paciente 17</b>	66	64	2	0.03
<b>Paciente 18</b>	70	69	1	0.01
<b>Paciente 19</b>	80	78	2	0.03
<b>Paciente 20</b>	83	82	1	0.01
			<b>Promedio %</b>	2 %

Fuete: Elaborador por el autor

El Oxímetro KI-200 de la misma forma para la frecuencia cardíaca presenta un margen de error de  $\pm 2$  (%) o  $\pm 2$  (*bpm*). Lo que representa un margen de diferencia bajo respecto al dispositivo de monitoreo implementado.

### 6.9 Resultados finales de la validación de los datos de Temperatura

Para la temperatura se utilizó un termómetro comercial convencional, en la **Tabla 17** se puede observar los resultados de la verificación.

**Tabla 17.**

*Validación de datos de Temperatura del dispositivo*

<b>Muestras</b>	<b>Dispositivo Comercial</b>	<b>Prototipo</b>	<b>Error</b>	
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Error abs. %</b>	<b>Error %</b>
<b>Paciente 1</b>	35.1	36.48	1.38	0.04
<b>Paciente 2</b>	34.2	35.65	1.45	0.04
<b>Paciente 3</b>	35.2	34.89	0.31	0.01
<b>Paciente 4</b>	35	35.65	0.65	0.02
<b>Paciente 5</b>	35.5	34.8	0.7	0.02
<b>Paciente 6</b>	35.6	35.15	0.45	0.01

<b>Paciente 7</b>	34.1	33.84	0.26	0.01
<b>Paciente 8</b>	34.8	34.2	0.6	0.02
<b>Paciente 9</b>	35.3	34.9	0.4	0.01
<b>Paciente 10</b>	35.4	35.2	0.2	0.01
<b>Paciente 11</b>	35.2	34.7	0.5	0.01
<b>Paciente 12</b>	35.1	35.3	0.2	0.01
<b>Paciente 13</b>	35.2	34.86	0.34	0.01
<b>Paciente 14</b>	34.9	35.54	0.64	0.02
<b>Paciente 15</b>	35.3	34.21	1.09	0.03
<b>Paciente 16</b>	35.2	34.8	0.4	0.01
<b>Paciente 17</b>	35.4	34.9	0.5	0.01
<b>Paciente 18</b>	35.3	34.7	0.6	0.02
<b>Paciente 19</b>	35.1	34.76	0.34	0.01
<b>Paciente 20</b>	34.9	33.84	1.06	0.03
			<b>Promedio %</b>	2 %

Fuete: Elaborador por el autor

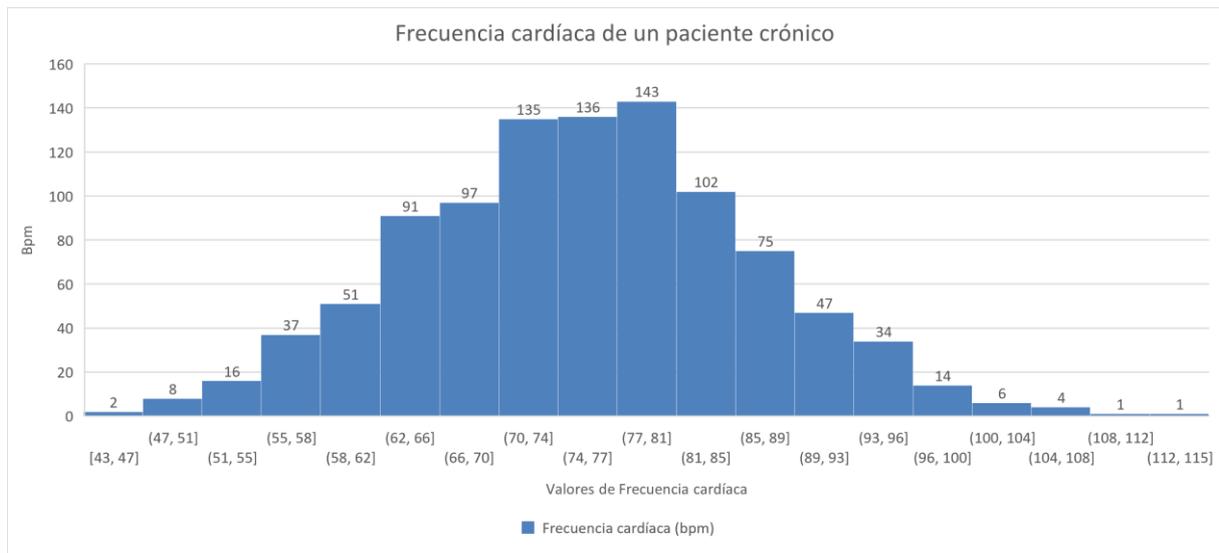
El fabricante del dispositivo comercial menciona que posee un margen de error de 1°C, por lo tanto, la variación respecto al promedio de error del dispositivo de monitoreo de signos vitales es mínima.

### **6.10 Resultados del control de los signos vitales de un paciente**

A continuación, se presenta las muestras de los signos vitales que se tomaron del control de un paciente voluntario con asma. Para obtener estos datos, el paciente se sometió a cambios climáticos durante un periodo de una semana, durante este tiempo se realizó múltiples mediciones de sus signos vitales.

**Figura 69.**

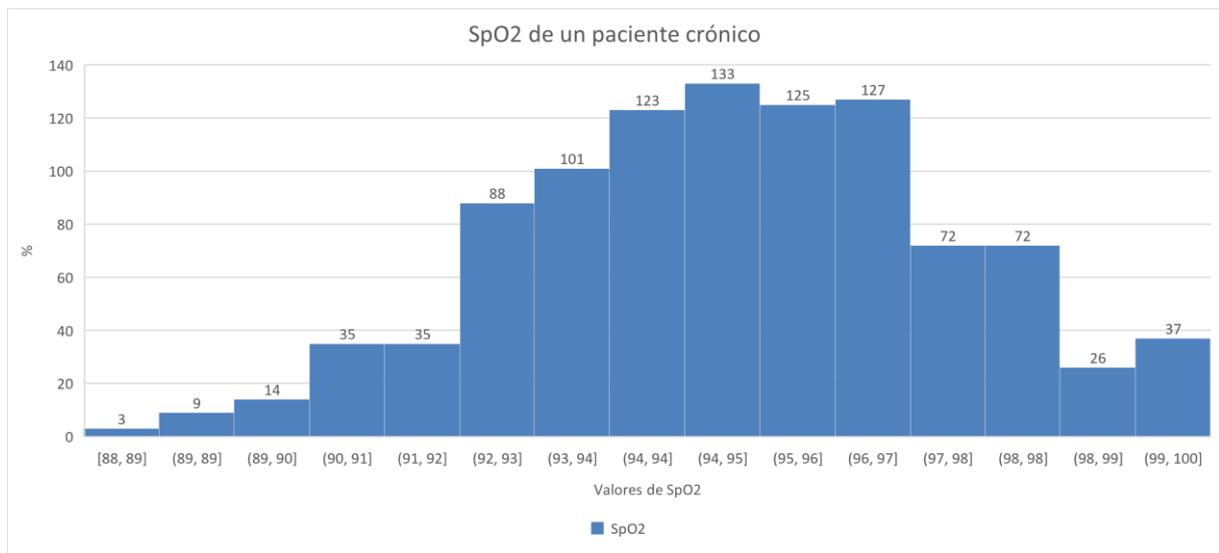
*Datos de frecuencia cardíaca de un paciente*



*Nota.* El histograma presenta cual es la frecuencia de aparición de valores de frecuencia cardíaca. Fuente: Elaborado por el autor.

**Figura 70.**

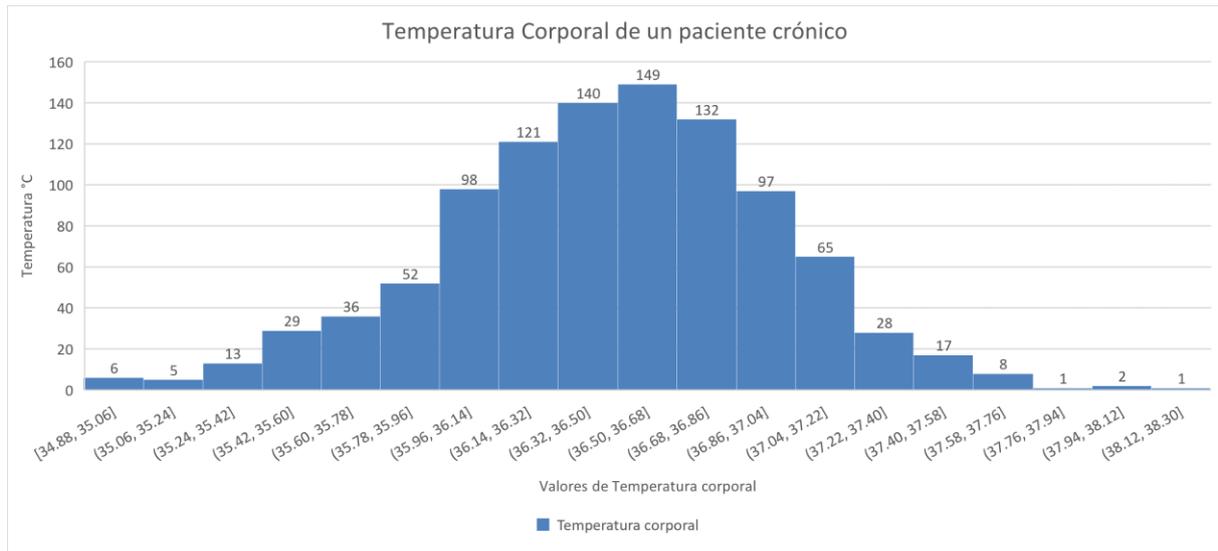
*Datos de SpO2 de un paciente*



*Nota.* El histograma presenta cual es la frecuencia de aparición de SpO2 del paciente. Fuente: Elaborado por el autor.

**Figura 71.**

*Datos de Temperatura corporal de un paciente*



*Nota.* El histograma presenta cual es la frecuencia de aparición de la Temperatura corporal del paciente. Fuente: Elaborado por el autor.

### **6.10.1. Resultados y análisis de temperatura y humedad ambiente a personas con ASMA y/o EPOC**

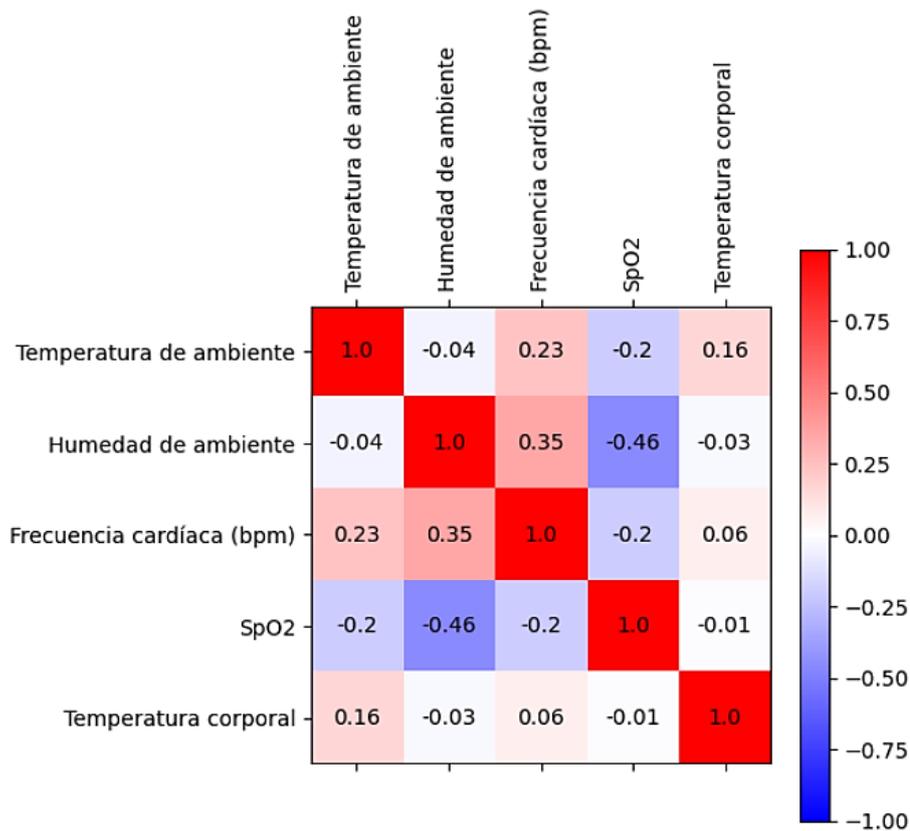
Para este estudio, se analizaron las variables de Temperatura y humedad ambiente para determinar si existe una correlación con los signos vitales de Frecuencia cardíaca, Temperatura corporal y variabilidad de SpO2 en personas que padecen ASMA y/o EPOC.

En la **Figura 72** se presenta el resultado del análisis de correlación basada en los datos recolectados. Las mediciones se ejecutaron en diferentes momentos del día para capturar variaciones significativas que permitan solventar la relación con los cambios de temperatura y humedad ambiental.

Los resultados obtenidos se obtuvieron de un procesamiento de datos realizado en Jupyter notebook, en dónde se utilizaron librerías como Pandas para la manipulación de los datos y Matplotlib para la visualización gráfica de correlación.

**Figura 72.**

*Correlación de los signos vitales*



Fuente: Elaborado por el autor

- Frecuencia cardíaca:** La frecuencia cardíaca está positivamente correlacionada con la temperatura ambiente con un valor de **0.23** y para la humedad de ambiente con un valor de **0.35**, por lo que, indica que ambas variables ambientales pueden influir en el aumento de la frecuencia cardíaca.
 

Además, tiene una correlación negativa con el SpO2 dando un valor de **-0.20**, demostrando que un aumento en la frecuencia cardíaca puede estar asociado con una disminución en la saturación de oxígeno en la sangre.
- SpO2:** La Saturación de oxígeno en la sangre tiene correlación negativa con la temperatura ambiente dando un valor de **-0.20** y para la humedad de ambiente con un valor **-0.46**, lo que indica que ambas variables ambientales pueden influir en la disminución de la saturación de oxígeno en la sangre.
- Temperatura corporal:** La Temperatura corporal posee una correlación positiva baja con la temperatura ambiente dando un valor de **0.16**, lo que indica una ligera tendencia a aumentar con la temperatura ambiente. Además, esta variable indica que no muestra una correlación significativa con la humedad de ambiente ni con los demás signos vitales.

## 6.11 Resultados y análisis de señal ECG y PPG para pacientes cardíacos

Para la señal ECG y PPG, se realizó una comparación entre señales normales ideales y las obtenidas por el dispositivo de monitoreo de un paciente voluntario (véase la **Figura 73**) con el fin de validar la identificación de las distintas características importantes que estas poseen.

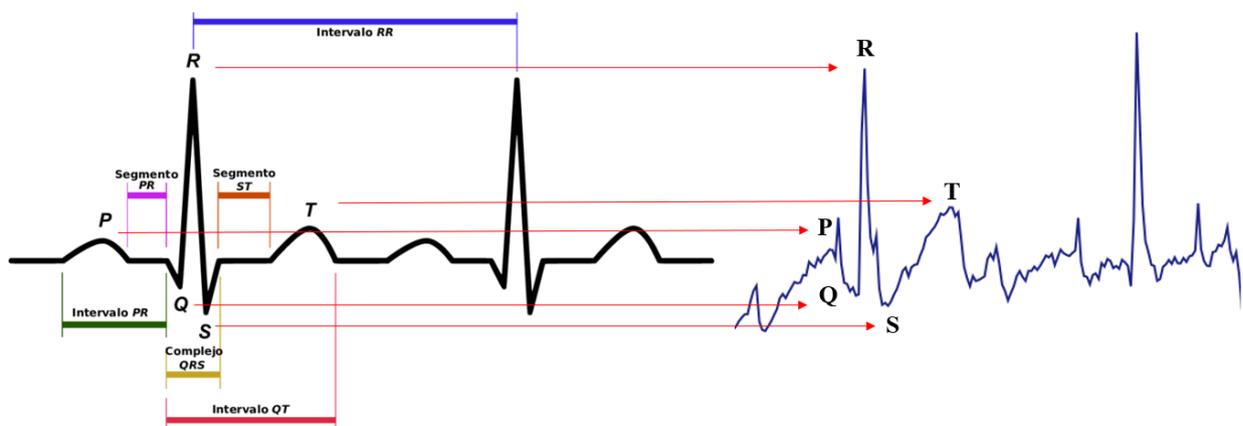
**Figura 73.**  
*Recolección de datos de señal ECG y PPG*



Fuente: Elaborado por el autor

En señal ECG se logró identificar los complejos P, Q, R, S y T que posee la señal como se aprecia en la **Figura 74**.

**Figura 74.**  
*Validación de la señal ECG del dispositivo*



Fuente: Elaborado por el autor

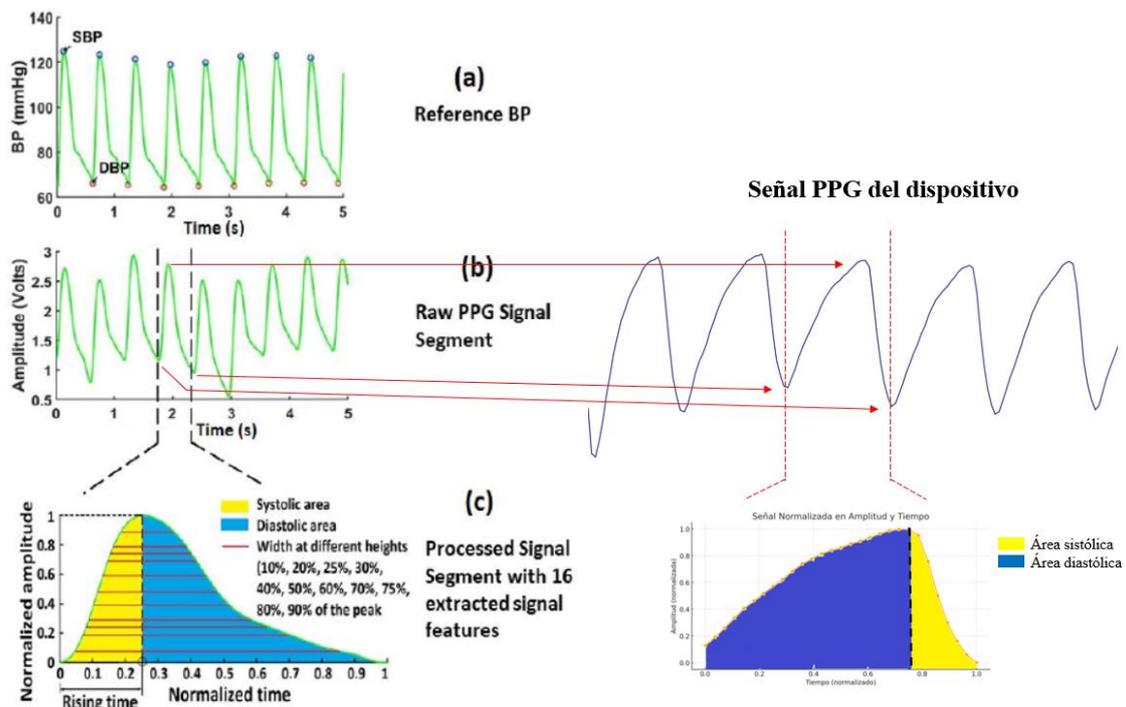
Podemos observar que el dispositivo de monitoreo puede detectar con precisión los puntos y segmentos clave de una señal cardíaca, como P, Q, R, S y T, según el análisis de señales. Esto es crucial para el diagnóstico y el seguimiento de arritmias y otros problemas cardíacos. Por lo tanto, se confirmó que el dispositivo capta de manera efectiva las variaciones típicas de un ciclo cardíaco completo al comparar visualmente las señales normales ideales con las del dispositivo.

Por otra parte, la señal PPG posee algunas características importantes que sirven para un análisis inteligente y poder estimar valores de presión arterial basándose en el Área sistólica y Área diastólica de la señal, estas características se pueden observar en la **Figura 75**.

También es importante mencionar que la señal PPG se grafica en modo espejo respecto a la señal PPG tradicional. De La Peña Sanabria et al. (2017) explica que esto sucede porque:

cuanto mayor sea el volumen de sangre (vasodilatación), más luz es absorbida, y la corriente resultante generada por el fotodetector es menor. Así, durante la sístole, la cantidad de luz transmitida a través del sitio es menor que durante la diástole, lo cual da una imagen en espejo de las ondas de presión sanguínea arterial.

**Figura 75.**  
*Validación de la señal PPG*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia basada en (Khalid et al., 2020)

## 6.12 Duración de la batería del dispositivo

El tiempo de duración de batería del dispositivo se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Duración de la batería (horas)} = \frac{\text{Capacidad de la batería (mAh)}}{\text{Consumo de corriente (mA)}}$$

El consumo de corriente se calculó tomando como referencia los valores proporcionados por el fabricante de todos los elementos de hardware cuando el sensor está en operación:

**Tabla 18.**

*Consumo de corriente de los sensores*

Sensores	Consumo de corriente
Microcontrolador ESP32	80 mA
AD8232	0.17 mA
MAX30102	60 mA
LM35	0.0915 mA
DHT11	2.5 mA
<b>Total</b>	<b>142.76</b>

Fuente: Elaborado por el autor

La batería utilizada es una de Litio de 3.7 V y 800mAh de capacidad, por lo tanto, la duración de la batería del dispositivo sería:

$$\text{Duración de la batería (horas)} = \frac{800 \text{ (mAh)}}{142.76 \text{ (mA)}} = 5.60 \text{ horas}$$

## 6.13 Análisis de presupuesto económico del dispositivo

En la **Tabla 19** se detalla los costos de los materiales para la construcción del dispositivo biosensor.

**Tabla 19.**

*Presupuesto económico del dispositivo*

Material	Precio
ESP32	\$ 16
AD8232	\$ 20

MAX30102	\$ 13
LM35	\$ 2
DHT11	\$ 6
PCB	\$ 0.75
134N3P	\$ 1.50
Batería	\$ 7.50
Caja 3D	\$ 10
Gastos adicionales	\$ 10
<hr/>	
<b>Total</b>	<b>\$ 86.75</b>
<hr/>	

Fuente. Elaborado por el autor

## 7. Discusión

El monitoreo continuo en tiempo real de signos vitales es fundamental para la gestión de pacientes con enfermedades crónicas. A partir de esto se puede detectar cambios imperceptibles en parámetros como la frecuencia cardíaca, SpO2 y temperatura corporal permitiendo tener la capacidad de intervenir de manera temprana mejorando la capacidad de prevenir posibles riesgos de la salud del paciente.

Las pruebas realizadas en un grupo de pacientes crónicos demostraron la efectividad de precisión del dispositivo a la hora de tomar los signos vitales, dónde se demostró que existe un margen de error mínimo al compararse con dispositivos comerciales. El margen de error que más variación tiende a tener es la temperatura corporal, debido a que el sensor tiene la característica que funciona a base del voltaje que le está llegando, por lo tanto, si este voltaje disminuye por cuestiones de una batería descargada podría afectar levemente a los datos arrojados por el sensor, de esta forma se aconseja procurar no dejar descargar completamente el dispositivo biosensor.

Los datos capturados de temperatura y humedad ambiente son una característica adicional que se le implementó al dispositivo con el fin de validar las posibles afecciones que tienen estos datos sobre pacientes crónicos lo cual resultó en una correlación significativa para pacientes con ASMA y/o EPOC. Estos hallazgos coinciden con los estudios de (OPS, 2022; Stephanie Thurrott, 2022), que también identifican una relación directa entre las condiciones ambientales y cambios de sus signos vitales de los pacientes con estas enfermedades.

La comparación entre las señales ECG y señales ideales comprueba que el dispositivo puede detectar correctamente las características principales de una señal cardíaca (P, Q, R, S y T). Con esta información el doctor encargado del seguimiento del paciente tiene la capacidad de realizar un diagnóstico y seguimiento de problemas cardíacos como la presencia de arritmias.

En el caso de la señal PPG, se identificaron características importantes que permiten realizar un análisis profundo dando como resultado información de la presión arterial basándose en dos segmentos del pulso. El área sistólica y el área diastólica permiten estimar los valores de presión arterial, este enfoque innovador se basa en las técnicas de toma de presión arterial sin brazalete descrito en (Villanueva Cañas, 2021).

La integración con plataformas de IoT, como Firebase, permitió una visualización fluida entre el dispositivo que envía los datos del paciente con el doctor que está a cargo de su monitoreo. Además, esta plataforma permite realizar una vinculación con Google Sheets, la

cual le servirá al doctor como un respaldo del historial clínico del paciente, permitiéndole analizar el comportamiento a lo largo del tiempo de la enfermedad en cuestión que está monitoreando.

La mayoría de los pacientes crónicos a lo largo del día realizan muchas actividades fuera de casa donde no está presente ningún familiar, en estos casos pueden sufrir algún percance en sus signos vitales como el aumento de temperatura y/o frecuencia cardíaca, por lo tanto, se implementó el envío de alertas de WhatsApp a contactos previamente configurados que se les notificará por medio de un mensaje que algún signo vital está fuera de los rangos normales del paciente en cuestión.

En base a la información recolectada de las encuestas se pudo destacar que el cálculo automático de presión arterial sería un punto muy beneficioso para mejorar el dispositivo, esta recomendación fue dada por la mayoría de los doctores encuestados, por otro lado, destacaron que la implementación de este dispositivo mejoraría la atención de pacientes crónicos que ellos deben monitorear frecuentemente, además, destacaron que posee una interfaz fácil de analizar así mismo como su uso. Por otro lado, los pacientes destacaron que el dispositivo les ayudaría a tener una mejor comunicación médica con el doctor que les está llevando el control de su enfermedad.

El dato presentado en la **Tabla 19** expone el precio final que se utilizó para la construcción del dispositivo dando un valor de \$ 86.75, este dato permite realizar una comparación con los dispositivos existentes en el mercado, donde el dispositivo más económico tiene un valor de \$79.99 y el de precio más elevado es de \$ 229. Nos podemos dar cuenta que existe un dispositivo que lo podemos adquirir con \$ 6.76 menos, pero cabe recalcar que el dispositivo creado posee muchas más funciones que el comercial, tales características es la presentación de datos ECG, PPG, temperatura corporal y el envío de alertas de WhatsApp, por otro lado, se debe tener en cuenta que los precios de los materiales es por unidades, ya que si se lo produjera en masa los costos se reducirían.

A pesar de los resultados positivos, se identificaron algunas dificultades en el dispositivo, como la necesidad frecuente de conexión estable a internet para la transmisión de datos y previo a la implementación de los sensores se debe realizar una correcta calibración de los mismos para poder obtener los datos adecuados y no alerte falsos positivos de los signos vitales que se está monitoreando. Por otra parte, el dispositivo puede optimizarse en términos de tamaño, lo que lo haría menos invasivo para el paciente, esto se lo puede lograr realizando una placa PCB impresa en doble cara y utilizando el módulo principal del microcontrolador.

## 8. Conclusiones

En el presente trabajo de titulación se logró alcanzar con éxito los objetivos planteados, centrados en el diseño y construcción un dispositivo biosensor portátil e inalámbrico de bajo costo usando tecnología IoT para el monitoreo remoto y en tiempo real de signos vitales enfocado en pacientes que padecen enfermedades crónicas. A través de un análisis riguroso de antecedentes investigativos y el desarrollo del dispositivo se logró avanzar significativamente en el uso de la tecnología para mejorar la atención médica de pacientes crónicos.

La revisión del bibliográfica sobre el monitoreo de enfermedades crónicas ayudó a identificar cuáles son los principales signos vitales que se deben monitorear frecuentemente cuando un personal de la salud está atendiendo un paciente crónico, conjuntamente con la investigación de los componentes de software y hardware se seleccionó los sensores más aptos para realizar esta toma y envío de datos.

El diseño y la construcción de este dispositivo portátil demostró ser eficaz en la monitorización de signos vitales como la frecuencia cardíaca, SpO<sub>2</sub>, temperatura, señal ECG y señal PPG, de la misma forma, la integración adicional de los datos ambientales ayudó a realizar un análisis profundo sobre la influencia de estos para los pacientes que padecen enfermedades pulmonares.

Se logró realizar una integración y comunicación fluida entre los sensores MAX30102, AD8232, LM35 y DHT11 con la base de datos de Firebase y aplicación web de visualización permitiendo el envío de los signos vitales en tiempo real. Los datos son enviados mediante la tecnología Wi-Fi, la cual demostró ser la adecuada por cuestiones de integración y despliegue sencillo, ya que, es la tecnología más accesible de los pacientes en cuestión.

La funcionalidad de enviar alertas a través de WhatsApp cuando se detecta signos vitales fuera de los rangos normales proporciona una característica adicional de seguridad para los pacientes, especialmente cuando están fuera de casa y no tienen ninguna persona de confianza cerca. Esto permite una respuesta rápida de los familiares o médicos de la salud en una situación de emergencia.

La interfaz de visualización y uso del dispositivo han sido destacados por su facilidad de uso tanto por parte de los doctores como de los pacientes. Esta característica es crucial para asegurar que el dispositivo sea utilizado correctamente y que los datos sean precisos y útiles y no alerten de falsos positivos de un signo vital.

La derivación de los datos de Firebase hacía Google Sheets es crucial cuándo un profesional de la salud está investigando y analizando la enfermedad crónica de un paciente que está usando el dispositivo, ya que, los datos recopilados se almacenan dando lugar al historial médico permitiendo un análisis de empeoramiento o evolución médica del paciente.

Durante la construcción se realizaron pruebas en condiciones reales, lo que permitió calibrar y validar la precisión y confiabilidad de los datos recopilados por el dispositivo de monitoreo. Los resultados obtenidos demostraron que estos sensores poseen una baja tasa de error respecto a los dispositivos comerciales convencionales usados para controlar los signos vitales de un paciente crónico.

Las encuestas realizadas permitieron identificar posibles mejoras para el dispositivo recomendadas por el personal médico de salud, donde han sugerido la inclusión de la funcionalidad de cálculo automático de la presión arterial. Así mismo, como la reducción de tamaño del dispositivo.

En definitiva, este trabajo de titulación ha contribuido significativamente al campo de la salud de pacientes crónicos usando sensores de bajo costo y tecnología Wi-Fi. La implementación del dispositivo ha demostrado ser capaz de ofrecer una solución de mejora social, aumento de seguridad médica y mayor rendimiento en el seguimiento y control de una enfermedad crónica. La característica de bajo costo del dispositivo no solo lo hace accesible para una mayor cantidad de pacientes de bajos recursos, sino que también facilita su implementación en diversos contextos y sistemas de salud con recursos limitados. Finalmente, la facilidad de escalabilidad del dispositivo permite que se pueda implementar en un contexto más amplio, beneficiando a muchos más pacientes y mejorando la calidad de la atención médica en general.

## 9. Recomendaciones

Del presente trabajo de titulación, se presentan una serie de recomendaciones basadas en hallazgos y experiencias obtenidas durante el desarrollo y pruebas del dispositivo con el fin de dar inicio a líneas de investigaciones futuras.

- Realizar una búsqueda y análisis de información previo al diseño y construcción del dispositivo, ya que, cada sensor funciona de una forma específica y su integración con el microcontrolador no es de la misma forma.
- Reunir una cantidad considerable de datos de signos vitales de varios pacientes para realizar una correcta calibración y validación de los datos, entre mayor sea el número de muestras mayor será la precisión de los signos vitales recopilados.
- La implementación de una red neuronal de cálculo automático de presión arterial ayudaría a que el dispositivo sea más completo a la hora de monitorear un paciente crónico ya que es un signo vital sumamente importante a la hora de una emergencia.
- Integrar la capacidad de detección de arritmias de manera automática mediante la implementación de un modelo de aprendizaje autónomo, lo que le permitiría al personal médico de la salud estar más alerta en el paciente que está monitoreando.
- Reducir el tamaño del dispositivo mediante la optimización de la placa PCB, la impresión en doble cara es la opción más adecuada para soldar y reducir las dimensiones tanto horizontales como verticales mejorando la comodidad del usuario.
- Agregar más características a la plataforma web, dándole la capacidad de agregar información útil para el paciente, como información sobre avisos de toma de medicamentos, control detallado de su alimentación y recomendaciones de actividades beneficiosas para su enfermedad.
- Para disminuir el consumo de batería del dispositivo se recomienda agregar un modo de reposo (sleep mode) que optimice el uso de energía, lo cual prolongará considerablemente la duración de la batería.
- La adquisición de los electrodos puede resultar costosa a largo plazo, de tal forma se podría diseñar unos electrodos caseros con el fin de evitar la compra de estos, aunque esto puede afectar en la precisión de la señal ECG.
- Analizar otros sensores de temperatura corporal con el fin de mejorar la precisión de este signo vital, esto permitirá un mejor control y mejor exactitud en los datos.

## 10. Referencias bibliográficas

- Adonai Silveira Canêz. (2014, March 11). Modelo OSI. <https://www.adonai.eti.br/2014/03/modelo-osi/>
- Alexandrov, A., & Krishnaiah, B. (2023, June 13). Introducción a los accidentes cerebrovasculares. <https://www.msmanuals.com/es/hogar/enfermedades-cerebrales,-medulares-y-nerviosas/accidente-cerebrovascular-ictus/introducci%C3%B3n-a-los-accidentes-cerebrovasculares>
- Analog Devices. (2018). MAX30102--High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health. [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com)
- Analog Devices. (2020). AD8232. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8232.pdf>
- Anguís Horno, J. J. (2008). Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College. UNIVERSIDAD DE SEVILLA .
- Asanza, V. (2024). Especificaciones del módulo ESP32. <https://vasanza.blogspot.com/2021/07/especificaciones-del-modulo-esp32.html>
- Av Electronics. (2024). DHT11 Temperatura y Humedad. <https://avelectronics.cc/producto/dht11-temperatura-y-humedad/>
- Bakris, G. (2023, September 21). Hipertensión arterial. <https://www.msmanuals.com/es/hogar/trastornos-del-coraz%C3%B3n-y-los-vasos-sangu%C3%ADneos/hipertensi%C3%B3n-arterial/hipertensi%C3%B3n-arterial>
- Bertoli, A., Cervo, A., Rosati, C., & Fantuzzi, C. (2021). Smart Node Networks Orchestration: A New E2E Approach for Analysis and Design for Agile 4.0 Implementation. *Sensors*, 21, 1624. <https://doi.org/10.3390/s21051624>
- Cañas, L. B. (2023). Registrador portátil de sPO2.
- Components101. (2020, July 13). Módulo de ECG AD8232. <https://components101.com/modules/ad8232-ecg-module>
- De La Peña Sanabria, I., Ochoa Martelo, M., Baquero Latorre, H., & Acosta-Reyes, J. (2017). Índice de perfusión periférica en la UCI neonatal: una respuesta a la monitorización no invasiva del recién nacido crítico. *Perinatología y Reproducción Humana*, 31(2), 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.rprh.2017.10.015>

- Elioenay Pérez López, & David Asiain Ansorena, A. (2022). Trabajo Fin de Grado Dispositivo IoT para la monitorización de parámetros fisiológicos IoT device for monitoring physiological parameters.
- Espressif Systems. (2024). ESP32 Series Datasheet. [www.espressif.com](http://www.espressif.com)
- EZMed. (2023, August 16). How to Place a 5-Lead ECG: Electrode Placement Explained. <https://www.ezmedlearning.com/blog/5-lead-ecg-placement-diagram>
- Falabella. (n.d.). MODULO CP2102 WIFI BLUETOOTH 38 PINES ESP32. Retrieved May 5, 2024, from <https://www.falabella.com.pe/falabella-pe/product/120616597/MODULO-CP2102-WIFI-BLUETOOTH-38-PINES-ESP32/120616600>
- Firebase. (2024a). Documentación de Firebase. <https://firebase.google.com/docs?hl=es>
- Firebase. (2024b). Firebase Hosting. <https://firebase.google.com/docs/hosting?hl=es-419>
- Fremantle, P. (2015). A Reference Architecture for the Internet of Things. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20158.89922>
- Gómez Manuela. (2022). Desarrollo de un sistema inalámbrico asistencial para la monitorización a distancia. [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)
- Gutiérrez, D., Toral, S. L., Barrero, F., Bessis, N., & Asimakopoulou, E. (2013). The Role of Ad Hoc Networks in the Internet of Things: A Case Scenario for Smart Environments. In *Studies in Computational Intelligence* (Vol. 460, pp. 89–113). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-34952-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34952-2_4)
- IEEE SA. (2023, May 16). La evolución de la tecnología y los estándares Wi-Fi. <https://standards.ieee.org/beyond-standards/the-evolution-of-wi-fi-technology-and-standards/>
- Khalid, S. G., Liu, H., Zia, T., Zhang, J., Chen, F., & Zheng, D. (2020). Cuffless Blood Pressure Estimation Using Single Channel Photoplethysmography: A Two-Step Method. *IEEE Access*, PP, 1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2981903>
- Kong, H. J., An, S., Lee, S., Cho, S., Hong, J., Kim, S., & Lee, S. (2022). Usage of the Internet of Things in Medical Institutions and its Implications. *Healthcare Informatics Research*, 28(4), 287. <https://doi.org/10.4258/HIR.2022.28.4.287>

- Kullayappa, G. R., Kumar, C. M., & Alam, K. T. (2023). Design of a Physiological Monitoring Device for Holistic Telemedicine Applications. *Mapan - Journal of Metrology Society of India*, 38(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/S12647-022-00577-Y/FIGURES/13>
- LastMinuteEngineers. (2021, December 7). Interfacing LM35 Temperature Sensor with Arduino. <https://lastminuteengineers.com/lm35-temperature-sensor-arduino-tutorial/>
- LastMinuteEngineers. (2022, February 6). Interfacing MAX30102 Pulse Oximeter and Heart Rate Sensor with Arduino. <https://lastminuteengineers.com/max30102-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-arduino-tutorial/>
- Leslie Thomas. (2022, February 28). Presión arterial alta (hipertensión). <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/high-blood-pressure/symptoms-causes/syc-20373410>
- Manuales MSD. (2023, May 11). Datos clave: Asma. [https://www.msdmanuals.com/es/hogar/breve-informaci%C3%B3n-trastornos-del-pulm%C3%B3n-y-las-v%C3%ADas-respiratorias/asma/asma#%C2%BFcu%C3%A1les-son-los-s%C3%ADntomas-de-una-crisis-asm%C3%A1tica?\\_v34954921\\_es](https://www.msdmanuals.com/es/hogar/breve-informaci%C3%B3n-trastornos-del-pulm%C3%B3n-y-las-v%C3%ADas-respiratorias/asma/asma#%C2%BFcu%C3%A1les-son-los-s%C3%ADntomas-de-una-crisis-asm%C3%A1tica?_v34954921_es)
- Mata, T., Paúl, M., Caizaliti Quinaluisa, I., & Alejandro, E. (2023). Diseño e implementación de un prototipo de monitorización remota de pacientes que permita la recopilación de datos objetivos y subjetivos hacia la nube mediante el uso de Io-MT y Chatbot con el fin de optimizar el control de pacientes pertenecientes al grupo de atención prioritaria del centro de salud de la parroquia Antonio José Holguín.
- Mayo Clinic. (2023a, May 12). Bajo nivel de oxígeno en la sangre (hipoxemia). Middlesex Health. <https://middlesexhealth.org/learning-center/espanol/sintomas/bajo-nivel-de-oxigeno-en-la-sangre-hipoxemia>
- Mayo Clinic. (2023b, June 29). Insuficiencia cardíaca. <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/heart-failure/symptoms-causes/syc-20373142>
- Mayo Clinic. (2024). Accidente cerebrovascular. <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/stroke/symptoms-causes/syc-20350113>

- Mohammadreza Akbari. (2021, June 16). Interfaz del sensor de temperatura y humedad DHT11 con Arduino. <https://electropeak.com/learn/interfacing-dht11-temperature-humidity-sensor-with-arduino/>
- MSP. (2024). GeoSalud 3.5.1 | MSP. <https://geosalud.msp.gob.ec/geovisualizador/index.php>
- Novatronic. (2024). 134N3P Módulo de carga batería Lipo USB. <https://novatronic.ec.com/index.php/product/cargador-bateria-lipo-usb/>
- OGNX. (2022, June 24). High Performance High Capacity Li-Ion 3.7V 503048 800Mah Rechargeable. <https://www.amazon.com/-/es/recargable-rendimiento-pol%C3%ADmero-personalizados-disponibles/dp/B0B52L8MB6>
- OMS. (2020, May 17). Enfermedades respiratorias crónicas: asma. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/chronic-respiratory-diseases-asthma>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2019, June 19). Hypertension. [https://www.who.int/health-topics/hypertension#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/hypertension#tab=tab_1)
- OPS. (2022). Temperaturas interiores bajas y aislamiento del frío. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK583400/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). Aspectos técnicos y regulatorios sobre el uso de oxímetros de pulso en el monitoreo de pacientes con COVID-19. OPS. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52551>
- OX IT Solutions Ltd. (2024, April 30). Navigating the World of Wi-Fi: IEEE Wi-Fi Standards Cheat Sheet. <https://oxitsolutions.squarespace.com/blog/ieee-wifi-standards-cheat-sheet>
- Pérez, A., Lugmaña, G., & Olivo, V. (2022). Boletín Técnico Registro Estadístico de Defunciones Generales. [www.ecuadorencifras.gob.ec](http://www.ecuadorencifras.gob.ec)
- Robledo Martinez, R., & Escobar Díaz, F. A. (2010). LAS ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES EN COLOMBIA. Boletín Del Observatorio En Salud, 3(4). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bos/article/view/17968>
- Romero Amondaray, L., José Artigas Fuentes, F., & Anias Calderón, C. (2020). Redes de Sensores Inalámbricos Definidas por Software: revisión del estado del arte. RIELAC, 41(2), 1815–5928.
- Ruiz, J., Steven, J., Quimis, R., & Orlin, W. (2022). UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.

- Soriano, J. B., Polverino, F., & Cosio, B. G. (2018). What is early COPD and why is it important? *European Respiratory Journal*, 52(6), 1801448. <https://doi.org/10.1183/13993003.01448-2018>
- Stephanie Thurrott. (2022, August 19). Cómo el tiempo y el clima pueden afectar sus pulmones. <https://www.bannerhealth.com/es/healthcareblog/teach-me/how-the-weather-and-the-climate-can-affect-your-lungs>
- Strang, A. (2023, June). ¿El tiempo puede afectar al asma de una persona? <https://kidshealth.org/es/teens/weather-asthma.html>
- Texas Instrument. (2017). LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors.
- Viatomtech. (2022). Wearpulse Oxímetro de pulso continuo de muñeca, monitor de saturación de oxígeno en sangre con recordatorio inteligente, Bluetooth, seguimiento de resistencia de 72 horas SpO2 y frecuencia de pulso, Checkme O2 Max con software y aplicación para PC. [https://www.amazon.com/Continuous-Oximeter-Saturation-Bluetooth-Endurance/dp/B0BQ3K5PKW/ref=sr\\_1\\_2?crid=3N0461OCJ4CMS&keywords=dispositivo%2Bque%2Bmonitoreo%2Bsignos%2Bvital%2Bvital%2Bvital%2Bvital&qid=1707182000&spre=dispositivo%2Bque%2Bmonitoreo%2Bsignos%2Bvital%2Bvital%2Bvital%2Bvital&sr=8-2&th=1](https://www.amazon.com/Continuous-Oximeter-Saturation-Bluetooth-Endurance/dp/B0BQ3K5PKW/ref=sr_1_2?crid=3N0461OCJ4CMS&keywords=dispositivo%2Bque%2Bmonitoreo%2Bsignos%2Bvital%2Bvital%2Bvital%2Bvital&qid=1707182000&spre=dispositivo%2Bque%2Bmonitoreo%2Bsignos%2Bvital%2Bvital%2Bvital%2Bvital&sr=8-2&th=1)
- Villalón Pardo, D. (2021). Crear y desarrollar una aplicación de alto rendimiento con bajo coste utilizando flutter y firebase. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/174515>
- Villanueva Cañas, J. (2021). Estudio sobre métodos para la medida no intrusiva de la presión arterial. <http://hdl.handle.net/10609/137870>
- Wi-Fi Alliance. (2024a). Security | Wi-Fi Alliance. <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/security>
- Wi-Fi Alliance. (2024b). <https://www.wi-fi.org/>
- Wi-Fi Alliance. (2024c). Wi-Fi CERTIFIED 7 | Wi-Fi Alliance. <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-7>
- Wise Robert, H. J. C. A. (2023, December). Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). [https://www.msdmanuals.com/es/hogar/trastornos-del-pulm%C3%B3n-y-las-v%C3%ADas-respiratorias/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cr%C3%B3nica-epoc/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cr%C3%B3nica-epoc#S%C3%ADntomas\\_v725281\\_es](https://www.msdmanuals.com/es/hogar/trastornos-del-pulm%C3%B3n-y-las-v%C3%ADas-respiratorias/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cr%C3%B3nica-epoc/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cr%C3%B3nica-epoc#S%C3%ADntomas_v725281_es)

## 11. Anexos

### Anexo 1. Manual de instalador

# Manual para la construcción de un Dispositivo biosensor portátil de monitorización remota de signos vitales

Versión 1.0

*Elaborado por:*

*Kleyner Antonio Rivilla Armijos*

2024

## Índice de contenidos

<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>Requisitos</b>	<b>4</b>
Hardware	4
Software	8
Servidores en línea	8
<b>Instrucciones para la instalación</b>	<b>8</b>
Ensamblaje de la placa electrónica	8
<b>Crear proyecto en Firebase</b>	<b>12</b>
Creación de proyecto en Firebase	12
Integración de Firebase Hosting para APP WEB	14
Integración de Firebase con la página web	14
<b>Instrucciones para configuración del entorno de programación de Arduino</b>	<b>17</b>
<b>Programación del microcontrolador</b>	<b>18</b>
Verificación de conexión	19
Visualizar los datos en App Web	20
Integrar alertas de WhatsApp	22
Guardar datos del paciente en Google Sheets	24
<b>Mantenimiento y Solución de Problemas</b>	<b>27</b>
Mantenimiento del dispositivo	27
Solución de problemas comunes	27
<b>Información de Contacto</b>	<b>29</b>

## Introducción

El presente manual tiene como objetivo proporcionar una guía detallada para la construcción de un dispositivo biosensor portátil de bajo costo para la monitorización remota de signos vitales usando tecnología IoT. Este dispositivo permitirá a instituciones médicas y pacientes con enfermedades crónicas monitorear en tiempo real una enfermedad crónica cardíaca y respiratoria.

Este manual está dirigido a personas involucradas en ámbitos tecnológicos y electrónicos, así como al personal de la salud enfocados en atender y monitorear pacientes crónicos.

La construcción del dispositivo consta de la unión de varios sensores con un microcontrolador. Sensores de temperatura corporal, frecuencia cardíaca, oxígeno en la sangre, captación de señal ECG - PPG y dos datos adicionales de temperatura y humedad ambiente como características adicionales incorporadas al dispositivo de monitoreo.

En resumen, este manual proporciona una guía detallada paso a paso para la construcción de un dispositivo de monitoreo de bajo costo para pacientes que padecen enfermedades crónicas. Además, se describe detalladamente las integraciones con la plataforma de visualización y análisis de los signos vitales del paciente.

## Requisitos

Para la construcción del dispositivo de monitorización se requiere una serie de materiales de hardware y herramientas que permitan la correcta instalación y configuración del sistema, lo cual se presenta a continuación:

## Hardware

### Microcontrolador ESP32

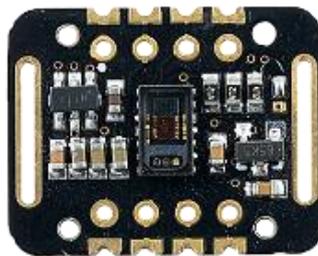
Este dispositivo es el encargado de recibir y enviar los datos que miden todos los sensores. Cuenta con una comunicación Wi-Fi, buena velocidad de datos y un bajo precio.

### MAX30102



*Figura 76*

El sensor MAX30102 es el encargado de medir la señal PPG, frecuencia cardíaca y el SpO2 del paciente. Esto lo realiza a través de un led (Rojo e IR ambos de diferentes longitudes de onda) y un fotodetector.



*Figura 77*

### LM35

Este sensor es el encargado de medir la temperatura corporal del paciente. El sensor funciona en base del voltaje, es decir, que utiliza una fórmula para calcular los datos de temperatura en °C.

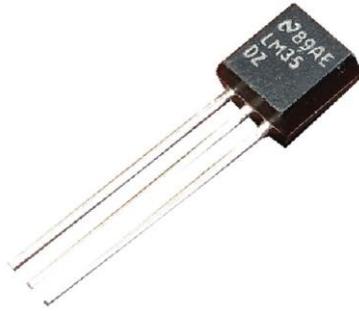


Figura 78

### AD8232

El sensor AD8232 se encarga de capturar los datos de la actividad eléctrica del corazón permitiendo graficar una señal ECG. Al sensor están conectados 3 electrodos que se ubicarán en el pecho del paciente para su monitoreo.



Figura 79

### Switch

Es el encargado de cerrar el paso de energía a los sensores, permitiendo apagar y prender el dispositivo.

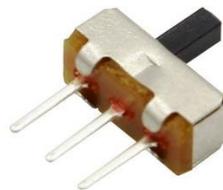
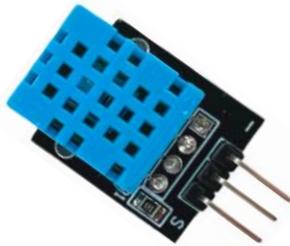


Figura 80

### DHT11

Este sensor permite capturar datos de temperatura y humedad ambiente donde se encuentra el paciente, lo cual le da al dispositivo dos datos adicionales que ayudarán al monitoreo de un paciente con enfermedad crónica pulmonar.



*Figura 81*

### **Módulo de carga 134N3P**

El módulo de carga permite tener la capacidad de suministrar energía a la batería cuando se haya descargado. Además, tiene la función de aumentar el voltaje de 3.7 a 5V que ingresa por el pin VIN del microcontrolador ESP32.



*Figura 82*

### **Batería de litio**

Es la fuente de energía del dispositivo. Posee un voltaje de 3.7V y 800mAh, tiene la capacidad de recarga cuando se haya descargado, así mismo posee un tamaño reducido lo que permite comprimir el tamaño del dispositivo siendo menos invasivo.



*Figura 83*

### **Placa PCB**

Se utilizó una placa PCB para montar las pistas conexión entre los sensores y el microcontrolador. En este caso se imprimió en una sola cara, pero para futuras implementaciones es recomendable imprimir en doble cara para reducir el tamaño.



*Figura 84*

### **Caja 3D**

La placa PCB ensamblada con los sensores se introducen en una caja diseñada en para impresión en 3D. Se debe realizar medidas justas y paredes no gruesas con el fin de evitar que el dispositivo se vuelva incómodo.



*Figura 85*

### **Software**

- Arduino IDE
- Visual Studio Code
- Librerías base de sensores
- Windows

### **Servidores en línea**

Firestore

### **Instrucciones para la instalación**

#### **Ensamblaje de la placa electrónica**

1. Del sensor AD8232 el pin OUTPUT debe conectarse a un pin analógico del microcontrolador y sus demás pines como se observa en la figura 11.
2. Conectar el sensor MAX30102 mediante una comunicación I2C al microcontrolador, es decir conectar los pines SDA y SCL. Este sensor no va soldado directo en la placa PCB, en cambio se conecta a 4 pines de donde saldrán los cables para conectarse con el sensor.
3. Para el sensor LM35 debemos conectar su pin central en una entrada analógica en este caso el pin A3 (39) del microcontrolador. Para este sensor se debe conectar sus pines mediante cable a los 3 pines que están soldados en la placa, ya que este sensor sale fuera de la caja 3D.

4. El sensor DHT11 es digital por lo tanto se conectará con el pin 2 del microcontrolador ESP32.
5. La batería de litio debe conectarse directo al módulo de carga. De la entrada tipo C del módulo debe salir un cable a 2 pines ubicados en la placa que son el VIN y GND para alimentar la placa PCB.
6. Verificar que todas las conexiones se hayan realizado correctamente siguiendo el diseño de la Figura 12.

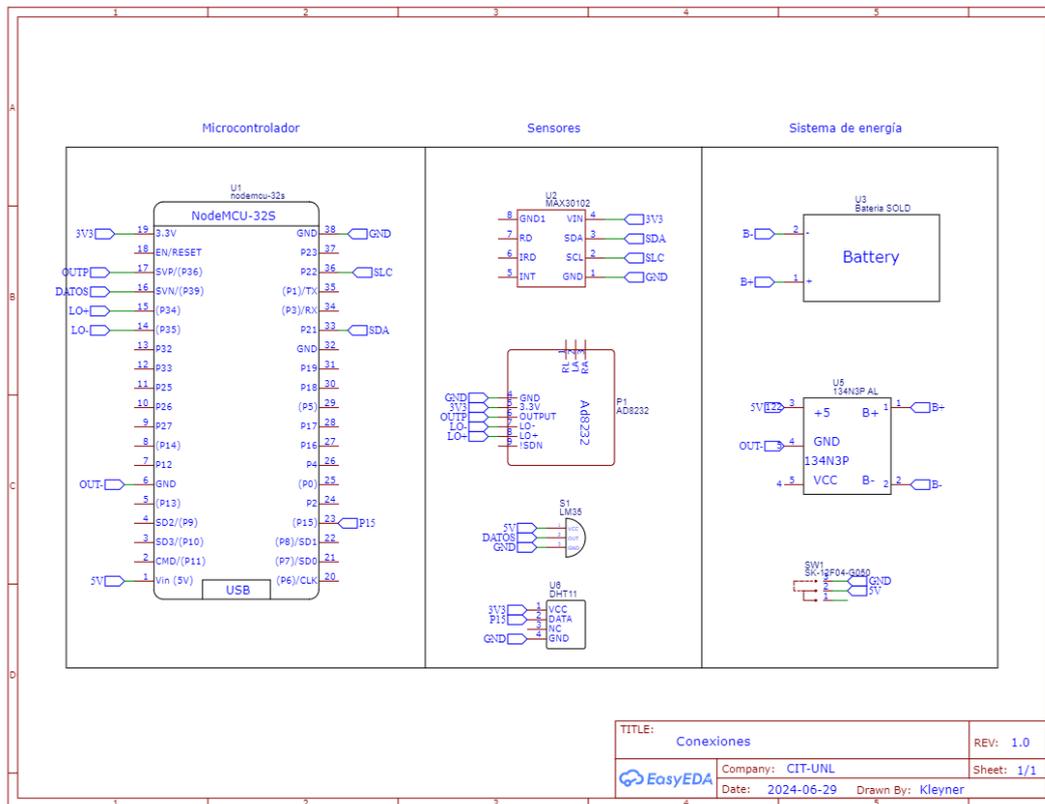


Figura 86

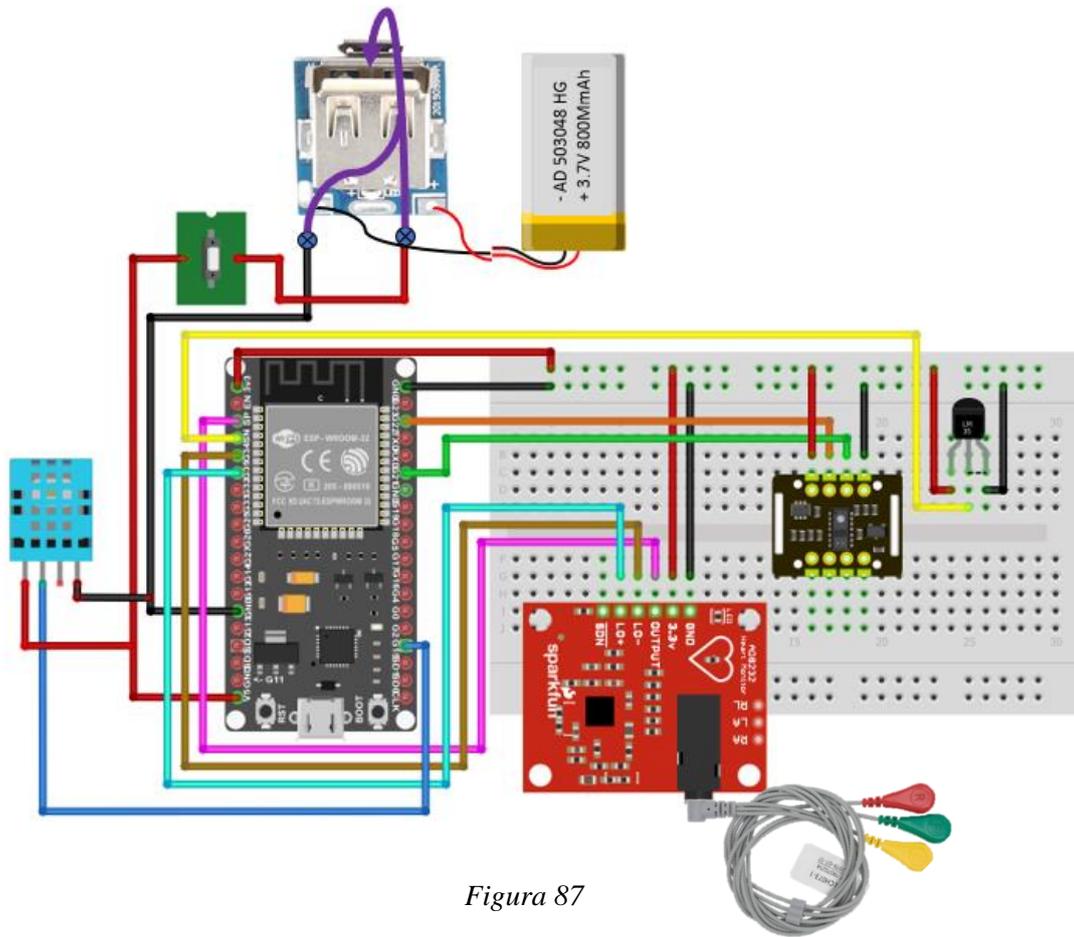


Figura 87

En la figura 13 se puede observar la placa PCB diseñada en 2D y en figura 14 se observa la placa PCB con los componentes y los pines que se utilizan para la construcción del dispositivo.

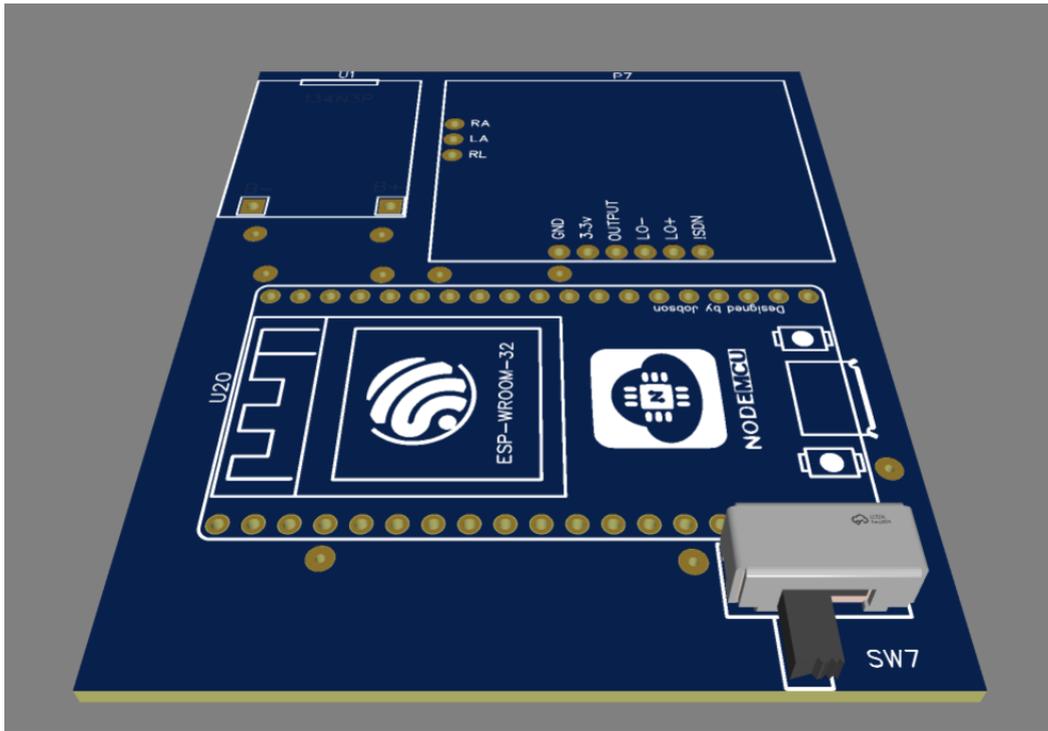


Figura 88

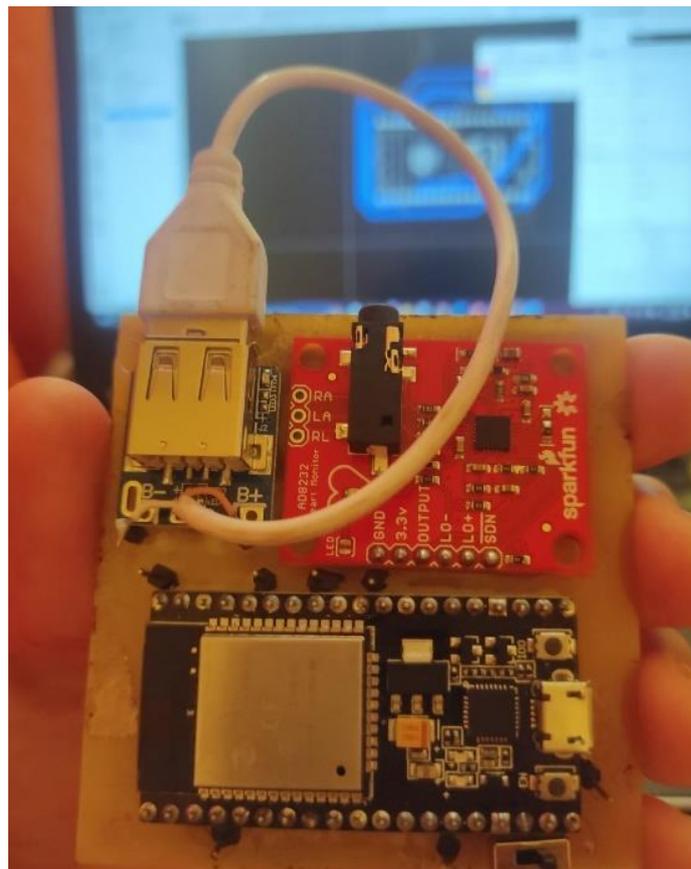


Figura 89

## Crear proyecto en Firebase

A continuación, se describirá los pasos para la conexión entre el dispositivo con la base de datos de Firebase y, posteriormente, vincularlo con la aplicación web (página web) dónde se visualizarán y analizarán los datos.

### Creación de proyecto en Firebase

1. Primero debemos ingresar a la página oficial de Firebase:  
<https://firebase.google.com/?hl=es>
2. Creamos una cuenta de manera gratuita con algún correo personal.
3. Una vez que iniciamos sesión, damos clic en crear un proyecto y asignamos un nombre al proyecto.
4. Nos dirigimos al apartado de Realtime Database y damos clic en “*Crear una base de datos*”
5. Seleccionamos la ubicación dónde se almacenarán los datos, en nuestro caso “*Estados Unidos (us-central1)*”.
6. Luego nos pide escoger el método de funcionamiento de las reglas de seguridad del proyecto. En nuestro caso escogemos la primera opción en “*modo bloqueado*” y damos clic en aceptar para crear el proyecto.
7. Una vez creado el proyecto debemos modificar las reglas del proyecto, esta opción permite agregar el método de autenticación para publicar y leer los datos de un nodo específico.

```
{
  "rules": {
    "ESP32": {
      "$uid": {
        ".read": "$uid === auth.uid",
        ".write": "$uid === auth.uid"
      },
      ".read": true,
      ".write": false
    }
  }
}
```

8. Como en el punto 7 configuramos el método de autenticación, ahora debemos crear una cuenta de usuario para acceder a esos datos. Nos dirigimos al apartado de “*Autenticación*”.
9. Habilitamos el acceso mediante “*Correo electrónico*”.

10. Damos clic en “Agregar usuario” y luego ingresamos un usuario y contraseña que nos generará un UID único que Firebase configurará para publicar y leer los datos.

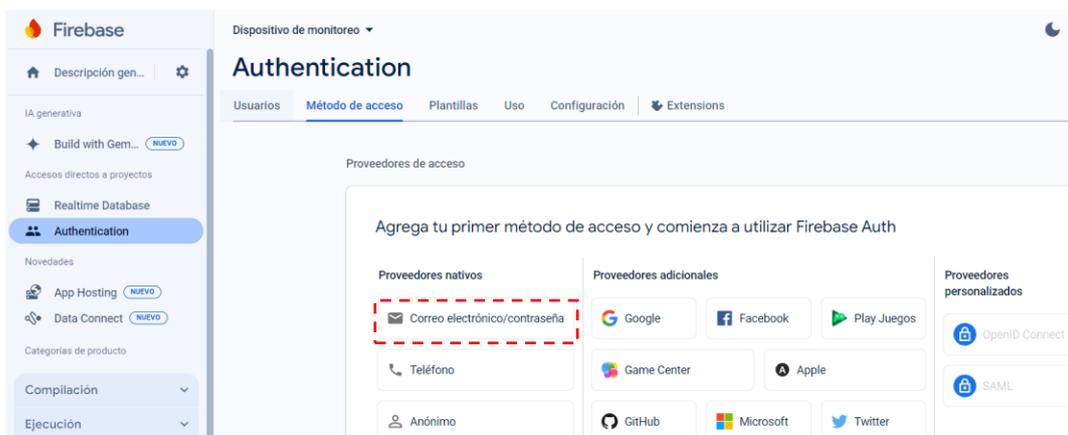


Figura 90

11. Para la codificación en Arduino necesitaremos algunas credenciales únicas que se deberá incluir para que el microcontrolador pueda publicar los datos. Para esto damos clic en “Configuración del proyecto”.
12. Copiamos la “Clave de API web”
13. Finalmente copiamos la dirección de URL para indicarle al microcontrolador la ruta para publicar los datos.



Figura 91

### Integración de Firebase Hosting para APP WEB

Los datos del paciente se presentarán en una página web. Firebase nos da la opción de tener 2 dominios en dónde podemos configurar nuestra página web y presentar los datos, para esto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Nos dirigimos a la opción de “Hosting” en Firebase y damos clic en *comenzar*.
2. Agregamos un nombre a nuestra app web y damos clic en “Registrar y continuar”.

3. Firebase nos presentará las instrucciones para agregar el SDK que son datos únicos del proyecto que nos servirán para integrar la app web que vamos a configurar.

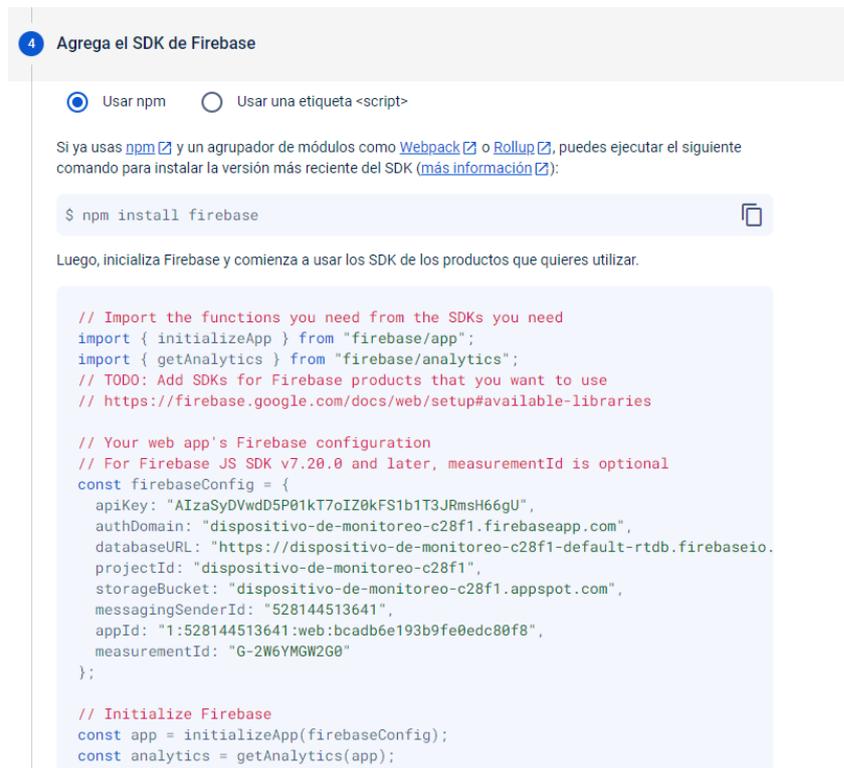


Figura 92

### Integración de Firebase con la página web

Cuando los datos de los signos vitales se encuentran en Firebase los integramos mediante el uso de Hosting a la página web creada mediante programación HTML y JavaScript. El proceso de integración es el siguiente:

1. Creamos una carpeta en el escritorio de nuestra computadora y luego abrimos esa carpeta usando el software Visual Studio Code.
2. En Visual Studio Code, debemos instalar “Node.js” para que nos permita ingresar comando de JavaScript.
3. Posteriormente debemos ingresar algunos comandos, iniciando por:

***npm install -g firebase-tools***

4. Luego debemos autenticarnos para ingresar a nuestra cuenta de Firebase, para ellos debemos ingresar el siguiente comando:

***firebase login***

5. Cuando iniciemos sesión en la cuenta de Firebase, procedemos a iniciar el CLI de Firebase con el siguiente comando:

## *firebase init*

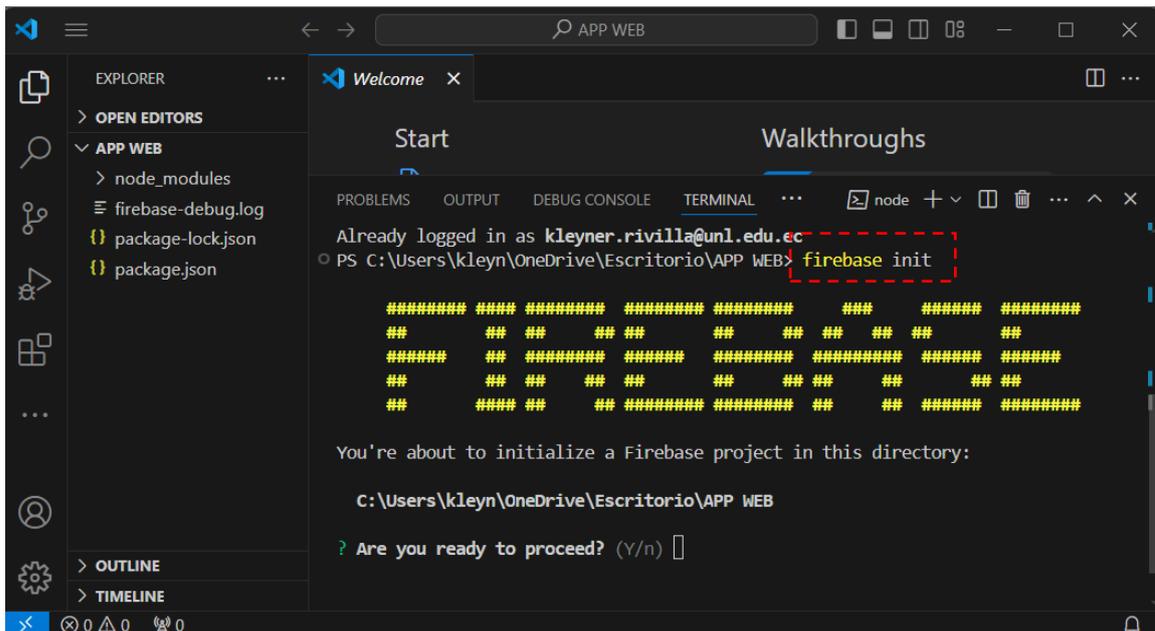


Figura 93

6. Nos pedirá que elijamos las funciones de nuestro proyecto, para ellos debemos seleccionar:
  - a. *Realtime Database: Configure a security rules file for Realtime Database and (optionally) provision default instance*
  - b. *Hosting: Configure files for Firebase Hosting and (optionally) set up GitHub Action deploys*
7. Elegimos la opción de iniciar un proyecto existente.
8. Elegimos el nombre de nuestro proyecto creado anteriormente.
9. Presionamos “*enter*” para indicamos que se apliquen las reglas de seguridad que ingresamos en el apartado 7 de la creación del proyecto.
10. Presionamos “*enter*” para indicar que será un directorio público.
11. Escribimos “*Y*” para indicar que es una aplicación de página única.
12. Escribimos “*N*” porque no queremos realizar compilaciones en GitHub.
13. Posteriormente, para que Firebase nos de una URL dónde estará nuestra página web debemos ingresar el comando:

## *firebase deploy*

14. Ahora al dar clic en la URL podremos ver la página web base de Firebase publicada en internet a la cual podemos acceder desde cualquier parte.

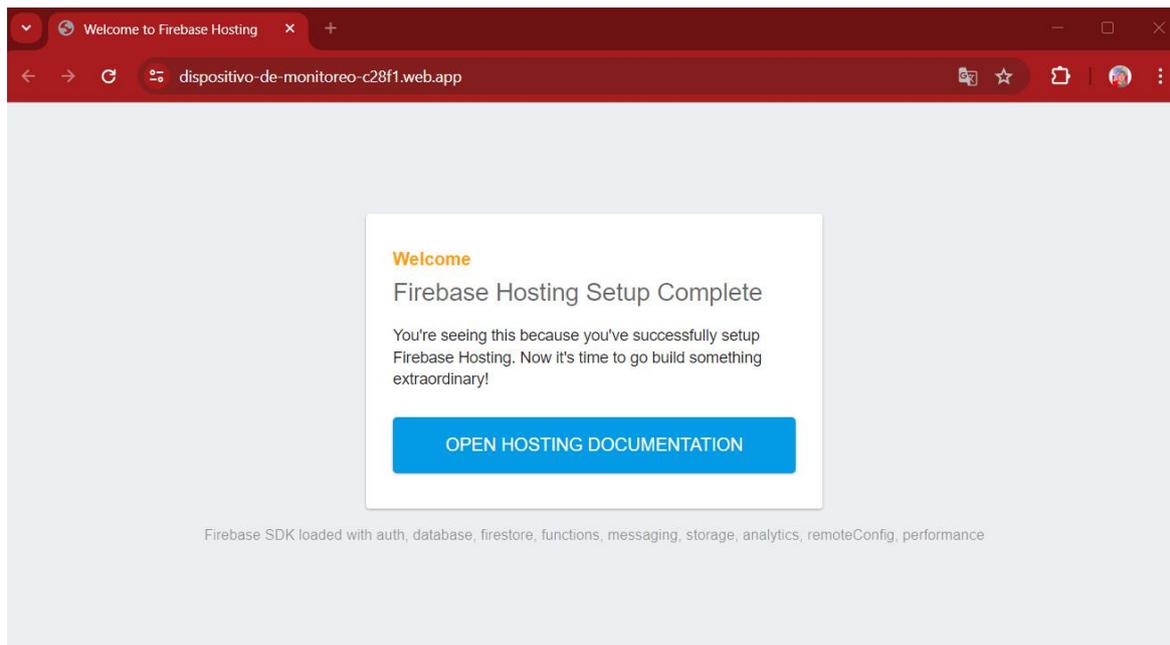


Figura 94

15. Finalmente, debemos agregar el SDK generado en el punto 3 de la *Integración de Firebase Hosting*.

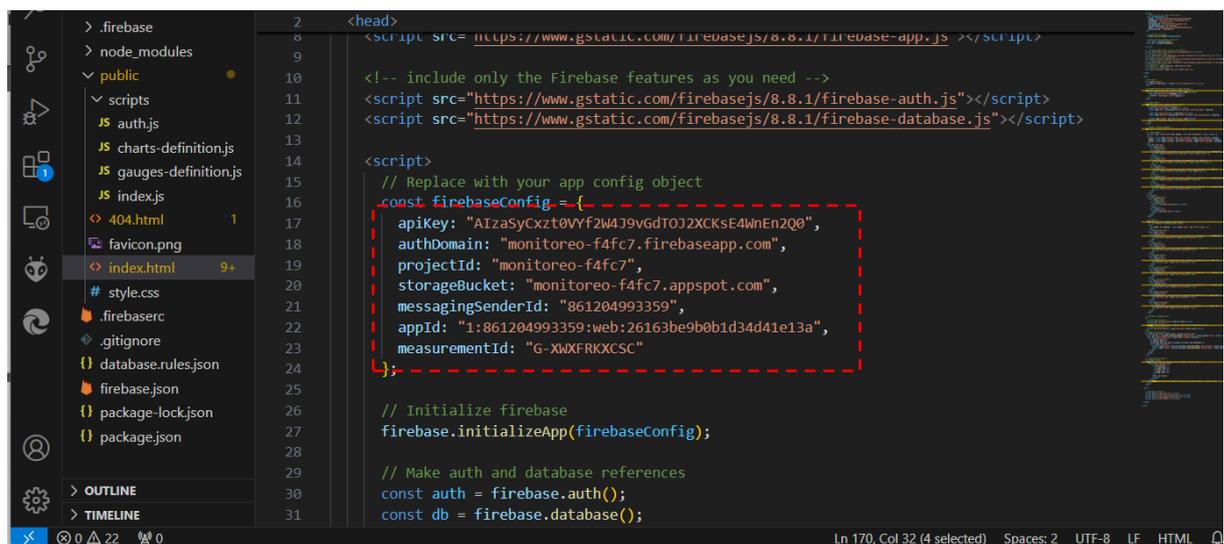


Figura 95

### Instrucciones para configuración del entorno de programación de Arduino

A continuación, se describe las instrucciones a seguir para realizar la programación del código que utilizará el ESP32:

1. Descargar e instalar el software de Arduino: Arduino IDE desde la página oficial ([Software | Arduino](#)).

2. Agregar las librerías necesarias para el correcto funcionamiento del ESP32 y de los sensores. Para programar el microcontrolador ESP32 agregar la URL: [https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json)
3. Acceder al gestor de tarjetas y agregar la librería de *esp32 espressif systems*.
4. Una vez instaladas las librerías se puede empezar a programar el microcontrolador

### Programación del microcontrolador

Una vez que configuramos el entorno de programación de Arduino IDE. Procedemos a realizar la programación del ESP32:

1. Abrimos el software Arduino IDE.
2. Seleccionamos el modelo de la placa de desarrollo, en este caso es el “*ESP32 Dev Board*”
3. Conectar la placa a la PC mediante un cable micro USB conectado al ESP32 a la USB tipo A de la PC.
4. Copie el código de programación alojado en este enlace de Drive: (<https://drive.google.com/drive/folders/1Sa3rySLo1kUlaP3IWJ-sRO47KwdKmf3G?usp=sharing>)
5. Las líneas 22 a la 27 son datos únicos que debemos agregar para el funcionamiento del dispositivo. Los datos de DATABASE\_URL, API\_KEY, USER\_EMAIL y USER\_PASSWORD los encontramos en Firebase y WIFI\_SSID y WIFI\_PASSWORD con las credenciales de nuestra red.

```
//Credenciales WI-Fi y Firebase
#define WIFI_SSID "-----" //Nombre de su red Wi-Fi
#define WIFI_PASSWORD "-----" //Contraseña de su red
#define DATABASE_URL "-----" //URL de su Realtime Database de Firebase
#define API_KEY "-----" //API KEY de su proyecto en Firebase
#define USER_EMAIL "-----" //Usuario de su correo registrado en Autenticación de Firebase
#define USER_PASSWORD "-----" //Contraseña de su correo registrado
```

6. Las líneas 32 y 33 indican el valor máximo que deben alcanzar las variables de Frecuencia cardíaca y Temperatura corporal para que e envíe una alerta de WhatsApp.

```
const uint8_t heartSet = 130; //Valor límite para alerta Bpm
const uint8_t tempSet = 49; //Valor límite para alerta °C
```

7. Verificar que el código esté libre de errores dando clic en “Verificar” o presionando *Control + R*.

8. Si el código está libre de errores cargarlo al microcontrolador presionando *Control + U*.
9. Espere a que se suba correctamente el código. Si todo funciona correctamente presiones el botón “*boot*” de su ESP32 y se cargará el código a la placa.
10. Si el código no funciona, verificar la consola para identificar posibles errores.
11. Una vez que se suba el código correctamente, desconecte el ESP32 de la PC y pruebe el dispositivo.

### Verificación de conexión

El envío de los datos se da en formato JSON, el microcontrolador se comunica con la plataforma de Firebase mediante Wi-Fi y presenta los resultados mediante Realtime Firebase. Para verificar si existe una correcta comunicación debemos seguir los siguientes pasos:

1. Acceder a Firebase usando un navegador web.
2. Seleccionar la consola de Realtime Database e ingresamos a la ventana de Datos de la consola.
3. En la consola debería visualizar los datos de: Temperatura corporal, frecuencia cardíaca, SpO2, señal ECG, señal PPG, temperatura y humedad ambiente.

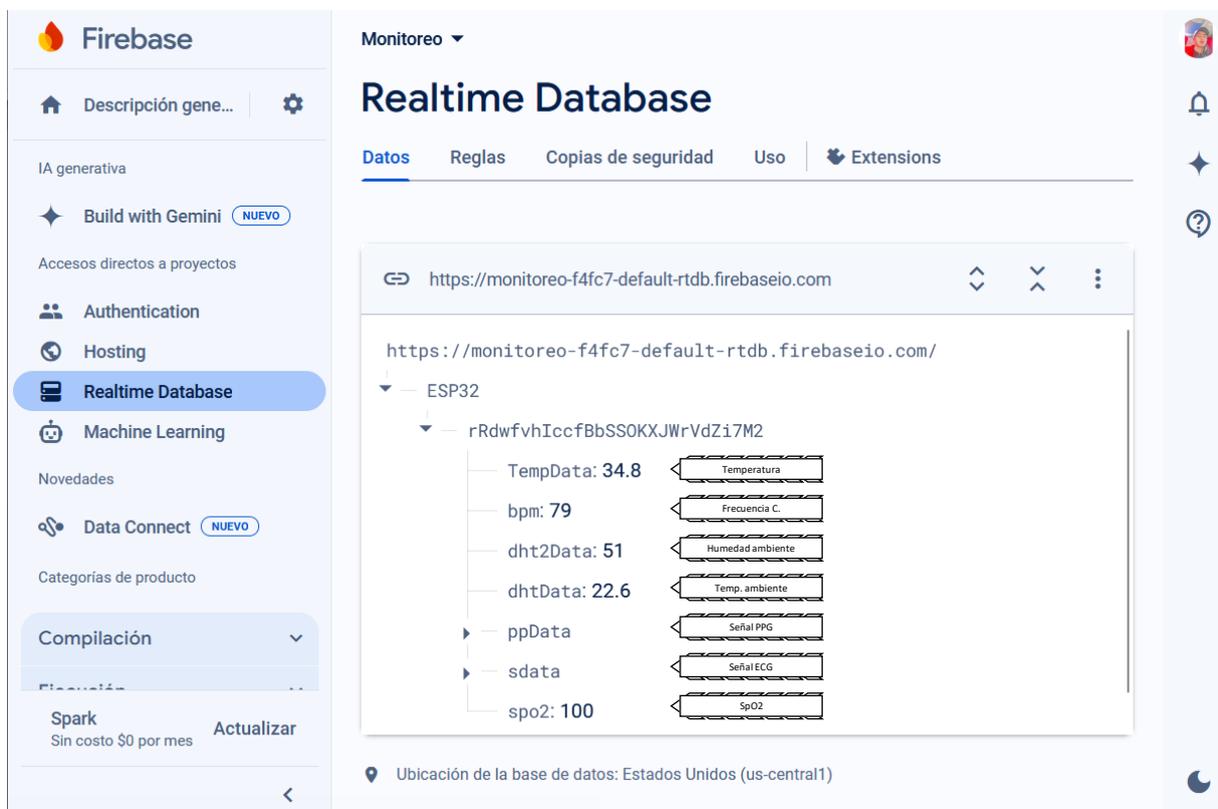


Figura 96

4. Si el dispositivo está encendido y las variables permanecen fijas durante más de 2 minutos es posible que el microcontrolador aun no pueda acceder a la red.

### Visualizar los datos en App Web

Una vez que los datos llegan a Realtime Database, Firebase los reenvía hacía la página web que hemos creado ahí podremos ver y analizar los signos vitales en tiempo real. Para esto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Primero debemos ingresar a cualquiera de los siguientes enlaces que direccionan a la interfaz web de visualización y análisis.

[monitoreo-f4fc7.web.app](https://monitoreo-f4fc7.web.app)

[monitoreo-f4fc7.firebaseio.com](https://monitoreo-f4fc7.firebaseio.com)

2. Luego debemos ingresar las credenciales de autenticación que se crearon en el punto 10 de la *Creación del proyecto*.
3. Ahí se nos presentará el Dashboard donde podremos visualizar y analizar los signos vitales del paciente crónico que está usando el dispositivo.

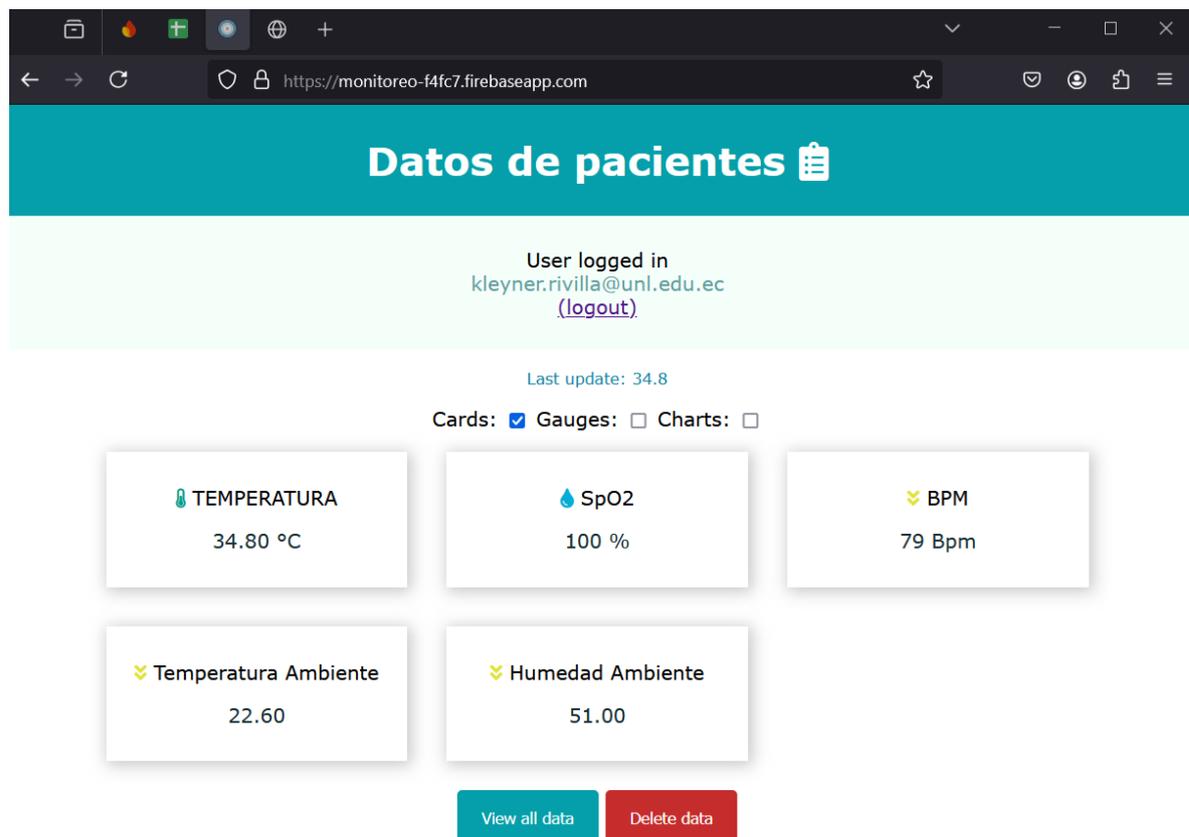
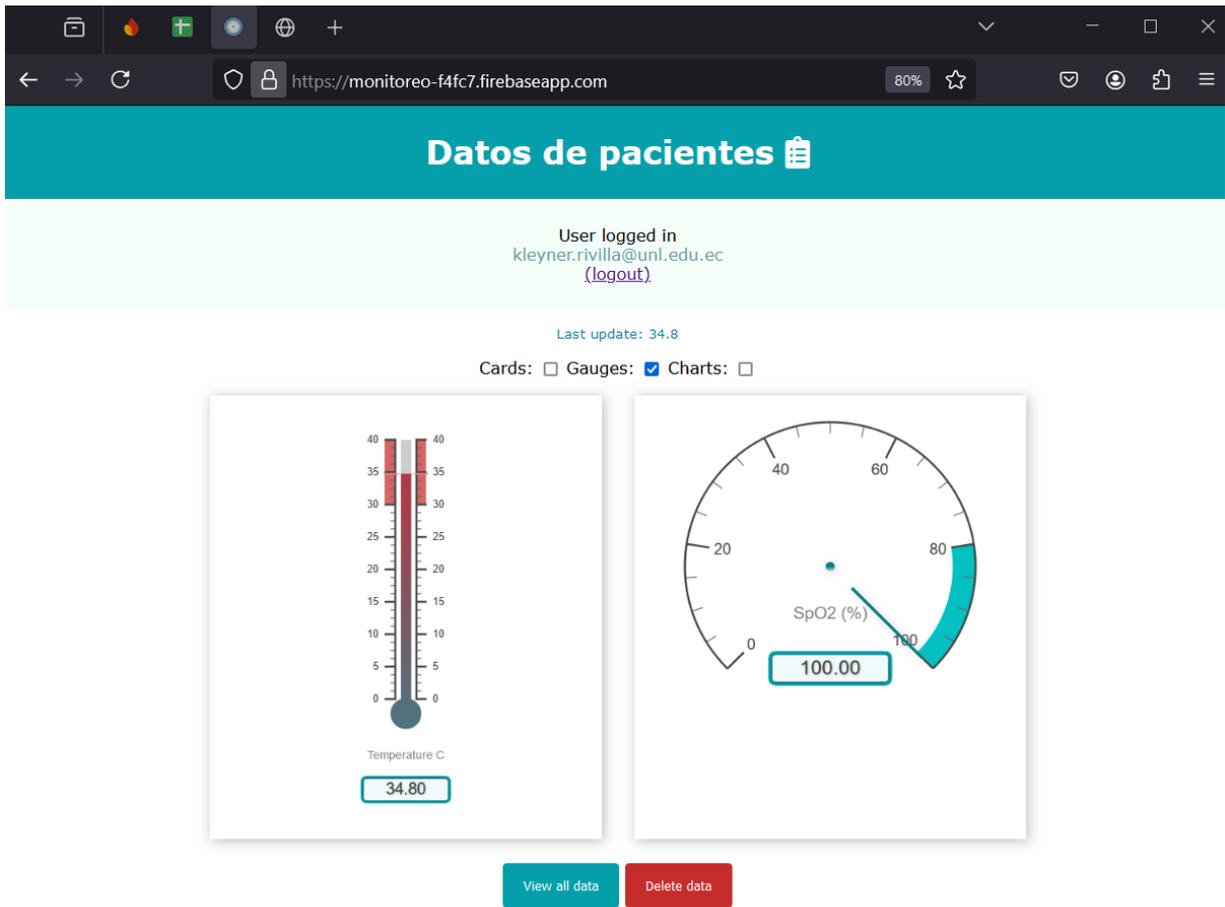
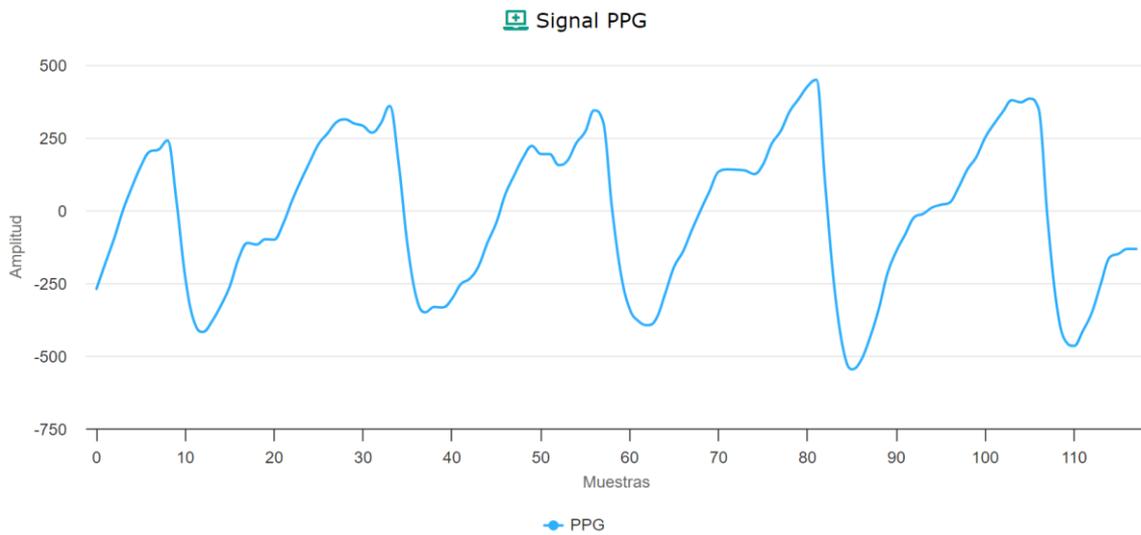


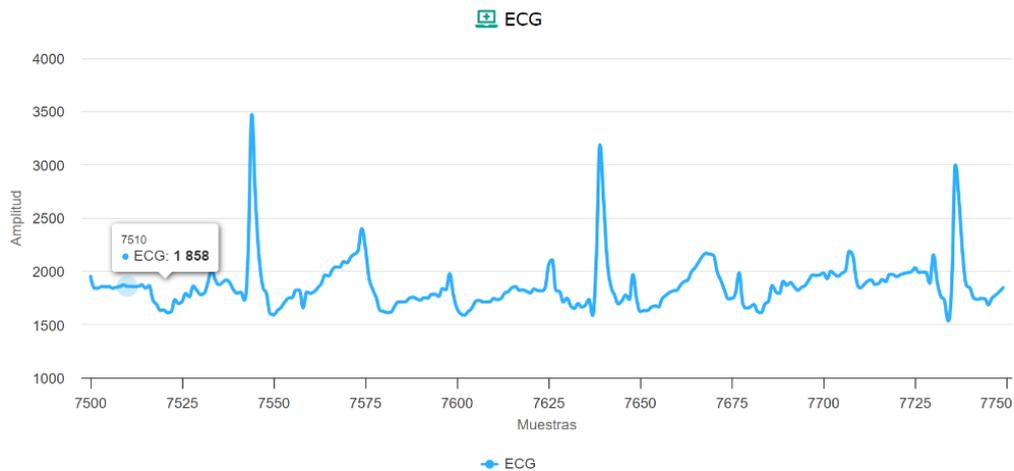
Figura 97



*Figura 98*



*Figura 99*



*Figura 100*  
**Integrar alertas de WhatsApp**

Las alertas del dispositivo están configuradas para cuando las variables de Temperatura y Humedad superen un límite establecido en el código, estas variables son:

*Tabla 20*

<b>Temperatura corporal</b>	49 °C
<b>Frecuencia cardíaca</b>	130 Bpm

Para el envío de las alertas usando una API llamada CallMeBot. Para realizar el registro de en su API debemos hacer lo siguiente:

1. Ingresar a la web oficial de CallMeBot: [API Gratuita para enviar Mensajes de WhatsApp - CallMeBot API](#)
2. Agregar el número **+34 684 728 023** a tus Contactos. (puedes llamarlo como quieras)
3. Enviar el siguiente mensaje "**Autorizo callmebot a enviarme mensajes**" al nuevo contacto creado en el punto anterior (Utilizando WhatsApp por supuesto)
4. Espera a recibir el mensaje "**API Activada para tu número de teléfono. Tu APIKEY es 123123**" from the bot.
5. El Mensaje del Bot contendrá la apikey necesaria para enviar mensajes utilizando la API.

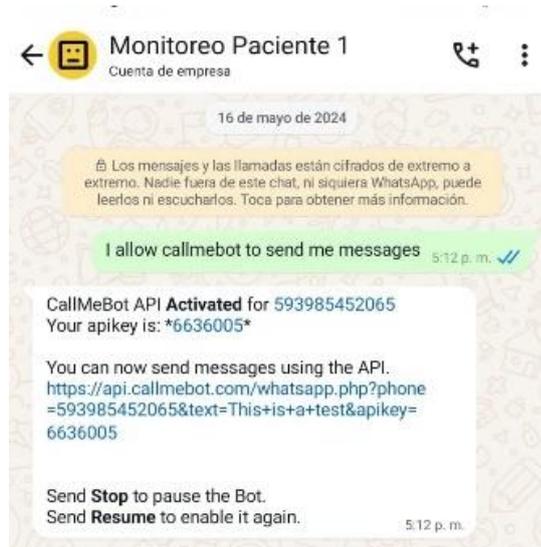


Figura 101

- Finalmente, cuando una variable supere el máximo permitido se enviará una alerta como la figura 27:

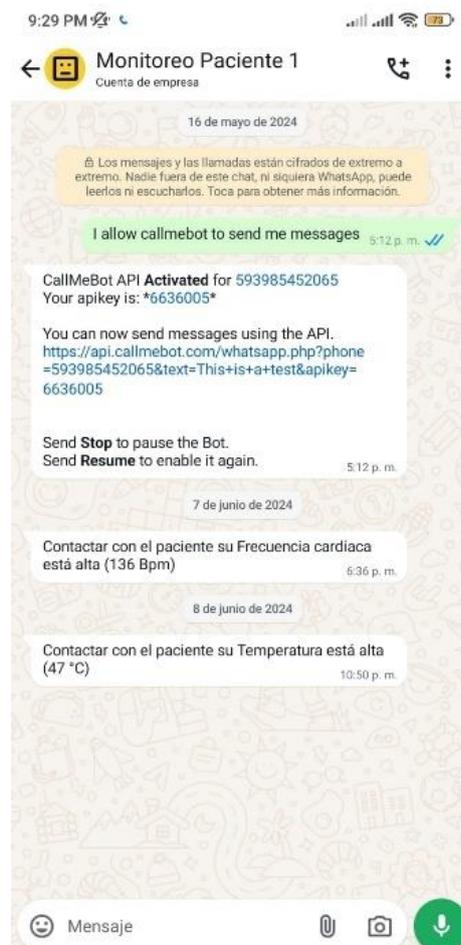


Figura 102

## Guardar datos del paciente en Google Sheets

Los pacientes que usen el dispositivo sus datos de signos vitales se guardaran automáticamente la plataforma de Google Sheets para su posterior análisis y variaciones en los datos que está capturando.

Para realizar esto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar a la página de Google Sheets usando un navegador web: [Hojas de cálculo de Google: hojas de cálculo y plantillas online | Google Workspace](#)
2. Luego creamos un nuevo espacio de trabajo y asignamos un nombre
3. Para que se extraigan los datos desde Firebase nos dirigimos al apartado de *Extensiones* y luego *App Script*.

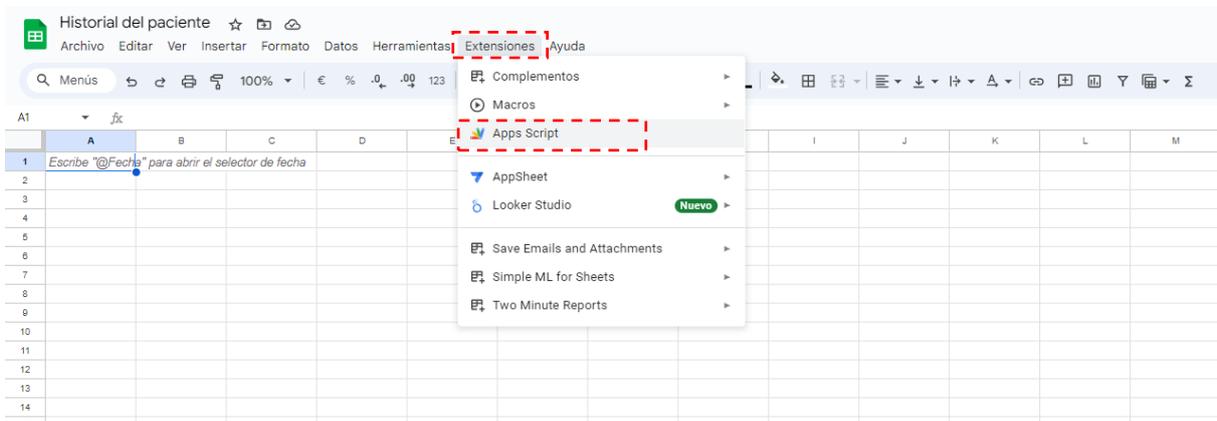


Figura 103

4. Ahora debemos agregar unas líneas de código que permitan realizar el guardado de los datos de Firebase. En el apartado de Código.gs debemos escribir el código que permita realizar esta acción.

En el código debemos agregar la URL de nuestra consola de Realtime Database y el nombre de las variables que se están presentando en la consola como se observa en la Figura 29:

```

1 function getAllData() {
2   var ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
3   var sheet = ss.getActiveSheet();
4   var firebaseUrl = "https://monitoreo-f4fc7-default-rtdb.firebaseio.com/ESP32.json";
5
6   // HTTP Request ile veriyi al
7   var response = UrlFetchApp.fetch(firebaseUrl);
8   var responseData = JSON.parse(response.getContentText());
9
10  // Her bir öge için veriyi tabloya ekle
11  for (var key in responseData) {
12    if (responseData.hasOwnProperty(key)) {
13      var data = responseData[key];
14
15      // Tarih ve saat ekle
16      var timestamp = new Date();
17
18      // Verileri tek bir satıra ekle
19      var row = [
20        timestamp,
21        data.spo2,
22        data.TempData,
23        data.bpm,
24        data.dhtData,
25        data.dht2Data
26      ];
27
28      // ppData array'i float olarak parse et ve ekle
29      if (data.ppData && Array.isArray(data.ppData)) {
30        var ppDataFloats = data.ppData.map(function(value) {
31          return parseFloat(value);
32        });
33        row = row.concat(ppDataFloats);
34      } else {
35        // Eğer ppData mevcut değilse veya array değilse, boş değerlerle doldur
36        row = row.concat(Array(50).fill(''));
37      }
38
39      // sdata array'ini ekle
40      if (data.sdata && Array.isArray(data.sdata)) {
41        row = row.concat(data.sdata);
42      }
43
44      // Satırı ekle
45      sheet.appendRow(row);
46    }
47  }
48
49  // Log'a yazdırma (isteğimizin durumunu kontrol etmek için)
50  Logger.log('Veriler başarıyla Google Sheets'e eklendi.');
```

Figura 104

5. Si el código funciona correctamente damos clic en “Ejecutar” y se ejecutará la función “*getAllData*” y los datos se extraerán de Firebase.
6. Posteriormente, para que la función que hemos creado se ejecute de manera automática podemos configurar cada que tiempo se extrae los datos de Firebase, para esto nos dirigimos a la sección de “Activadores” y añadimos un nuevo activador y lo configuramos de acuerdo a nuestros requisitos:

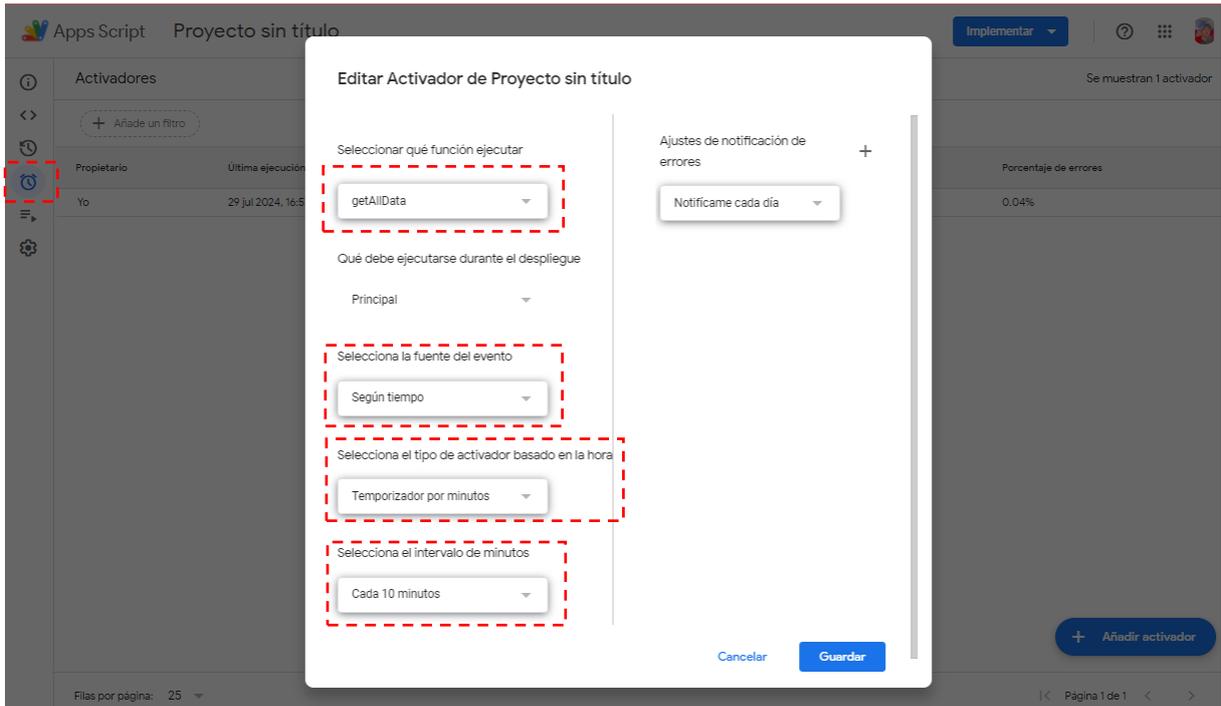


Figura 105

## 7. Finalmente, podremos ver en el espacio de trabajo los datos extraídos desde Firebase

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
170	8/7/2024 23:31:15	88	34,41758	67	20,6	70	-37,37241	-44,1862	-46,5931	0,79655	8,89828	4,44912
177	9/7/2024 14:16:49	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7616	5,3804	2,6903
178	9/7/2024 20:03:47	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7616	5,3804	2,6903
179	9/7/2024 20:03:49	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7616	5,3804	2,6903
180	9/7/2024 20:04:49	93	33,6337	53	23	62	-17,60945	-16,30473	-12,152369	0,7616	5,3804	2,6903
181	9/7/2024 20:05:49	98	32,10257	56	23	62	-142,28482	-177,14241	-179,5712	66,28542	142,21071	0
182	9/7/2024 20:06:49	98	27,18681	64	23	62	-6,95462	-12,97731	-19,48866	0,74432	3,7211	3,1399
183	9/7/2024 20:07:49	98	26,05861	59	23	62	-95,13287	-100,56644	-91,28322	9,14165	1,07046	0,3535
184	9/7/2024 20:08:37	98	27,99267	76	23	62	-49,41141	-63,7057	-55,35285	6,67648	3,3827	1,6914
185	9/7/2024 20:08:49	97	28,79853	73	23	62	-163,037	-198,51849	199,75925	0,87945	4,3908	7,191
188	9/7/2024 20:59:17	93	26,86447	70	23	62	-88,54576	-99,77288	-91,88644	9,44337	2,22166	6,10854
187	10/7/2024 11:11:47	14	33,47253	44	24,9	53	86,26486	123,63243	132,31622	7,65812	8,829	7,91457
188	10/7/2024 14:11:08	100	22,27106	57	25,8	48	17,74541	23,37271	11,18635	3,40660	7,0343	8,5179
189	10/7/2024 16:27:57	98	25,65568	78	24,5	57	122,797	165,8985	168,44925	4,22428	6,123	8,063
190	10/7/2024 16:34:14	99	30,00733	50	24,9	54	-24,82	-33,41153	-34,20576	4,10268	8,5514	7,27571
191	10/7/2024 18:29:58	100	37,74359	65	22,2	67	-76,46563	-107,23282	104,1164	9,05830	0,029	1,51455
192	10/7/2024 22:33:09	100	30,00733	66	22,2	55	-40,865	-56,9325	-68,46625	9,23316	1,116	2,05823
193	11/7/2024 1:58:06	103	18,70312	66	23	52	361,91739	452,45868	474,2293	4,0,11463	0,5730	5,2804
194	11/7/2024 1:58:13	102	18,31348	69	23	52	-409,45596	-628,72797	-644,8640	17,5,4324	7,0,71853	3,524
195	15/7/2024 0:25:50	100	21,1709	77	22,6	52	-17,30157	-51,15079	-75,07539	98,537	9,2688	1,346

Figura 106

## Mantenimiento y Solución de Problemas

### Mantenimiento del dispositivo

Para realizar el mantenimiento del dispositivo se recomienda realizar las siguientes acciones:

1. Se debe realizar revisiones constantes del nivel de batería del dispositivo, ya que niveles bajos de batería podría causar un ligero margen de error del sensor LM35 de temperatura corporal.
2. Realizar una limpieza dentro de la caja cada cierto tiempo, esto porque la caja al tener agujeros posee una tendencia a acumular polvo dentro de la placa.
3. Verificar que los cables estén soldados fijamente, ya que con tiempo por uso del dispositivo se podría soltar algún cable de conexión de manera accidental.
4. Inspeccionar y comparar las mediciones que están tomando los sensores, estas mediciones son para asegurarse que los sensores están funcionando correctamente.
5. Examinar la calidad de la caja 3D, ya que con el tiempo podrían surgir grietas y perjudiquen el uso del dispositivo de monitoreo, esto permitirá asegurarse de que la caja está en buen estado.

### Solución de problemas comunes

1. Problema: Error de compilación de código:  
Solución: En este caso se debe asegurar elegir las librerías adecuadas para cada sensor de acuerdo a la versión que se está usando ya que hay librerías antiguas que no son compatibles con las versiones nuevas de los sensores.
2. Problema: No se envían alertas de WhatsApp:  
Solución: Para solucionar esto se debe asegurar que las variables que vamos a condicionar estén declaradas de manera global en el código y no dentro del void loop().
3. Problema: Error de conexión a Firebase:  
Solución: Asegurarse que las reglas de seguridad de Realtime Database estén correctamente configuradas. Además, asegurarse que el usuario y contraseña sean los declarados en la autenticación del proyecto.
4. Problema: No se actualiza la página web en la URL:  
Solución: Cuando estamos configurando la página web y ejecutamos el comando *Firebase deploy* se debería actualizar la página, pero hay veces en que no funciona, esto se debe a que existe un error en la codificación y por tanto no se está tomando las nuevas modificaciones.

5. Problema: El dispositivo se apaga constantemente:

Solución: Modificar la frecuencia de envío de los datos a Firebase, esto permitirá una mayor duración de la batería, ya que el microcontrolador consumirá menos amperaje.

6. Problema: No llegan los datos a Firebase:

Solución: Cuando el dispositivo está encendido y no envía los datos a Firebase se debe a que el microcontrolador no se puede conectar a la Red, es recomendable tener una red estable con una buena velocidad de internet y si se sale de casa habilitar un punto de red con las credenciales agregadas en el código para que el ESP32 pueda enviar los datos a Firebase.

7. Problema: Sensor LM35 no mide correctamente:

Solución: El sensor LM35 puede resultar algo inestable cuando los niveles de batería son muy bajos, lo que conlleva a que el sensor no pueda medir de manera fluida los datos de temperatura, por ello es preferible tener presente los niveles de batería del dispositivo.

8. Problema: Problemas de extracción de datos a Google Sheets:

Solución: Verificar la codificación de acuerdo al tipo de variable que se va a extraer de Firebase, para las variables de ECG y PPG son *array* por lo tanto su extracción será diferente a las variables *float* de spo2, Bpm, temperatura corporal, humedad y temperatura ambiente.

## **Información de Contacto**

*Universidad Nacional de Loja*

*Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones*

*Loja - Ecuador*

*Realizado por: Kleyner Antonio Rivilla Armijos*

*C.I. 1105232928*

*Teléfono: +593985452065*

*Email: [kleyner.rivilla@unl.edu.ec](mailto:kleyner.rivilla@unl.edu.ec)*

# **Manual de usuario para la utilización del Dispositivo biosensor portátil de monitorización remota de signos vitales**

Versión 1.0

*Elaborado por:*

*Kleyner Antonio Rivilla Armijos*

2024



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja



CIT

## Índice de contenidos

<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>Requerimientos</b>	<b>4</b>
<b>Colocación del dispositivo en el paciente</b>	<b>4</b>
<b>Acceso a la app web para visualizar los datos del paciente</b>	<b>6</b>
Desde la computadora	6
Desde un dispositivo móvil	7
<b>Solución de problemas comunes</b>	<b>9</b>
<b>Información de Contacto</b>	<b>10</b>



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja



CIT

## Introducción

El presente manual tiene como objetivo proporcionar una guía detallada para la utilización del dispositivo biosensor portátil de bajo costo para monitorización remota de signos vitales usando tecnología IoT. Este dispositivo permite el envío de los signos vitales a una plataforma IoT (Firebase) y luego reenvía esos datos a una App web.

Este manual está dirigido al personal de la salud enfocado en atender y monitorear pacientes crónicos y los pacientes que adquieran el dispositivo y lo usen para monitorear su enfermedad crónica ellos mismos.

Firebase tiene la capacidad de realizar la integración con una app web, es decir, que reenvía los datos que le llegan desde el microcontrolador. Además, tiene la capacidad de realizar una comunicación ágil, permitiendo graficar señales más precisas de los datos medidos por los sensores.

En resumen, este manual proporciona una guía detallada paso a paso para la utilización del dispositivo de monitoreo de bajo costo para pacientes que padecen enfermedades crónicas. Además, se describe detalladamente las recomendaciones a seguir para un correcto uso del dispositivo y poder análisis los signos vitales del paciente en la página web.

## Requerimientos

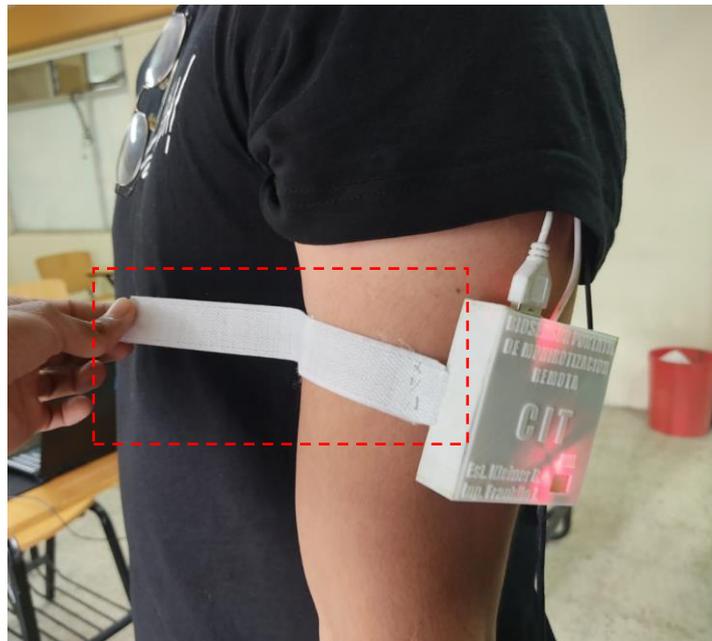
Para la visualización de los signos vitales obtenidos por el dispositivo de monitoreo, son necesarios los siguientes recursos:

1. Acceso a una red de internet
2. Una computadora o dispositivo móvil
3. Un navegador web de preferencia por el usuario.

## Colocación del dispositivo en el paciente

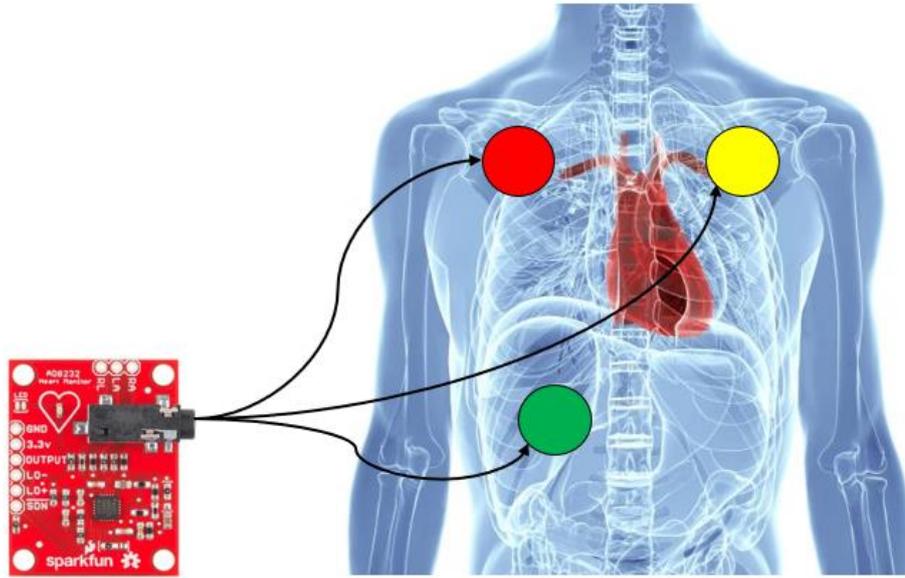
A continuación, se detalla los pasos a seguir para la colocación del dispositivo en el paciente:

1. Asegurar el dispositivo con la cinta de sujeción para una correcta fijación del dispositivo de monitoreo



*Figura 107*

2. Colocar de acuerdo a la Figura 2 la distribución de los electrodos del sensor AD8232



*Figura 108*

3. Asegurar el dedo índice sobre el sensor MAX30102 con una ligera presión



*Figura 109*

## Acceso a la app web para visualizar los datos del paciente

### Desde la computadora

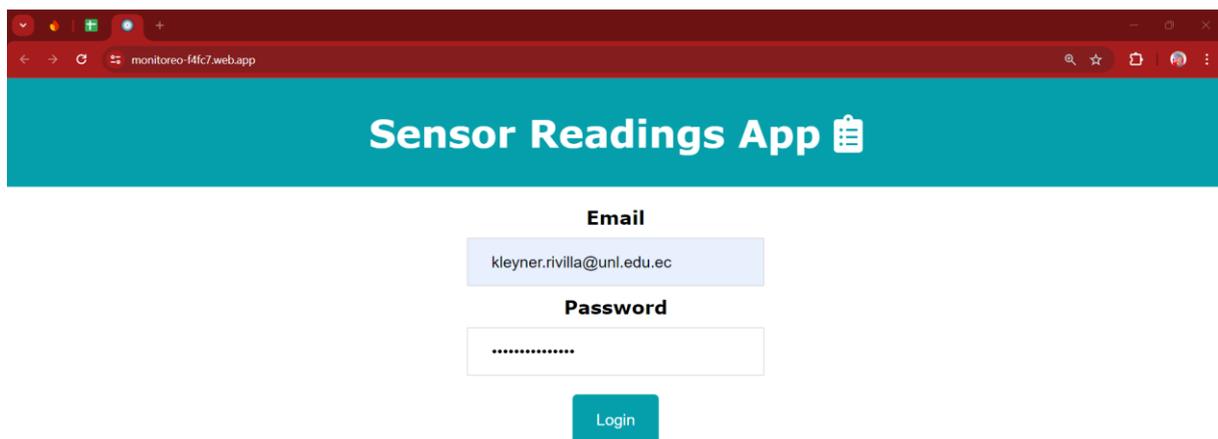
Los pasos a seguir para visualizar los signos vitales del paciente en la app web son los siguientes:

1. Abrir el navegador de su preferencia, ya sea Google Chrome, Firefox, etc.
2. Ingresar a cualquiera de los siguientes enlaces que direccionan a la interfaz web de visualización y análisis.

[monitoreo-f4fc7.web.app](http://monitoreo-f4fc7.web.app)

[monitoreo-f4fc7.firebaseio.com](http://monitoreo-f4fc7.firebaseio.com)

3. Ingresar las credenciales de usuario para visualizar los signos vitales del paciente



The screenshot shows a web browser window with the URL 'monitoreo-f4fc7.web.app'. The page has a teal header with the text 'Sensor Readings App' and a mobile app icon. Below the header, there is a login form with the following elements:

- Email**: A text input field containing the email address 'kleyner.rivilla@unl.edu.ec'.
- Password**: A text input field with masked characters (dots).
- Login**: A teal button with the text 'Login'.

*Figura 110*

4. Una vez dentro se podrá ver los datos del paciente que está usando el dispositivo de monitoreo.

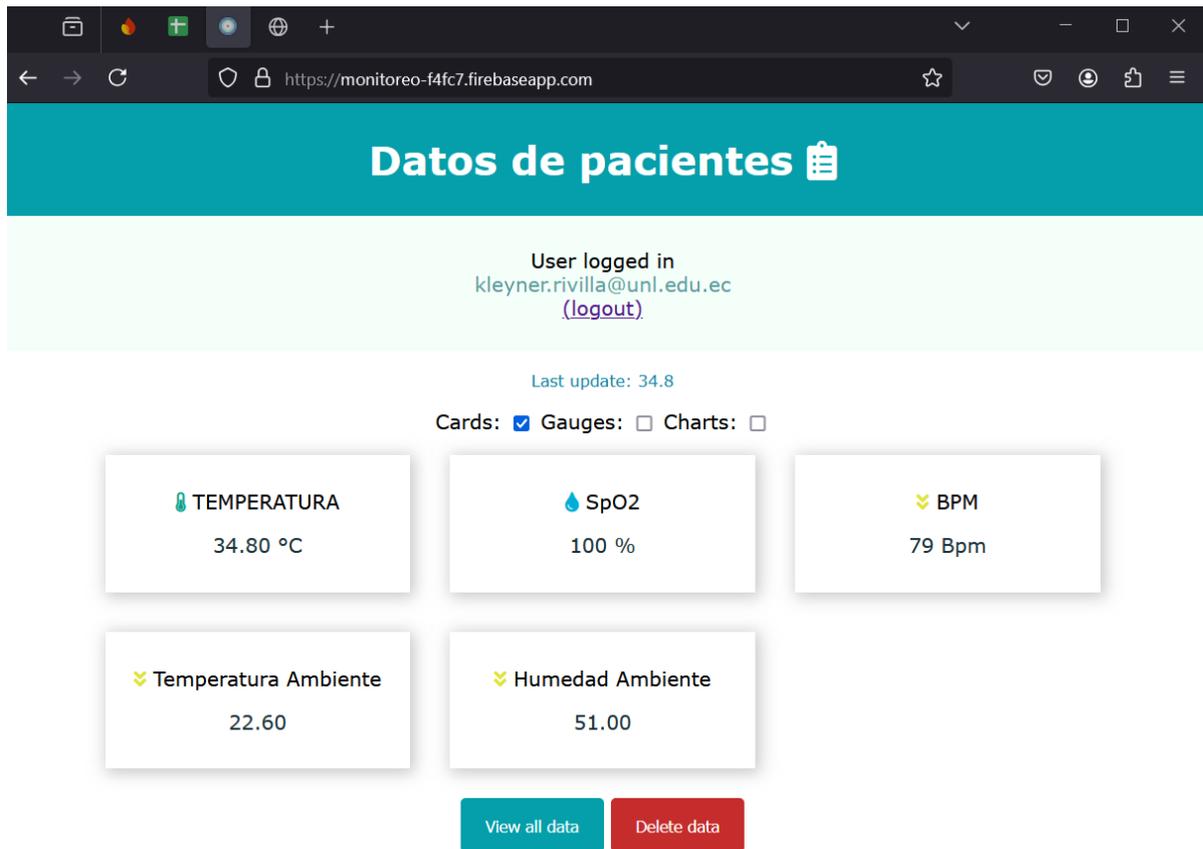


Figura 111

### Desde un dispositivo móvil

Los pasos que se deben seguir para visualizar los signos vitales del paciente en la app web son los siguientes:

1. Abrir el navegador de su preferencia ya sea Google Chrome, Firefox, etc.
2. En la barra de búsqueda ingresar cualquiera de los siguientes enlaces que direccionan a la interfaz web de visualización y análisis.

[monitoreo-f4fc7.web.app](https://monitoreo-f4fc7.web.app)

[monitoreo-f4fc7.firebaseio.com](https://monitoreo-f4fc7.firebaseio.com)

3. Autenticarse con las credenciales de usuario para visualizar los signos vitales del paciente
4. Una vez dentro se podrá ver los datos del paciente que está usando el dispositivo de monitoreo.

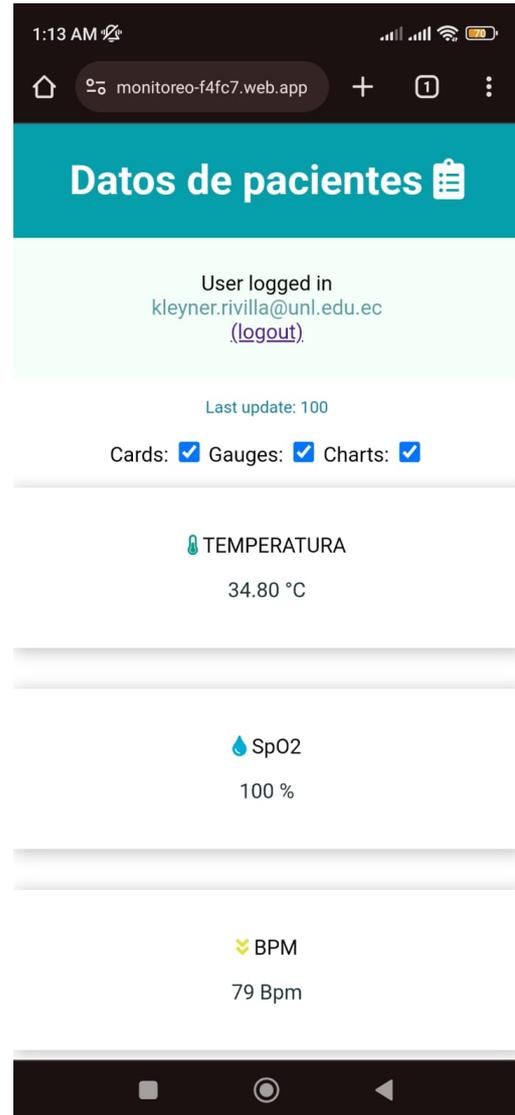
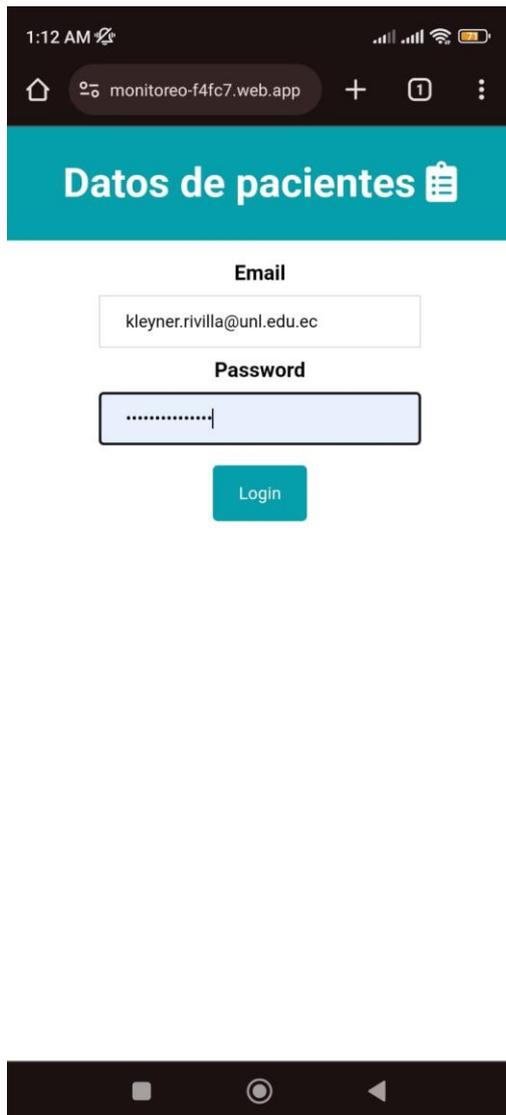


Figura 112



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja



CIT

## Solución de problemas comunes

A continuación, se describen algunos problemas y su solución que se puedan presentar en la utilización del dispositivo:

1. Problema: No se puede ingresar a la app web:

Solución: Se debe verificar que se estén usando las credenciales que fueron creadas en la fase de *Autenticación* ya que ese correo posee un identificador único que le permitirá ver los datos

2. Problema: Datos superpuestos en otras variables:

Solución: Verificar que las variables que se están ingresando en la codificación de la página web sean las mismas que se están presentando en Firebase.

3. Problema: Error en la actualización de los datos de Firebase:

Solución: Verificar si se ingresó el SDK en la codificación de Firebase. Además, comprobar que las reglas de seguridad están configuradas correctamente, ya que son las que permiten la visualización y actualización de los datos en la app web.

4. Problema: Problemas de visualización de señal ECG y PPG:

Solución: Para graficar estas variables se toman valores de un array, por lo tanto, si no se puede visualizar correctamente la gráfica se puede ajustar el tamaño de la ventana del Dashboard.



*unl*

Universidad  
Nacional  
de Loja



CIT

## Información de Contacto

*Universidad Nacional de Loja*

*Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones*

*Loja - Ecuador*

*Realizado por: Kleyner Antonio Rivilla Armijos*

*C.I. 1105232928*

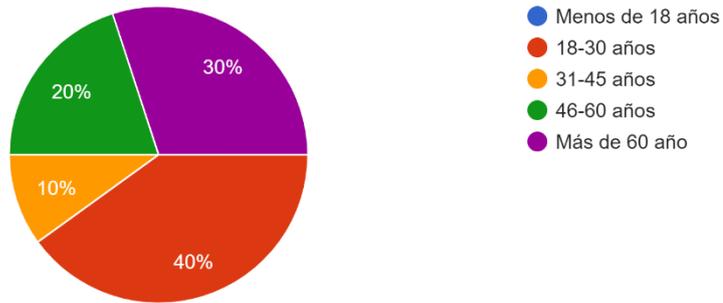
*Teléfono: +593985452065*

*Email: [kleyner.rivilla@unl.edu.ec](mailto:kleyner.rivilla@unl.edu.ec)*

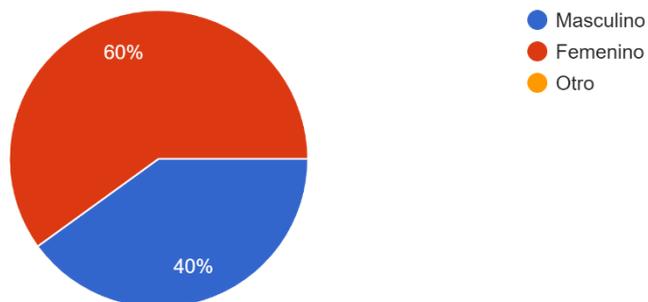
### Anexo 3. Preguntas de la encuesta realizada a los 10 pacientes voluntarios

#### a) Formulario de pacientes

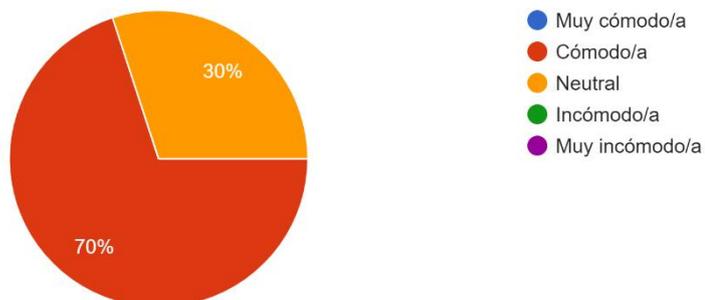
Edad:



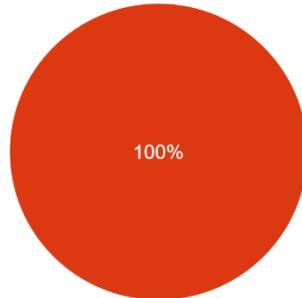
Género



¿Qué tan cómodo/a se siente al usar el dispositivo?

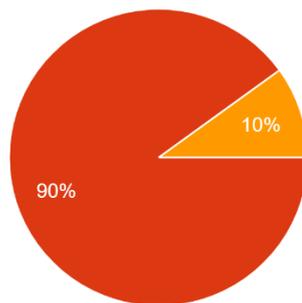


¿Qué tan fácil fue para usted aprender a usar el dispositivo de monitoreo de signos vitales?



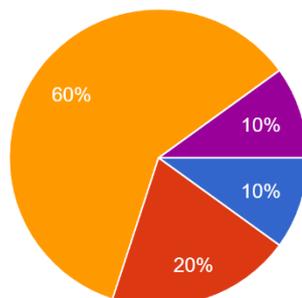
- Muy fácil
- Fácil
- Neutral
- Difícil
- Muy difícil

¿Cree que el uso del dispositivo podría mejorar su capacidad para gestionar su enfermedad crónica?



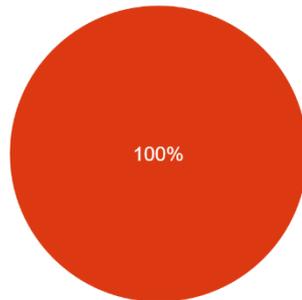
- Sí, significativamente
- Sí, moderadamente
- Neutral
- No, la mejoraría
- No, la empeoraría

¿Cuál cree que es el aporte más significativo que le ofrece el dispositivo?



- Ahorro económico en consultas médicas
- Reducción de la necesidad de viajes a centros de salud
- Mejora en la gestión y control de su enfermedad
- Mayor tranquilidad y seguridad respecto a su salud
- Mejor comunicación con su equipo médico

¿Qué tan satisfecho/a está con el dispositivo de monitoreo de signos vitales en general?



- Muy satisfecho/a
- Satisfecho/a
- Neutral
- Insatisfecho/a
- Muy insatisfecho/a

¿Qué características adicionales o mejoras le gustaría ver en el dispositivo?

Ninguno

ninguno

Ninguna

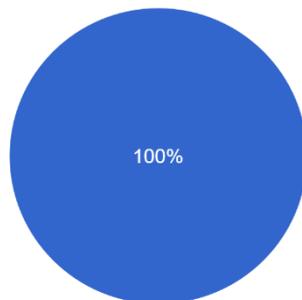
Ninguna

Nada

ninguna

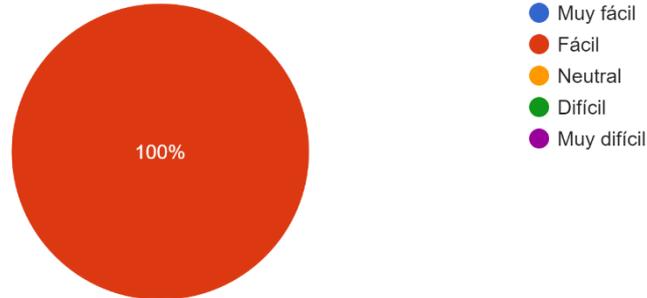
## b) Formulario de personal de salud

¿Tiene experiencia previa con dispositivos inteligentes de monitoreo de salud?

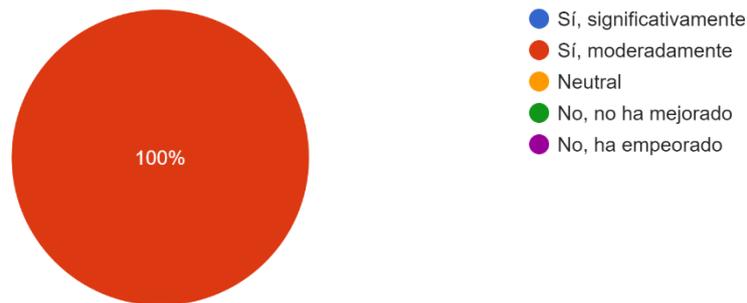


- Sí
- No

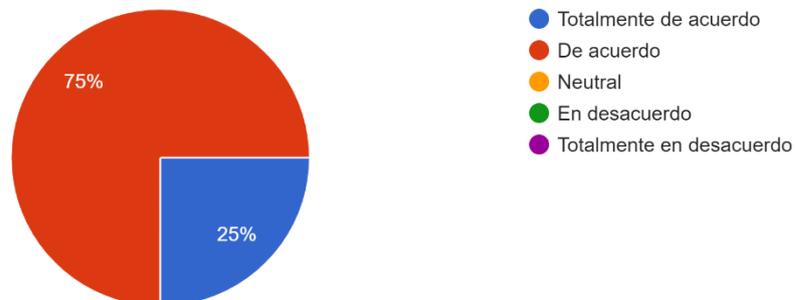
¿Qué tan fácil fue para usted aprender a usar el dispositivo de monitoreo de signos vitales?



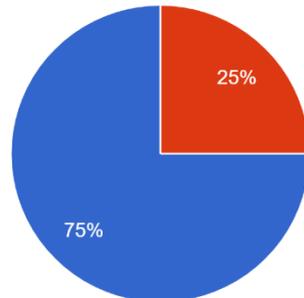
¿Cree que el dispositivo podría mejorar la gestión de las enfermedades crónicas en sus pacientes?



¿Considera que la interfaz de usuario del dispositivo es intuitiva y fácil de usar?



¿Cuáles son las limitaciones más significativas que ha observado en el uso del dispositivo?



- Problemas de precisión en las mediciones
- Dificultades técnicas o de conectividad
- Falta de integración con otros sistemas de salud
- Incomodidad para el paciente

¿Qué características adicionales o mejoras le gustaría ver en el dispositivo?

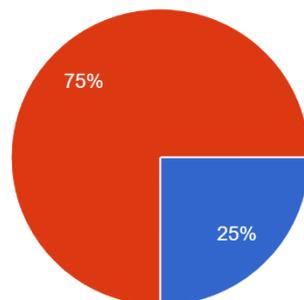
Control de la presión

Presión arterial

Medir la Presión arterial

Datos de presión arterial

¿Recomendaría este dispositivo a otros colegas para el monitoreo de pacientes con enfermedades crónicas?



- Si, definitivamente
- Si, probablemente
- No estoy seguro/a
- Probablemente no
- No, definitivamente no

#### Anexo 4. Pruebas del dispositivo con paciente realizando actividades cotidianas



## Anexo 5. Especificaciones técnicas del microcontrolador ESP32

# ESP32 NODE MCU

## ESP32 - WiFi & Bluetooth SoC Module

Creado por **Espressif Systems**, **ESP32** es un sistema de bajo consumo y bajo costo en un chips SoC (System On Chip) con Wi-Fi y modo dual con Bluetooth!

En el fondo, hay un microprocesador **Tensilica Xtensa LX6** de doble núcleo o de un solo núcleo con un frecuencia de reloj de hasta **240MHz**.

**ESP32** está altamente integrado con switch de antena , balun para RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción con bajo nivel de ruido, filtros y módulos de administración de energía, totalmente integrados dentro del mismo chip!!.

Diseñado para dispositivos móviles; tanto en las aplicaciones de electrónica, y las de IoT (Internet de las cosas), **ESP32** logran un consumo de energía ultra bajo a través de funciones de ahorro de energía

Incluye la sintonización de reloj con una resolución fina, modos de potencia múltiple y escalado de potencia dinámica.

### Características principales:

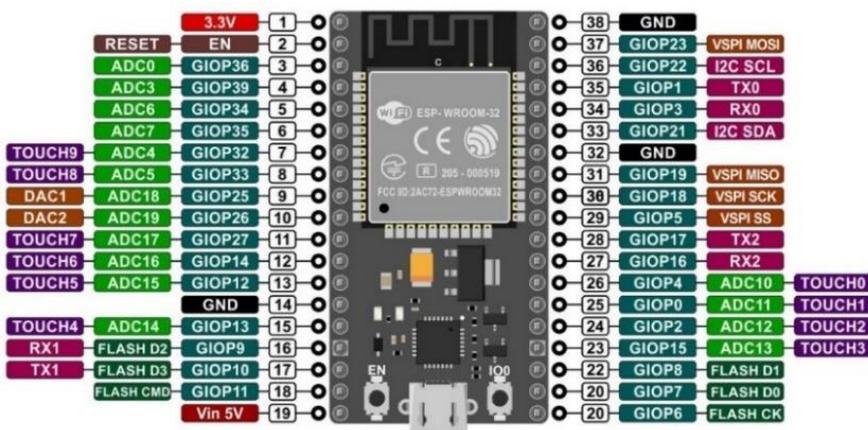
- Procesador principal:** Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits.
- Wi-Fi:** 802.11 b / g / n / e / i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit / s).
- Bluetooth:** v4.2 BR / EDR y Bluetooth Low Energy (BLE).
- Frecuencia de Clock:** Programable, hasta 240MHz.
- Rendimiento:** hasta 600DMIPS.
- ROM:** 448KB, para arranque y funciones básicas.
- SRAM:** 520KiB, para datos e instrucciones.



### 3.10 Peripheral Pin Configurations

Table 3-6. Peripheral Pin Configurations

Interface	Signal	Pin	Function
ADC	ADC1_CH0	SENSOR_VP	Two 12-bit SAR ADCs
	ADC1_CH1	SENSOR_CAPP	
	ADC1_CH2	SENSOR_CAPN	
	ADC1_CH3	SENSOR_VN	
	ADC1_CH4	32K_XP	
	ADC1_CH5	32K_XN	
	ADC1_CH6	VDET_1	
	ADC1_CH7	VDET_2	
	ADC2_CH0	GPIO4	
	ADC2_CH1	GPIO0	
	ADC2_CH2	GPIO2	
	ADC2_CH3	MTDO	
	ADC2_CH4	MTCK	
	ADC2_CH5	MTDI	
	ADC2_CH6	MTMS	
	ADC2_CH7	GPIO27	
ADC2_CH8	GPIO25		
ADC2_CH9	GPIO26		
DAC	DAC_1	GPIO25	Two 8-bit DACs
	DAC_2	GPIO26	
Touch Sensor	TOUCH0	GPIO4	Capacitive touch sensors
	TOUCH1	GPIO0	
	TOUCH2	GPIO2	
	TOUCH3	MTDO	
	TOUCH4	MTCK	
	TOUCH5	MTDI	
	TOUCH6	MTMS	
	TOUCH7	GPIO27	
	TOUCH8	32K_XN	
TOUCH9	32K_XP		
JTAG	MTDI	MTDI	JTAG for software debugging
	MTCK	MTCK	
	MTMS	MTMS	
	MTDO	MTDO	

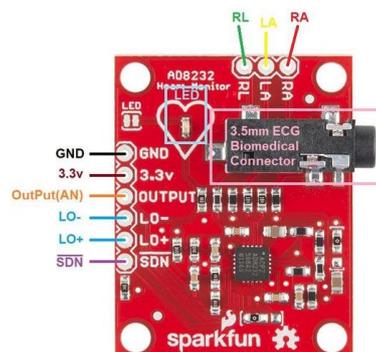


## Anexo 6. Especificaciones técnicas del sensor AD8232

### 3.10 Peripheral Pin Configurations

Table 3-6. Peripheral Pin Configurations

Interface	Signal	Pin	Function
ADC	ADC1_CH0	SENSOR_VP	Two 12-bit SAR ADCs
	ADC1_CH1	SENSOR_CAPP	
	ADC1_CH2	SENSOR_CAPN	
	ADC1_CH3	SENSOR_VN	
	ADC1_CH4	32K_XP	
	ADC1_CH5	32K_XN	
	ADC1_CH6	VDET_1	
	ADC1_CH7	VDET_2	
	ADC2_CH0	GPIO4	
	ADC2_CH1	GPIO0	
	ADC2_CH2	GPIO2	
	ADC2_CH3	MTDO	
	ADC2_CH4	MTCK	
	ADC2_CH5	MTDI	
	ADC2_CH6	MTMS	
	ADC2_CH7	GPIO27	
ADC2_CH8	GPIO25		
ADC2_CH9	GPIO26		
DAC	DAC_1	GPIO25	Two 8-bit DACs
	DAC_2	GPIO26	
Touch Sensor	TOUCH0	GPIO4	Capacitive touch sensors
	TOUCH1	GPIO0	
	TOUCH2	GPIO2	
	TOUCH3	MTDO	
	TOUCH4	MTCK	
	TOUCH5	MTDI	
	TOUCH6	MTMS	
	TOUCH7	GPIO27	
	TOUCH8	32K_XN	
	TOUCH9	32K_XP	
JTAG	MTDI	MTDI	JTAG for software debugging
	MTCK	MTCK	
	MTMS	MTMS	
	MTDO	MTDO	

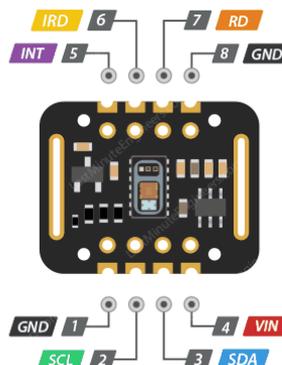


## Anexo 7. Especificaciones técnicas del sensor MAX30102

### Electrical Characteristics (continued)

( $V_{DD} = 1.8V$ ,  $V_{LED+} = 5.0V$ ,  $T_A = -40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ , unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A = +25^{\circ}C$ ) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>IR LED CHARACTERISTICS (Note 3)</b>						
LED Peak Wavelength	$\lambda_P$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$	870	880	900	nm
Full Width at Half Max	$\Delta\lambda$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$		30		nm
Forward Voltage	$V_F$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$		1.4		V
Radiant Power	$P_O$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$		6.5		mW
<b>RED LED CHARACTERISTICS (Note 3)</b>						
LED Peak Wavelength	$\lambda_P$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$	650	660	670	nm
Full Width at Half Max	$\Delta\lambda$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$		20		nm
Forward Voltage	$V_F$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$		2.1		V
Radiant Power	$P_O$	$I_{LED} = 20mA$ , $T_A = +25^{\circ}C$		9.8		mW
<b>PHOTODETECTOR CHARACTERISTICS (Note 3)</b>						
Spectral Range of Sensitivity	$\lambda$ (QE > 50%)	QE: Quantum Efficiency	600		900	nm
Radiant Sensitive Area	A			1.36		mm <sup>2</sup>
Dimensions of Radiant Sensitive Area	L x W			1.38 x 0.98		mm x mm
<b>INTERNAL DIE TEMPERATURE SENSOR</b>						
Temperature ADC Acquisition Time	$T_T$	$T_A = +25^{\circ}C$		29		ms
Temperature Sensor Accuracy	$T_A$	$T_A = +25^{\circ}C$		$\pm 1$		$^{\circ}C$
Temperature Sensor Minimum Range	$T_{MIN}$			-40		$^{\circ}C$
Temperature Sensor Maximum Range	$T_{MAX}$			85		$^{\circ}C$
<b>DIGITAL INPUT CHARACTERISTICS: SCL, SDA</b>						
Input High Voltage	$V_{IH}$	$V_{DD} = 2V$	0.7 x $V_{DD}$			V
Input Low Voltage	$V_{IL}$	$V_{DD} = 2V$			0.3 x $V_{DD}$	V
Hysteresis Voltage	$V_H$			0.2		V
Input Leakage Current	$I_{IN}$	$V_{IN} = GND$ or $V_{DD}$ (STATIC)		$\pm 0.05$	$\pm 1$	$\mu A$
<b>DIGITAL OUTPUT CHARACTERISTICS: SDA, INT</b>						
Output Low Voltage	$V_{OL}$	$I_{SINK} = 6mA$			0.2	V



## Anexo 8. Especificaciones técnicas del sensor LM35

### 6 Specifications

#### 6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)(2)</sup>

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage		-0.2	35	V
Output voltage		-1	6	V
Output current			10	mA
Maximum Junction Temperature, $T_{jmax}$			150	°C
Storage Temperature, $T_{stg}$	TO-CAN, TO-92 Package	-60	150	°C
	TO-220, SOIC Package	-65	150	

- (1) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

#### 6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT	
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	±2500	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

#### 6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
Specified operating temperature: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	LM35, LM35A	-55	150	°C
	LM35C, LM35CA	-40	110	
	LM35D	0	100	
Supply Voltage (+ $V_S$ )		4	30	V

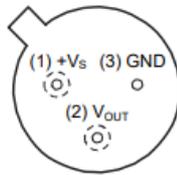
#### 6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)(2)</sup>	LM35				UNIT
	NDV	LP	D	NEB	
	3 PINS		8 PINS	3 PINS	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	400	180	220	90	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$ Junction-to-case (top) thermal resistance	24	—	—	—	

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).
- (2) For additional thermal resistance information, see [Typical Application](#).

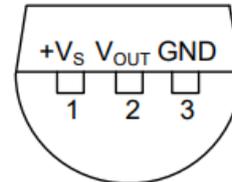
## Pin Configuration and Functions

**NDV Package  
3-Pin TO-CAN  
(Top View)**

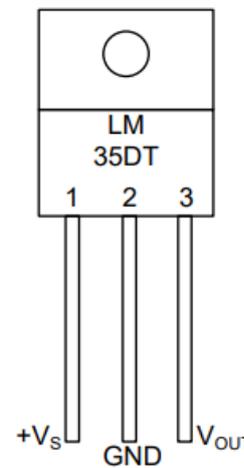


Case is connected to negative pin (GND)  
Refer the second NDV0003H page for  
reference

**LP Package  
3-Pin TO-92  
(Bottom View)**



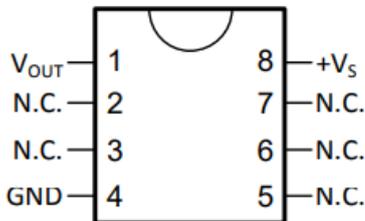
**NEB Package  
3-Pin TO-220  
(Top View)**



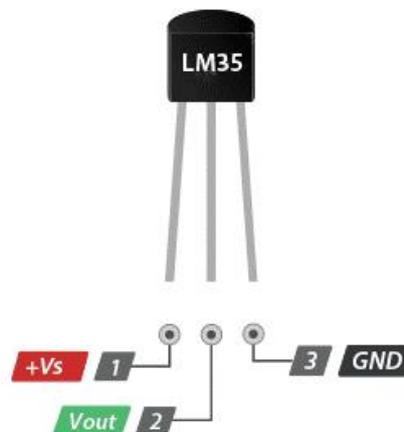
Tab is connected to the negative pin  
(GND).

**NOTE:** The LM35DT pinout is different than  
the discontinued LM35DP

**D Package  
8-PIN SOIC  
(Top View)**



N.C. = No connection

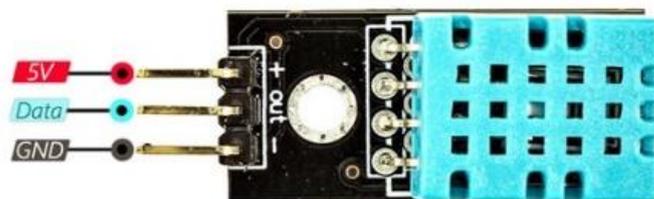


**LM35 Pinout**

## Anexo 9. Especificaciones técnicas del sensor DHT11

### Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
<b>Humidity</b>				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	
<b>Temperature</b>				
Resolution		1°C	1°C	1°C
			8 Bit	8 Bit
Repeatability			± 1°C	
Accuracy		± 1°C		± 2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S





unl

Universidad  
Nacional  
de Loja



CIT

## Anexo 10. Certificado de traducción del resumen

Loja, 31 de Julio, 2024

Yo, Mgtr. Marcela Angelita Ocampo Jaramillo, portadora de la cédula de identidad Nro.1103125231, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, especialidad inglés, número de registro de SENESCYT 1031-07-755014; y Master en Gerencia y Liderazgo Educativo con número de registro SENESCYT 1031-14-86047597.

CERTIFICO:

Que la traducción al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación, denominado **“Diseño y construcción de un dispositivo biosensor portátil de bajo costo usando tecnología IoT para la monitorización remota de signos vitales enfocado a pacientes que padecen enfermedades crónicas”**, perteneciente al egresado Kleyner Antonio Rivilla Armijos con Nro. de cédula 1105232928, corresponde al texto original en español.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que él creyera conveniente.



Firmado electrónicamente por:  
MARCELA ANGELITTA  
OCAMPO JARAMILLO

Mgtr. Marcela Ocampo Jaramillo

Docente de Inglés del Instituto de Idiomas de la UNL.