



Universidad **Mariana**

Prototipo de sistema no invasivo de geo-monitoreo de variables vitales mediante el uso de
herramientas IoT

Juan Sebastián Camargo Pava

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto

2024

Prototipo de sistema no invasivo de geo-monitoreo de variables vitales mediante el uso de
herramientas IoT

Juan Sebastián Camargo Pava

Informe de investigación para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Mag. Jorge Andrés Chamarro Enríquez

Asesor

Universidad Mariana
Facultad Ingeniería
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del estudiante Juan Sebastián Camargo Pava

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Extiendo un profundo agradecimiento a todas las personas que me han apoyado a lo largo de esta trayectoria académica, incluyendo a la institución educativa. A mi asesor, Jorge Andrés Chamorro, por brindarme su apoyo, experiencia y conocimientos a lo largo de este proceso. A nuestros profesores quienes me brindaron sus conocimientos y experiencias a lo largo de este proceso. A la universidad mariana por proporcionarme todos los recursos necesarios para la realización de este proyecto de grado.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a aquellas personas que han sido esenciales en mi proceso académico y personal. A mi madre, por su amor incondicional, comprensión y paciencia en todo este proceso académico como personal. A mis familiares y amigos, quienes me brindaron acompañamiento y conocimientos tanto personales como académicos. A mi asesor, por su guía experta y compromiso con mi crecimiento académico. Finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que, de una forma u otra, me brindaron su apoyo. Su contribución ha sido fundamental en este camino hacia el éxito.

Juan Sebastián Camargo Pava

Contenido

Introducción	12
1. Resumen del proyecto	13
1.1. Descripción del problema	13
1.1.1. Formulación del problema	14
1.2. Justificación.....	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos	15
1.4.1. Antecedentes	16
1.4.1.1 Internacionales.	16
1.4.1.2 Nacionales.	16
1.4.1.3 Regionales.	17
1.4.2 Marco teórico	17
1.4.3 Marco ético.....	41
1.5 Metodología	41
1.5.1 Tipo de investigación	41
1.5.2 Línea y áreas temáticas del grupo de investigación	41
1.5.3 Hipótesis de la investigación.....	42
1.5.4 Diseño de ingeniería y desarrollo técnico	42
2 Presentación de resultados	58
2.1.1 Resultado del objetivo 1	58
2.1.2 Resultado del objetivo 2.....	68
2.1.3 Resultado del objetivo 3.....	71
3. Conclusiones	75
4. Recomendaciones.....	76

Referencias bibliográficas	77
Anexos.....	84

Índice de Tablas

Tabla 1. Criterios de búsqueda 2002 – 2022.....	17
Tabla 2. Artículos relevantes para la investigación.....	18
Tabla 3. Valores normales de frecuencia cardiaca.....	21
Tabla 4. Resultados Temperatura corporal.....	54
Tabla 5. Resultados oxigenación en la sangre.....	54
Tabla 6. Resultados ritmo cardiaco.....	55
Tabla 7. Resultados de validación externa temperatura corporal.....	56
Tabla 8. Resultados saturación de oxígeno.....	56
Tabla 9. Resultados de ritmo cardiaco.....	57
Tabla 10. Especificaciones y características del sensor MAX30100.....	58
Tabla 11. Especificaciones y características del sensor MLX90614.....	59
Tabla 12. Especificaciones y características del módulo NEO6M.....	60
Tabla 13. Especificaciones ESP32.....	61
Tabla 14. Especificaciones Raspberry PI 3B+.....	62

Índice de Figuras

Figura 1. Taxonomía de la investigación	15
Figura 2. Parámetros normales de los signos vitales	24
Figura 3. Monitor de signos vitales	25
Figura 4. Pulsioxímetro	26
Figura 5. Termómetro de mercurio	27
Figura 6. Termómetros infrarrojos corporales.....	27
Figura 7. Etapas de IoT.....	28
Figura 8. Especificaciones técnicas del ESP32	30
Figura 9. Especificaciones Técnicas Raspberry PI 3B	31
Figura 10. Sensor Max30100	32
Figura 11. Sensor MLX90614.....	33
Figura 12. Protocolo I2C	33
Figura 13. Módulo GPS Ublox NEO-6M.....	35
Figura 14. Pantalla OLED	36
Figura 15. Protocolo	37
Figura 16. Valores normales y anormales de los signos vitales	45
Figura 17. Proceso de implementación	49
Figura 18. PCB para el prototipo de adquisición de señales biomédicas	63
Figura 19. Diseño prototipo tipo reloj	64
Figura 20. Diseño prototipo de geo monitoreo tipo reloj	64
Figura 21. Diseño encapsulado MAX30100	65
Figura 22. Circuito PCB del prototipo	65
Figura 23. Diseño del prototipo tipo reloj impreso en 3D.....	66
Figura 24. Diseño del encapsulado MAX30100 impreso en 3D.....	66
Figura 25. Montaje del prototipo de Geo monitoreo	67
Figura 26. Montaje prototipo Geo monitoreo completo.....	67
Figura 27. Adquisición de datos	68
Figura 28. Base de datos.....	69
Figura 29. Creación de tabla de base de datos.....	69

Figura 30. Visualización de datos biomédicos en la base de datos	70
Figura 31. Visualización de datos biomédicos y de geoposicionamiento en la página web	70
Figura 32. Visualización de alarmas.....	71
Figura 33. Adquisición de datos biomédicos por parte del prototipo de geoposicionamiento..	72
Figura 34. Visualización de variables vitales y ubicación del usuario	73
Figura 35. Simulación de anomalías y alarmas remotas	73
Figura 36. Visualización de base de datos.....	74

Índice de Anexos

Anexo A. Circuito para la adquisición de datos biomédicos y geo posicionales.....	83
Anexo B. Diseño de PCB en EAGLE	84
Anexo C. Diseño Fusión.....	87
Anexo D. Validación externa	86
Anexo E. Programación IDE Arduino.....	93
Anexo F. Programación de desarrollo web	99

Introducción

Actualmente, en la Región Nariñense, numerosas familias enfrentan la escasez de asistencia médica cuando sus miembros presentan descompensaciones en sus principales signos vitales, lo que afecta gravemente su salud.

Este trabajo de grado se centra en el desarrollo de un dispositivo de geo-monitoreo de variables vitales con alarmas remotas para el ámbito médico en la ciudad de San Juan de Pasto. Se enfoca en la adquisición, almacenamiento y visualización de datos fisiológicos de una persona, como el ritmo cardíaco (BPM), la saturación de oxígeno en la sangre (SpO2) y la temperatura corporal (°C), junto con la ubicación del paciente (GPS), con el fin de realizar un seguimiento más preciso de los ciudadanos que lo requieran en Pasto. El objetivo principal es brindar apoyo a las personas que experimenten descompensaciones, mejorando así la respuesta de atención cuando sea necesario. Además, proporcionará ayuda a los profesionales de la salud al permitirles acceder al historial del paciente y utilizarlo como base para la toma de decisiones.

Por tanto, se propone como trabajo de grado el desarrollo de un "Prototipo de sistema no invasivo de geo-monitoreo de variables vitales mediante el uso de herramientas IoT en la población de Pasto".

1. Resumen del proyecto

El objetivo principal de este trabajo de grado fue el diseño e implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo de signos vitales no invasivo, equipado con dos sensores destinados a capturar señales fisiológicas. Gracias a las herramientas IoT, estas señales podrán ser monitoreadas de forma remota a través de una página web, donde se podrán visualizar los datos obtenidos. Además, el sistema contará con un rastreador de geoposicionamiento, que será utilizado con personas que padecen alguna o ninguna discapacidad física, para conocer el comportamiento de signos vitales y las consecuencias de las fallas en estos hacia la salud de las personas. La recopilación de información de fuentes médicas resultó útil en este proceso. Tras llevar a cabo la investigación, se llegó a la conclusión de que los dispositivos biomédicos actuales para el monitoreo de signos vitales proporcionan a los médicos información valiosa sobre los pacientes. Gracias a los procedimientos de seguimiento, se puede apoyar al profesional de la salud en la identificación de padecimientos o descompensaciones de las personas, permitiendo así la adopción de soluciones adecuadas. Además, los expertos recomiendan realizar mediciones periódicas de los signos vitales, manteniendo un registro de los valores obtenidos. Este registro resulta invaluable para los médicos, ya que les permite conocer la evolución y el comportamiento de los signos vitales de un paciente, independientemente de si se encuentra en una oficina, un hospital, en casa o realizando sus actividades diarias, lo que facilita la toma de decisiones médicas informadas.

1.1. Descripción del problema

Actualmente, en la Región Nariñense, múltiples familias se han visto afectadas por la baja presencia de ayudas a personas que entran en un estado de descompensación en sus principales signos vitales. Esto requiere informar a los centros de salud para una reacción rápida, lo que hace que la población sea vulnerable ante tales situaciones. En algunos casos, la persona que presenta anomalías en sus principales signos vitales es incapaz de pedir ayuda por sí misma, lo que genera dependencia de personas externas para brindarle auxilio. Por ende, en la mayoría de los casos se genera un retraso en la asistencia médica, lo que puede empeorar la salud del paciente y, en el peor de los casos, llevar a su muerte.

El monitoreo permite la recopilación de los datos de los pacientes en sus hogares u otros entornos no clínicos, que se analizan y se utilizan para proporcionar retroalimentaciones al paciente como también a los médicos o profesionales de la salud. Esto mejora la calidad de atención y reduce el coste llegando así a aumentar la satisfacción del paciente (Faiz et al. 2023).

Por consiguiente, es necesario desarrollar un prototipo capaz de monitorear los principales signos vitales y mostrar la ubicación del paciente mediante una página web que registre las variables a monitorear y genere una alerta cuando el usuario presente algún tipo de anomalía en sus signos vitales. Además, contará con una base de datos que servirá como apoyo para el especialista en el diagnóstico del paciente y la toma de decisiones al respecto.

1.1.1. Formulación del problema

¿Cómo desarrollar un prototipo que evalúe los principales signos vitales de una persona como son, variación en la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y también la saturación de oxígeno en la sangre, utilizando un sistema de Geo-Monitoreo para la rápida reacción de entidades médicas o familiares?

1.2. Justificación

El presente proyecto se fundamenta en el monitoreo de signos vitales, así como también en la ubicación geográfica de personas mediante GPS, con el fin de lograr un monitoreo adecuado tanto en su frecuencia cardíaca, temperatura corporal y medición de saturación de oxígeno en la sangre, como en su ubicación. Estos datos son enviados a una base de datos para su almacenamiento. Asimismo, contará con una página web donde el especialista podrá visualizar todas las variables vitales adquiridas y geospaciales, siendo estas variables muy importantes, ya que se ven afectadas cuando se entra en un estado de descompensación, donde un médico o especialista podrá hacer un diagnóstico y tomar decisiones que ayuden al bienestar del paciente.

Cuando un usuario entra en un estado anormal, en muchas ocasiones se ve incapaz de pedir ayuda o informar a centros hospitalarios sobre la necesidad de una ambulancia o de informar a sus familiares su ubicación y la anomalía que está presentando. Esto es algo que el sistema propuesto podría brindar apoyo para poder reducir el tiempo de reacción y auxiliar a la persona que está pasando por esas anomalías. Además de monitorear los principales signos vitales, también brinda apoyo al diagnóstico del profesional de la salud.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo para el monitoreo de variables vitales complementado con un sistema de Geo- Ubicación, dirigido a la población de mayores de doce años.

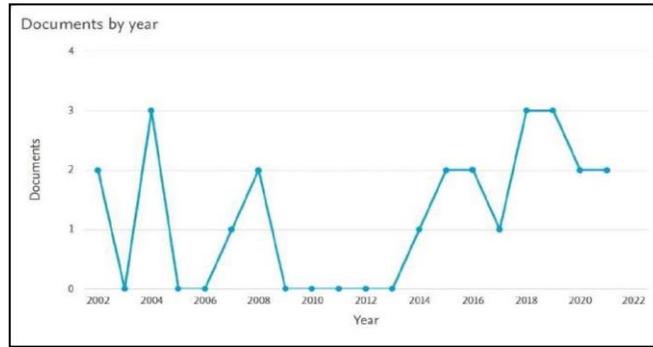
1.3.2. Objetivos específicos

- Construir un prototipo para la adquisición de datos biomédicos y geo-posicionales apoyándose en la IoT.
- Construir una aplicación de software para el geoposicionamiento y análisis de señales biomédicas como apoyo al diagnóstico de enfermedades a través de la generación de alarmas remotas.
- Validar el sistema integrando el prototipo de monitoreo de variables vitales y de geoposicionamiento, con la aplicación de software para verificar su correcto funcionamiento.

1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos

Figura 1

Taxonomía de la investigación



1.4.1. Antecedentes

Dentro de los diversos proyectos y fuentes web consultadas, se han encontrado referencias que respaldan el prototipo que se llevará a cabo en este proyecto. Podremos evidenciar aportes de mucho interés, ya que con estos se busca asimilar comprensión y adquirir más conocimientos acerca del tema. A continuación, presentaremos proyectos a nivel internacional, nacional y regional.

1.4.1.1 Internacionales. En este trabajo de grado titulado: Diseño y elaboración de un prototipo de monitor de signos vitales aplicando métodos no invasivos con comunicación de datos a dispositivos móviles (2015). Por los autores: Tintín Duran y Edison Ismael.

En este proyecto se puede visualizar detalladamente cada paso de las pruebas realizadas y cada sistema utilizado, como los medidores de presión arterial, la tecnología existente dentro del mercado, el uso del chipTik y la programación de la aplicación Android.

1.4.1.2 Nacionales. En este trabajo de grado titulado: Prototipo electrónico que permita el monitoreo de signos vitales como alternativa de apoyo en la clasificación del triage en urgencias (2021). Por los autores: Fajardo Prada, David Mauricio Montoya Moreno, Wilmer Stiven.

Dentro de este proyecto, encontramos un prototipo utilizado para clasificar según la urgencia que presente cada paciente dentro de un centro de salud, con un sistema que permite captar los signos vitales, dándoles a conocer los síntomas que presenta el paciente de una manera más rápida.

1.4.1.3 Regionales. En este trabajo titulado: Diseño e implementación de un dispositivo para el monitoreo de la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y temperatura, en pacientes bajo anestesia quirúrgica de la clínica veterinaria de la Universidad de Nariño (2016). Por los autores: Botina, Jhon y Erazo, Jhon.

En este trabajo de grado se puede observar un sistema de monitoreo de signos vitales que se enfoca en pacientes quirúrgicos. Sin embargo, en la medicina veterinaria, esto se realizó con el fin de responder rápidamente a las complicaciones más comunes con los anestésicos. Las pruebas se llevaron a cabo con los siguientes componentes, como los sensores, amplificadores de instrumentación y microcontroladores, teniendo en cuenta el funcionamiento y comportamiento en el quirófano.

1.4.2 Marco teórico

1.4.1.1 Criterios de búsqueda y base de datos.

Se realiza la búsqueda en bases de datos ‘Scopus’ con las palabras clave ECGi, "ECG imaging", non-invasive, oxygen saturation, oximeter, oximety, vital signs monitoring, parametrizando y estableciendo límites para así determinar los documentos que ayuden a la investigación.

Tabla 1

Criterios de búsqueda 2002 – 2022

Tipo de violencia	Año
Criterios de búsqueda	"ECGi" AND "NON-INVASIVE" AND "OXYGEN SATURACION" AND "OXIMETER" AND "VITAL MONITORING"
Periodo de búsqueda	2002 - 2022

Número de documentos encontrados sin filtros	24
Idioma	Solo artículos en inglés
Filtro por área temática	Computación Ingeniería Medicina
Tipo de documentos	Artículos
Número de documentos encontrados sin filtros	12

1.4.1.2 Análisis de desarrollo previos

Tabla 2

Artículos relevantes para la investigación

Número	Autores y año	Número de Citaciones	Área temática
1	McGillion M.H, Duceppe E, Allan K, Marcucci M, Yang S Yang A.P, Ross-Howe S, Scott T, Peter E, Ouellette C, Henry S, Le Manach Y.	45	Adquisición de datos con machine learning

2	Thiago Mazzu-Nascimento, Danilo Nogueira Evangelista, Obeedu Abubakar, Meliza Goi Roscani, Rodrigo Santos Aguilar, Silvana Gama Florêncio Chachá, Priscila Raupp da Rosa, Diego Furtado Silva	34	Uso de teléfonos inteligentes para detección de enfermedades cardiovasculares
3	Wei & Pei (1998)	12	Técnicas de filtrado en frecuencias
4	Jiménez et al. (2021)	5	Técnicas de ML aplicado a señales digitales
5	Kevin Amos, T Rajalakshmi and D Raja. Gao T, Greenspan D, Welsh M,	6	Vital signs monitoring and patient tracking over a wireless network Proc.
6	Hamer et al. (2021)	4	Sistema clasificador usando Deep Learning

Igualmente, haciendo una revisión minuciosa en bases de datos confiables, se encuentran algunos artículos orientados hacia la adquisición de datos en machine learning, que muestran nuevas formas de análisis basadas en la interrelación de datos fisiológicos. Estos logran anticipar los parámetros fisiológicos riesgosos, lo que puede reducir las principales complicaciones peroperatorias o los reingresos a centros hospitalarios hasta en un 50%, aproximadamente. McGillion et al. (2018).

En los artículos científicos también se encuentra información valiosa respecto al uso de teléfonos inteligentes para la adquisición de datos, como la fotopleitismografía (PPG), el fonocardiograma, el electrocardiograma con smartphone y el uso de IA's para la adquisición de

datos. Estas tecnologías pueden colaborar en la identificación de ciertos patrones o sonidos raros del proceso vital, así como en la toma de decisiones mediante el uso de robótica, redes neuronales e incluso algoritmos. Sin embargo, es necesario implementar avances en áreas como la eliminación de ruido, la amplificación de señales y la mejora de la exactitud y la predicción en problemas vitales. También es importante destacar que el uso del deep learning ha colaborado en el análisis de estos parámetros y se convierte en una técnica fundamental que permite eliminar el ruido en el cribado clínico mediante el uso de teléfonos inteligentes. Además, la creación de aplicaciones multiparamétricas resulta útil para brindar acceso a la salud de las personas. Nogueira et al. (2022).

Aporta varias informaciones sobre sensores y un prototipo de monitor portátil, donde se podría dar uso a los electrodos para que permitan una buena medición de los signos vitales de la señal ECG no invasiva. Facilita información sobre el filtro de paso alto analógico, que, al aplicarlo en el prototipo, permitirá y ayudará a disminuir los ruidos de las señales. De igual manera, aporta el uso de un chip (SOC) que contiene 24 bits, lo que permitirá obtener una mejor resolución. Este chip tiene un registro de 8 entradas y para acondicionar las señales nos proporciona información sobre el procesador de señales digitales. (Castano, 2016)

Los microcontroladores, que se basan en la frecuencia cardíaca y la oximetría, le aportarán al prototipo una gran capacidad de procesamiento y de cálculo de los algoritmos, lo que ayudará a tener las referencias correctas para la realización del proyecto. La oximetría, que es un método no invasivo, utiliza un fotodiodo para medir la intensidad de la energía o se le puede dar uso a la luz reflejada del tejido. La señal capturada en el fotodetector se denomina fotopletoxiograma (PPG), el cual tiene dos componentes: un componente de CC producido por la luz reflejada y transmitida del tejido, y un componente AC que forma las variaciones del volumen de la sangre arterial. (Jiménez, 2021)

En el estudio de uno de los proyectos de la base de datos, se presentan unos parámetros sobre los sensores que se pueden utilizar dentro del proyecto, que darán las referencias de los sensores del microcontrolador que fue utilizado, como por ejemplo el ATmega328P. Para la frecuencia

cardíaca se utilizó un MAX30100, con este sensor se puede medir la oxigenación en la sangre y la tasa de respiración. Para la temperatura se utilizó un sensor LM35. (Amos y Silva, 2005)

La distancia es calculada por el QGIS, que es el algoritmo que calcula el tiempo o la ruta más corta, lo cual brindará ayuda al proyecto, ya que lo que se quiere llevar a cabo es ubicar al usuario y la distancia más corta. (Pérez, 2020)

1.4.1.3 Signos vitales

Los signos vitales reflejan funciones fisiológicas esenciales del cuerpo, incluso el ritmo cardiaco (FC), la frecuencia respiratoria (FR), la temperatura (TC) y la presión arterial (PA o TA), oximetría (Spo2) lo que permite determinar si el paciente está vivo y si el funcionamiento orgánico es óptimo. (Cruz, 2023)

Tabla 3

Valores normales de frecuencia cardiaca

Edad	Pulsos por minuto (PPM)
Recién nacido	140 - 160
Un año	115 - 30
Doce años	100 - 115
Adultos	70 – 80
Personas mayores	60 - 70

1.4.1.3.1 Alteraciones en el ritmo cardiaco

En este las alteraciones cardiacas ocurren cuando no funcionan adecuadamente los impulsos eléctricos que le ordenan al corazón latir, puede que el corazón lata demasiado rápido o demasiado lento como también puede ocurrir que el patrón del ritmo cardíaco sea irregular. Los principales tipos son:

- Taquicardia: Es cuando el corazón late rápidamente, la frecuencia cardiaca es superior a 100 latidos por minuto.
- Bradicardia: Es cuando el corazón late lentamente, la frecuencia cardiaca es inferior a 60 latidos por minuto.
- Arritmias ventriculares: Arritmias generadas en las cámaras inferiores del corazón.
- Arritmias supra ventriculares: Ritmos irregulares que se generan en la cámara superior del corazón.

1.4.1.3.2 Oximetría

Para sostener el metabolismo aeróbico el cuerpo humano obtiene oxígeno por medio de la respiración, donde inspira aire. En este proceso contemplamos la oxigenación, que es el proceso donde el oxígeno se difunde pasivamente desde el alveolo hasta el capilar pulmonar, En el capilar pulmonar el oxígeno, una vez difundido puede tomar dos caminos, ya sea mezclarse con la hemoglobina que está presente en los glóbulos rojos o disolverse en el plasma. Cuando se presentan errores en este proceso, resulta una insuficiencia en la oxigenación de la sangre originando hipoxemia o hipoxia.

1.4.1.3.3 ECGs

Debido a que los fluidos corporales son buenos conductores (es decir, el cuerpo es un conductor de volumen), las fluctuaciones potenciales que representan la suma algebraica de los potenciales de acción de las fibras miocárdicas pueden registrarse extracelularmente. Así es como el electrocardiograma (ECG) es el registro de las fluctuaciones potenciales durante el ciclo cardíaco.

El ECG puede ser registrado por electrodos de exploración o electrodos activos los cuales están conectados a un electrodo neutro de potencial cero (registro unipolar), o también con el uso de dos electrodos activos (grabación bipolar). Utilizando los conductores de volumen, la sumatoria de potenciales en los puntos de un triángulo equilátero centrado se pueden integrar (Triángulo de Einthoven) colocando los electrodos la pierna izquierda y en los dos brazos, logrando así la derivación estándar para ECGs en extremidades. Es un parámetro utilizado es la medición de la cantidad de hemoglobina oxigenada con respecto a la total que hay en un individuo

1.4.1.3.4 Saturación de oxígeno en la sangre

La saturación de oxígeno en la sangre es, en otras palabras, la capacidad que tiene la sangre para transportar oxígeno y puede variar dependiendo de la función de la pulsación cardiaca. Siendo SaO₂ la saturación de oxígeno en la sangre, HbO₂ hemoglobina oxigenada y HbO₂+Hb la hemoglobina total.

Lo más normal sería que el individuo tenga niveles entre el 95% y el 100%, por debajo de ese promedio se debe realizar un tratamiento al paciente de forma inmediata, y por debajo del 90% se lo cataloga como enfermo grave.

1.4.1.3.5 Temperatura corporal

La temperatura del cuerpo humano normalmente está entre 36.5 - 37.5 °C, y la medición de la temperatura corporal se la puede tomar de tres formas en distintas partes del cuerpo porque cada una dispone de una exactitud diferente en sus valores. Uno de los lugares más cotidianos donde se mide la temperatura corporal es en la cavidad bucal, pero también se puede realizar la medición de la temperatura en la cavidad rectal, en la axila y su temperatura normal es de 36.8 °C. Si se llegara a realizar la medición en un lugar diferente a los antes mencionados van a cambiar entre 2 y 4 °C. (Monroy y Yuseff 2024).

Además, se debe tomar en cuenta los parámetros anormales de la temperatura corporal como son:

- Hipotermia $<35^{\circ}\text{C}$
- Fiebre $>38^{\circ}\text{C}$
- Hipertermia $>40^{\circ}\text{C}$

1.4.1.3.6 Parámetros normales de los signos vitales

Es un parámetro el cual consta de la medición de la cantidad de hemoglobina oxigenada con respecto a la total que hay en un individuo. Y se la define con la siguiente ecuación:

Figura 2

Parámetros normales de los signos vitales

Edad	Temperatura	Respiración	Pulso	Tensión arterial
Recién nacido	36.6° C a 37.8° C	30 a 40/ min	120-160/min	70/50
Primer año	36.6° C a 37.8° C	26 a 30/ min	120-130/ min	90/50
Segundo año	36.6° C a 37.8° C	25/ min	100-120/min	De 2 a 10 años: Sistólica: # años x 2 + 80. Diastólica: mitad de la sistólica + 10
Tercer año	36.6° C a 37.8° C	25/ min	90-100/min	
4 a 8 años	36.5° C a 37° C	20 a 25/ min	86-90/min	
8 a 15 años	36.5° C a 37° C	18 a 20/ min	80-86/min	De 10 a 14 años: Sistólica: # de años + 100. Diastólica: mitad de sistólica + 10
Edad adulta	36.5° C	16 a 20/ min	60-80/min	120/ 80 +ó- 10
Vejez	36.0 C ó menos	14 a 16/ min	60 ó menos	

1.4.1.4 Dispositivos para la medición de signos vitales

Estos son algunos dispositivos que ayudan a monitorear y medir los parámetros que son vitales para el ser humano, cabe resaltar que se tomó en cuenta los dispositivos más significativos para el proyecto de grado.

1.4.1.4.1 Monitor de variables vitales

Este dispositivo de manera interrumpida es capaz de la detección, procesamiento, y despliegue de los parámetros fisiológicos del paciente, también cuenta con un sistema de alarmas capaces de alertar cuando se detecta algún tipo de anomalía en los parámetros vitales.

Esta cuenta con una pantalla donde se puede visualizar las ondas y/o información numérica de diversos parámetros fisiológicos como: ritmo cardíaco (ECG), presión arterial no invasiva (PANI), pulso, saturación de oxígeno (Spo2), temperatura, CO2 y presión arterial invasiva (PAI) (Garatachea, 2002).

Figura 3

Monitor de signos vitales



Fuente: Equipos miento médico, 2020, (www.equipamientosmedicos.cl.)

1.4.1.4.2 *Pulsioxímetros*

El pulsioxímetro o también conocido como oxímetro de pulso es un dispositivo biomédico bastante pequeño y no invasivo, este es capaz de medir de manera muy precisa, el porcentaje de la hemoglobina saturada (SpO₂). Este se basa en la Ley de Beer-Lamber, la cual se basa en la absorción de luz, cuando introduce los dedos entre el emisor y el fotorreceptor, la luz que emite atraviesa los distintos tejidos acordes a su concentración de longitud así obtiene un porcentaje de luz a través del dedo y el restante en el fotorreceptor (Puras y Lujan, 2006).

Figura 4

Pulsioxímetro



Nota. En esta imagen se puede visualizar el pulsioxímetro y como se usa. Imagen tomada (www.equipamientosmedicos.cl.)

1.4.1.4.3 *Termómetros Corporales para humanos*

Existen diferentes instrumentos para medir la temperatura corporal en seres humanos, se pueden encontrar tanto digitales como analógicos. Estos son algunos termómetros usados en el ámbito medicinal:

El termómetro de mercurio se basa en la dilatación del mercurio debido al calor corporal que recibe, por lo tanto esto permite medir la variación en una escala numérica.

Figura 5

Termómetro de mercurio



Fuente: Dialnet, 2015.

El termómetro infrarrojo se basa en la lectura de un sensor que capta el calor emitido por la superficie corporal, este se calibra de acuerdo con la temperatura ambiental y luego se transforma la señal electrónica que nos indica el valor obtenido.

Figura 6

Termómetro infrarrojo corporal



Fuente: Equipamientos médicos, 2016

1.4.1.5 IoT (Internet de las cosas)

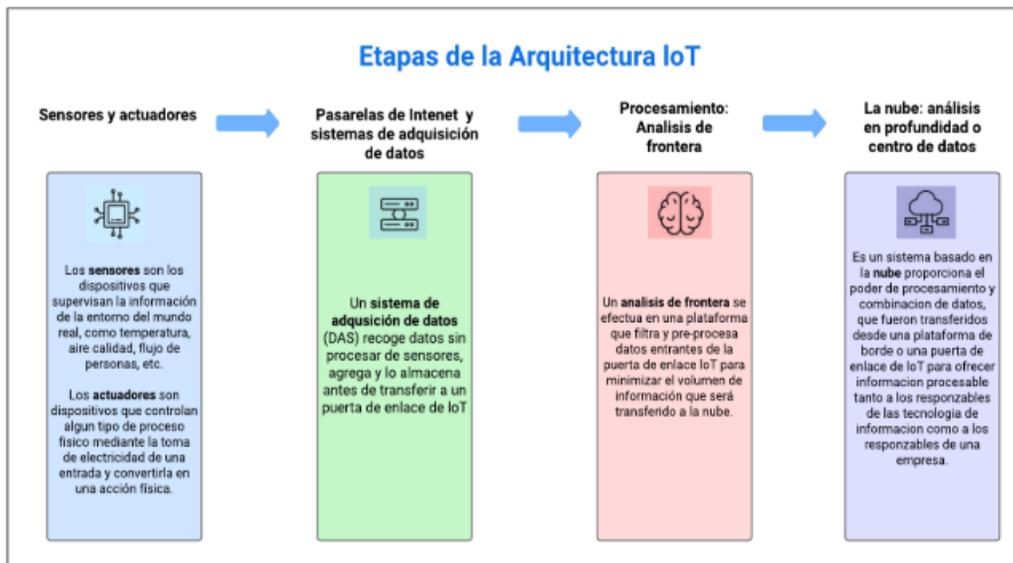
Gracias a las herramientas (IoT) es posible intercambiar información a través de la red, esto es poder establecer comunicación entre dispositivos electrónicos y personas mediante el uso de módulos Wifi, sensores, software y otras diferentes tecnologías y otras tecnologías.

Una de las tareas principales es utilizar dispositivos portátiles con el fin de poder monitorear, y controlar analíticamente variables vitales en la población mundial así la IoT permite comprender mejor su propia salud y de igual forma a los profesionales de la salud permite monitorear pacientes de forma remota.

En la actualidad existen más de 10 mil millones de dispositivos IoT contados y los expertos plantean que este número aumentará significativamente para el año 2025. (Lagana, 2004).

Figura 7

Etapas de IoT



Fuente: Dialnet

1.4.1.5.1 Biotelemetria y monitoreo remoto de salud

Según Mohammed Ghanim la biotelemetría se refiere a la medición y transmisión remota de datos de una persona que utiliza dispositivos electrónicos, estos pueden incluir sensores que miden diferentes parámetros fisiológicos como la frecuencia cardiaca, la presión arterial, oxigenación en sangre, temperatura, entre otras. Esta tecnología es utilizada para la investigación, la medicina y entornos hospitalarios (Das y Yoo, 2015).

Por otro lado, el monitoreo remoto de salud se refiere a un campo más amplio que abarca el uso de tecnologías para monitorear y gestionar la salud de pacientes de forma remota. A diferencia de la biotelemetría el monitoreo permite la recopilación de los datos de los pacientes en sus hogares u otros entornos no clínicos, que se analizan y se utilizan para proporcionar retroalimentaciones al paciente como también a los médicos o profesionales de la salud. Esto mejora la calidad de atención y reduce el coste llegando así a aumentar la satisfacción del paciente (Faiz et al. 2023).

1.4.1.5.2 Microcontroladores

En la actualidad, los microcontroladores son indispensables en la realización de cualquier proyecto electrónico, ya que tienen la capacidad de procesar información que proviene de los sensores para poder ejecutar las tareas que son requeridas específicamente. Además, ofrecen una amplia gama de pines que cuentan con diferentes protocolos de comunicación, ya sea para actuadores, sensores o conexiones de red. Estos dispositivos tienen un bajo consumo energético y una gran portabilidad. Existen numerosos modelos de microcontroladores disponibles, como Arduino, ESP32, Raspberry Pi, entre otros.

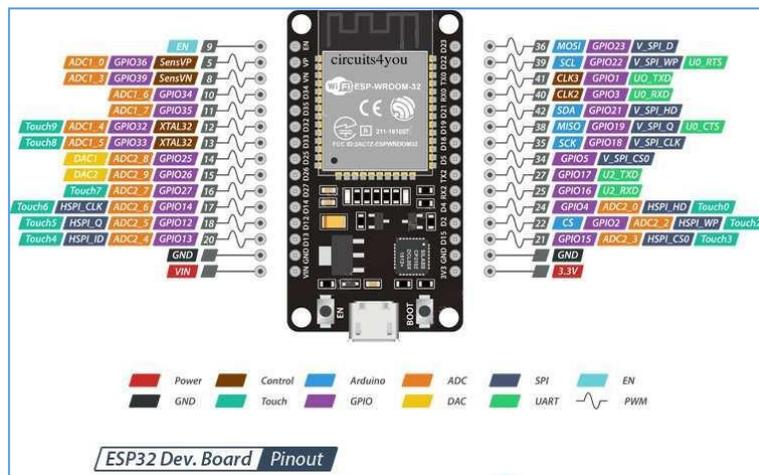
Los ESP 32 son una serie de microcontroladores de bajo costo y de bajo consumo con sistemas a internet de las cosas (IoT) de modo dual integrados, estos cuentan con varios entornos de

desarrollo de código abierto y sus bibliotecas la hacen perfectamente adecuado para desarrolladores de todo tipo. (Benigno, 2003).

El módulo ESP32 es una solución de Wi-Fi/Bluetooth todo en uno, integrada y certificada que proporciona no solo la radio inalámbrica, sino también un procesador integrado con interfaces para conectarse con varios periféricos. El procesador en realidad tiene dos núcleos de procesamiento cuyas frecuencias operativas pueden controlarse independientemente entre 80 megahercios (MHz) y 240 MHz. Los periféricos cuentan con conexión a variedad de interfaces externas como: interfaz periférica serial (SPI), comunicación μ 2C, transmisor receptor asíncrono universal (UART), I2S, Ethernet; tarjetas SD e interfaces táctiles y capacitivas.

Figura 8

Especificaciones técnicas del ESP32



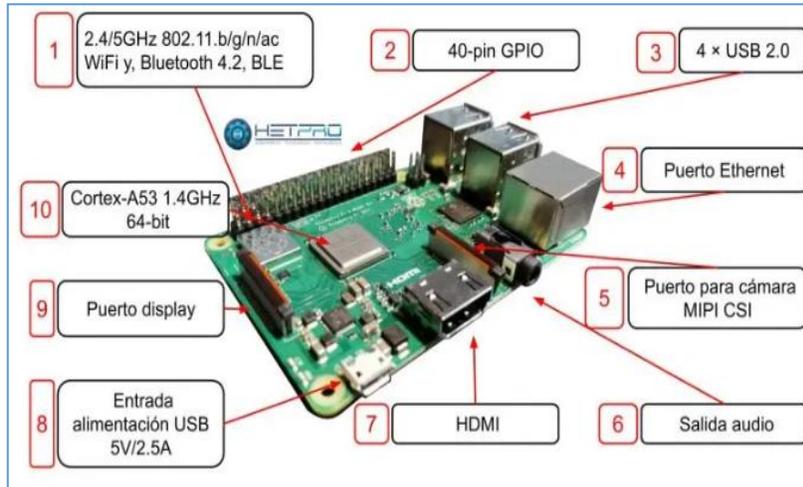
Fuente: Hepro, 2020.

Según MCI Electronics (2020) la Raspberry Pi es una computadora de bajo costo con un tamaño compacto, similar al de una tarjeta de crédito. Puede conectarse a un monitor de computadora o un televisor y utilizarse con un mouse y teclado estándar. Cuenta con un sistema operativo Linux, que es de software libre. Además, tiene la capacidad de interactuar con el mundo exterior, lo que

la hace adecuada para una amplia variedad de proyectos digitales, como estaciones meteorológicas y monitoreo de variables.

Figura 9

Especificaciones Técnicas Raspberry PI 3B



Los sensores son dispositivos diseñados para recibir y medir una magnitud física en un entorno específico donde también se requiere control. Los datos que detectan son emitidos mediante señales electrónicas en tiempo real y se muestran en un monitor serial. En la actualidad, los sensores son indispensables para nuestra sociedad.

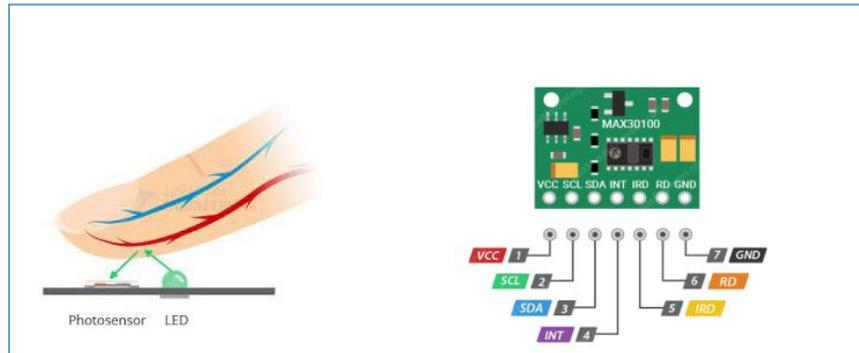
Este sensor cuenta con un circuito integrado de pulsioximetría, éste es capaz de captar la saturación de oxígeno (SpO2) y la frecuencia cardíaca (BPM). Estos sensores son incorporados en control de salud de pacientes, Dispone de un led rojo y otro que se ilumina durante cierto tiempo (ancho de pulso), este sensor se sabe usar en el dedo índice.

Este sensor se compone con tres eventos: en primera instancia cierta cantidad de luz es absorbida, la otra cantidad de luz es transmitida y la restante es reflejada, la luz reflejada es afectada por el volumen de sangre que circula por el dedo, para determinar la saturación de

oxígeno (SpO₂) como también la frecuencia cardiaca (BPM) aplica la ley de Lambert-Beer (Alvarado, 2019).

Figura 10

Sensor Max30100



Nota. En la imagen se puede visualizar el sensor Max30100 y el funcionamiento de los led y fotosensor. Imagen elaboración propia

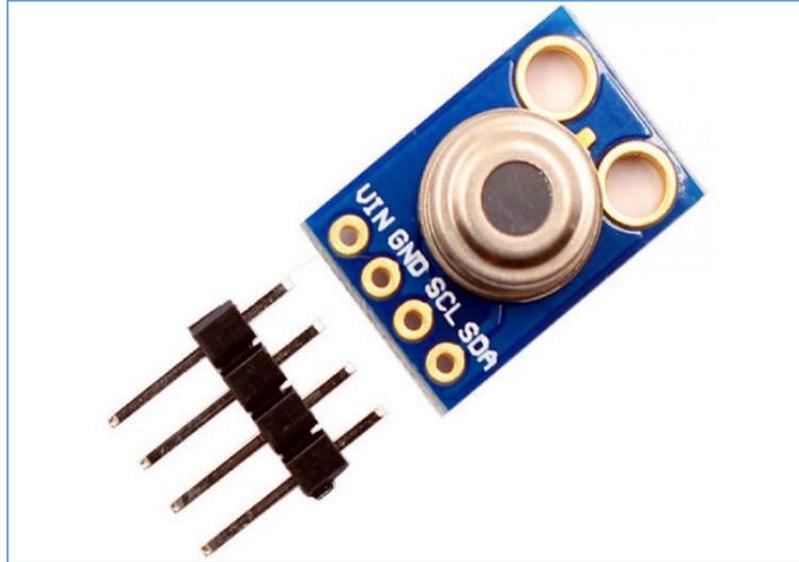
El sensor infrarrojo 90614 es un sensor de temperatura sin contacto, este lleva integrado tanto un sensor termopila como un acondicionamiento de señal, un amplificador de bajo ruido y un convertidor A/D de 17 Bits.

Este sensor está categorizado como un sensor de temperatura biomédica ya que está diseñado para este campo, por lo tanto, cuenta con una resolución de 0,02°C y precisión de 0,5°C. Su protocolo de comunicación es por I2C. (Moreno, (2021).

Las resistencias pull-up desempeñan un papel fundamental. I2C es un protocolo de comunicación bidireccional que utiliza dos líneas, SDA (línea de datos) y SCL (línea de reloj). Ambas líneas están conectadas a un voltaje positivo a través de una resistencia pull-up. Cuando ninguno de los dispositivos está transmitiendo datos, las líneas SDA y SCL están en un estado alto debido a las resistencias pull-up. (Prado y Castillo 2023)

Figura 11

Sensor MLX90614



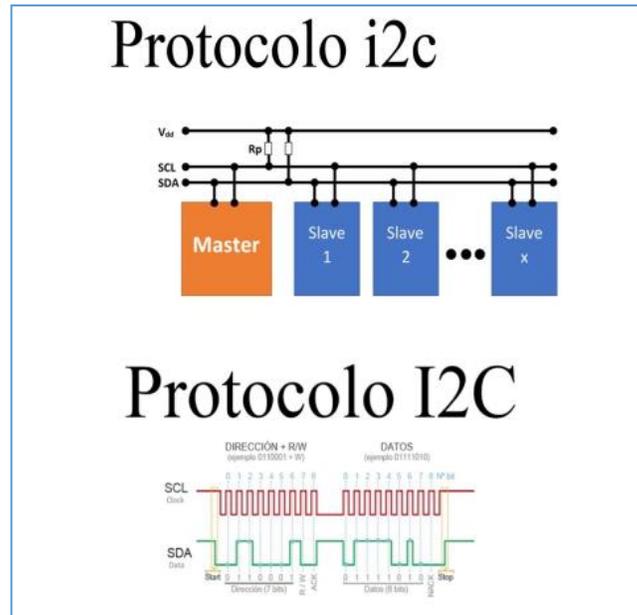
Fuente: ESPHome, 2020

Este protocolo combina lo mejor de los protocolos SPI y UART. Gracias a esta integración, un maestro puede controlar uno o más esclavos. Esto es de gran utilidad, ya que permite integrar diferentes sensores y microcontroladores para almacenar datos en una sola memoria o visualizarlos en una pantalla. El protocolo utiliza solo dos vías de comunicación, como se puede observar en la Figura [12], al igual que el protocolo UART, que son el SDA y el SCL.

Las resistencias pull-up desempeñan un papel fundamental. I2C es un protocolo de comunicación bidireccional que utiliza dos líneas, SDA (línea de datos) y SCL (línea de reloj). Ambas líneas están conectadas a un voltaje positivo a través de una resistencia pull-up. Cuando ninguno de los dispositivos está transmitiendo datos, las líneas SDA y SCL están en un estado alto debido a las resistencias pull-up. (Prado y Castillo 2023).

Figura 12

Protocolo I2C



1.4.1.5.3 Geo ubicación

La geo ubicación hace referencia a situar una persona, un objeto o una empresa que se encuentre sobre la superficie terrestre, o sea poder ubicarlo con el mayor grado de exactitud posible. Y se puede obtener mediante las siguientes herramientas: GPS: localiza al usuario mediante Triangulación satelital, cuando su dispositivo establece conexión con al menos 4 satélites de la red estos proporcionan información sobre su propia ubicación. IP: Servicios basados en direcciones IP desde la que navega el usuario. WIFI: La acumulación de conectividad inalámbrica en un establecimiento a cambio del famoso check-in de Facebook, sirve para comunicar al resto de amigos de este usuario la existencia de dicho establecimiento o evento, o para recabar datos sobre el propio usuario: las veces que lo visita, cuánto tiempo está, etc.

El módulo GPS NEO.6M es un receptor GPS que proporciona una sólida capacidad de búsqueda de satélites, este cuenta con una antena cerámica. Gracias a la batería de respaldo de datos, el módulo puede guardar los datos cuando la alimentación principal se apaga accidentalmente. Este cuenta con una comunicación serial UART (RX y TX). Este GPS nos mide parámetros como Latitud, longitud, velocidad, altitud, fecha y horas (Sunfounder, 2020).

Figura 13

Módulo GPS Ublox NEO-6M



Fuente: UnitElectronics, 2020.

1.4.1.5.4 Pantallas

Según Montenegro Arroyo (2020) las pantallas son periféricos de entrada y salida de datos, ya que cuentan con un monitor de visualización de datos.

Actualmente existen diferentes tipos de pantallas compatibles para cualquier placa electrónica o microcontrolador como son: LCD en líneas, LCD en puntos; Display OLED y Display LED

La pantalla OLED está compuesta por diodos que están formados por capas o láminas que se conocen como electroluminiscentes orgánicas, este material tiene la capacidad de reaccionar a una estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí misma. Esta pantalla es capaz de tener un bajo consumo energético, de igual forma tiene un tamaño muy reducido y delgado, esta trabaja con protocolo I2C y SPI. (Nicole, 2022).

Figura 14

Pantalla OLED



Fuente: UnitElectronics, 2020.

1.4.1.5.5 Transmisión de datos

Son las vías por las cuales se transporta los datos según la necesidad de utilizar o no soportes físicos para la transmisión de la señal, se clasifican en dos grupos:

- Medios de transmisión guiados o inalámbricos como, por ejemplo, el par trenzado, el cable coaxial y el cable de fibra óptica.
- Medios de transmisión no guiados o inalámbricos como, por ejemplo, Bluetooth y Wifi (Teodoro y Diaz, 2003).

1.4.1.5.6 Protocolos de comunicación

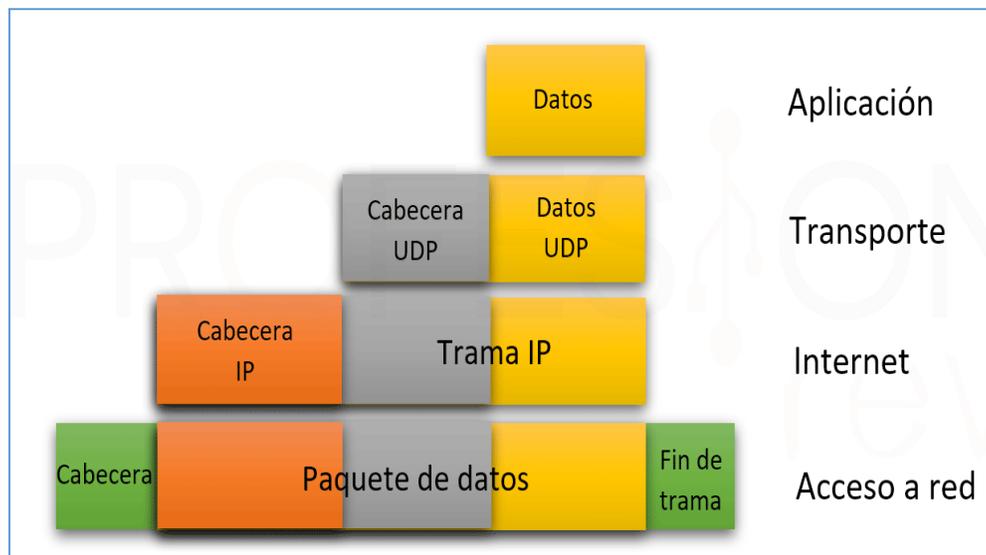
Según Moreno, (2021) un protocolo de comunicación es un conjunto de pautas o instrucciones que sirven para guiar las acciones durante el intercambio de información. Los principales protocolos para transmisión de datos en internet son TCP (Protocolo de control de transmisión) e

IP (Protocolo de internet). De esta manera conjunta (TCP/IP) podemos enlazar los dispositivos que acceden a la red, algunos otros protocolos de comunicación asociados a internet son POP, SMTP y HTTP.

- Protocolos de comunicación de red: protocolos de comunicación de paquetes básicos como TCP / IP y HTTP.
- Protocolos de seguridad de red: implementan la seguridad en las comunicaciones de red entre servidores, incluye HTTPS, SSL y SFTP.
- Protocolos de gestión de red: proporcionan mantenimiento y gobierno de red, incluyen SNMP e ICMP.

Figura 15

Protocolo



En Primera instancia, entra TCP en funcionamiento, el cual divide en fragmentos el documento añadiendo una cabecera a cada uno de ellos. Cada paquete se envía al IP y este añade la información del destinatario. El IP envía cada paquete por la red de forma individual y el receptor los coloca en orden para recomponer el mensaje original y por último antes de la entrega

se realiza el chequeo que es la suma de chequeo para así asegurar que los datos sean correctamente entregados y sin errores.

1.4.1.5.7 Servidor Web

Un servidor web es un software que forma parte del servidor que tiene como objetivo principal devolver información (páginas) cuando recibe peticiones por parte de los usuarios.

Para el funcionamiento correcto de un servidor web necesitamos un cliente web que realice una petición http o https a través de un navegador como Chrome, Firefox o safari y un servidor donde esté almacenada la información.

Tras la primera se realiza una consulta por parte del usuario hacia una Web, se establece conexión entre el servidor DNS y el ordenador que realiza la consulta o petición, este DNS responde con una dirección IP correcta del servidor web donde esté alojado el contenido solicitado. El paso a seguir sería solicitar el contenido al servidor web mediante un protocolo HTTP/HTTPS. Cuando el servidor web ya ha realizado la solicitud del contenido solicitado por el cliente web, debería procesar la solicitud hasta encontrar el contenido solicitado dentro del dominio correspondiente, enviando el contenido solicitado al cliente web. (Cari, 2021).

Es un protocolo el cual nos permite realizar peticiones de datos y recursos, como pueden ser documentos HTML. Es la base de cualquier intercambio de datos en la Web, y un protocolo de estructura cliente-servidor, esto quiere decir que una petición de datos es iniciado por elementos que recibirán los datos (cliente), normalmente un navegador Web. Así, una página Web completa resulta de la unión de distintos subdocumentos recibidos, tales como un documento que especifique el estilo de maquetación de la página Web. (Guijarro, 2012).

Apache es un servidor web de código abierto, multiplataforma y gratuito, este web server es una de las más utilizadas a nivel mundial.

La función esencial de Apache es servir a las webs alojadas en el servidor a los diversos navegadores como Chrome, Firefox, entre otros. Apache consigue comunicarse entre el servidor web y el cliente web (solicitante de información). Haciendo que cuando el usuario haga una petición HTTP a través del navegador para entrar en una web o URL específicas. Ramírez, (2019).

Según Echavarría, (2021), una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados, que se almacenan de forma electrónica en un sistema informático. La mayoría de bases de datos utilizan un lenguaje de consulta estructurada (SQL) para escribir y consultar datos.

Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto, un RDBMS es un tipo común de base de datos que administra las relaciones predefinidas entre datos, en las que se organizan como conjunto de tablas, columnas y filas. Chicaiza y Rodríguez, (2024).

Según Oracle MySQL es un sistema de gestión de datos relacionales de código abierto basado en SQL. Convirtiéndose en la plataforma preferida por los desarrolladores web y las aplicaciones basadas en web. Ya que está diseñado para procesar millones de consultas y miles de transacciones. Sánchez, (2020).

1.4.1.5.8 Software

Según GCF Global (2018), un software, son programas informáticos que hacen posible la ejecución de tareas específicas dentro de un computador. Por ejemplo, un sistema operativo, aplicaciones, monitoreos, juegos y programas.

El entorno de desarrollo integral de Arduino es una aplicación multiplataforma que está escrita en lenguaje java, se utiliza para escribir y cargar programas en placas compatibles como: Arduino, ESP32, entre otros. Sánchez, (2021).

Este software en la actualidad es muy usado por su fiabilidad y sencillez de usarlo gracias a las múltiples librerías con las que cuenta.

EAGLE es un software de automatización del diseño electrónico (EDA) que permite impreso (PCB) conectar sin problemas los diagramas esquemáticos, la colocación de componentes, el enrutamiento de las PCB y el contenido de una amplia Biblioteca. Este software no es gratuito ya que se debe pagar una licencia para poderse usar, pero también cuenta con una opción de poder adquirir una licencia estudiantil la cual tiene un tiempo aproximado de 4 años. Prieto, (2020).

Fusión es una plataforma de software CAD, CAM, CAE y de circuitos impresos de modelos 3D basada en la nube para el diseño y manufactura de productos. Este software no cuenta con una licencia gratuita, pero esta cuenta con una opción de generar una licencia estudiantil completamente gratuita por ende esta tiene un plazo para su vencimiento. Ariza Gil, (2020).

Una página web dinámica es un documento en línea que permite la interacción del usuario. El contenido varía con cada carga para ofrecer actualizaciones en tiempo real y también permite ajustarse a las necesidades del visitante. De igual forma, permite la interacción del usuario con el contenido. El funcionamiento depende de comandos, ya que estas están sujetas a la interacción con el visitante. Por lo tanto, es necesario optimizar el sitio en lenguajes como JavaScript o PHP para generar los cambios esperados en el sitio dependiendo de las acciones del usuario. Paralelamente, esta página debe mantener una estructura estable. Por ende, debe estar programada debidamente en CSS y en HTML para que el sistema sepa qué contenidos mostrar según las demandas del usuario. Casado, (2024).

Las páginas PHP contienen HTML con código incrustado. Lo que distingue a PHP del lado del JavaScript es que el código se ejecuta en el servidor, generando un HTML y enviándolo al cliente. De esta manera, el cliente recibirá el resultado de ejecutar el script. Fernando, (2020).

El CSS (hoja de estilo en cascada), básicamente es un lenguaje que maneja el diseño y presentación de la página web, esta funciona conjuntamente con el lenguaje HTML que se encarga del contenido básico del sitio. Angulo, (2022).

1.4.3 Marco ético

Este trabajo de grado se realizó bajo lo estipulado en la Ley 842 del 2003, donde se encuentra el reglamento de ejercicio de la ingeniería, de sus profesionales a fines y sus profesiones auxiliares, adaptado al código de ética profesional.

1.5 Metodología

1.5.1 Tipo de investigación

El trabajo de grado presentado está enmarcado dentro de la línea de investigación de diseño y desarrollo mecatrónico del grupo de investigación GRIM, perteneciente al programa de ingeniería mecatrónica de la Universidad Mariana. Dada la naturaleza cuantitativa de nuestra investigación y al abordar temas de adquisición, procesamiento y análisis de señales fisiológicas, el área que aborda la investigación es de bioingeniería.

Por lo tanto, hemos concluido que nuestra investigación se clasifica como Investigación Experimental e Investigación aplicada en el campo de la biomecánica, ya que son los tipos de investigación que mejor se adaptan a nuestro proyecto. En consecuencia, nuestro proyecto se centra en la adquisición de variables fisiológicas, su manipulación y observación, con el fin de llegar a conclusiones pertinentes.

1.5.2 Línea y áreas temáticas del grupo de investigación

En la ingeniería mecatrónica, existe una línea de investigación en el diseño y desarrollo mecatrónico. Como se mencionó anteriormente, este proyecto se enfoca en la adquisición, procesamiento y análisis de las variables vitales. Por ende, está relacionado con la bioingeniería, ya que aborda temas médicos y biomédicos.

1.5.3 Hipótesis de la investigación

El prototipo tendrá una efectividad del 80%, lo que corresponde a un correcto funcionamiento del mismo, logrando medir variables como la temperatura corporal, la oxigenación en la sangre y la frecuencia cardíaca. Estos datos se almacenarán en un sistema de información que permitirá el monitoreo de la persona, al cual se le adiciona la ubicación. Esto complementa una potencial acción de soporte o asistencia por parte de la familia o un centro médico en caso de detección de anomalías en las variables vitales mencionadas previamente.

1.5.4 Diseño de ingeniería y desarrollo técnico

En primera instancia, se ve la necesidad de describir la metodología que fue llevada a cabo para la elaboración de un diseño de un Prototipo de sistema no invasivo de geo-monitoreo de variables vitales. El objetivo es la adquisición de señales fisiológicas y geospaciales. Posteriormente, estas señales deberán transmitirse a un servidor web que las almacenará y se podrá visualizar en una página web las variables como la Saturación de oxígeno (SPO2), frecuencia cardíaca (BPM), temperatura corporal y, por último, la geolocalización. Esto permitirá monitorear y analizar estos parámetros, así como contar con alertas cuando estos parámetros se salgan de las condiciones normales. Por último, se deberá hacer una validación integrando el software con el hardware para verificar su correcto funcionamiento.

En primer lugar, se debe llevar a cabo una recolección de información con ayuda de la revisión de artículos, libros, investigaciones y trabajos de grado desarrollados en los últimos años sobre temas de fisiología humana, monitoreo de variables vitales, geospaciales (GPS), parámetros normales de signos vitales, adquisición de señales, bases de datos, herramientas IoT, microcontroladores y todos los subtemas que este trabajo de grado aborda.

Una vez recopilada toda la información, se analiza y se determina cuáles son las variables a medir: Saturación de oxígeno (SPO2), ritmo cardíaco (BPM) y temperatura corporal, así como también sus anomalías o mediciones fuera de rango para la generación de las alarmas remotas. Se realiza la elección de sensores y protocolos de comunicación con microcontroladores, además de

seleccionar los softwares para la construcción y diseño del prototipo no invasivo. Además, se determinan las bases de datos a utilizar y dónde visualizar y monitorear estos parámetros fisiológicos.

En la primera etapa se llevará a cabo la adquisición de las variables vitales, así como también la elección de sensores y módulo GPS para poder obtener los datos y visualizarlos en la pantalla OLED y en el monitor serial. En este caso, se optó por protocolos de comunicación I2C, ya que este permite conectar diferentes sensores y pantallas OLED.

Una vez adquiridos los datos vitales y geospaciales y lograda su visualización, procederemos a diseñar la PCB. Esta debe ser compacta y de doble capa para reducir su tamaño. Para esto, se optó por usar el software EAGLE, el cual cuenta con diversas librerías que facilitarán la búsqueda de los componentes. Además, este software es compatible con el software de diseño que se menciona a continuación.

Después de realizada la adquisición de señales y el diseño de la PCB, se da paso al diseño del prototipo. Este debe tener un tamaño reducido, ya que tiene que ser portátil y cómodo de transportar. Cabe resaltar que se optó por un diseño tipo reloj, el cual debe tener en cuenta la posición de los sensores para una correcta lectura de los mismos. También se debe considerar el material para evitar generar ruidos o bloqueos de señales.

En la segunda etapa se lleva a cabo la transmisión de datos con la ayuda de las herramientas IoT, entre el prototipo de adquisición de datos y el servidor web Apache, junto con la página web y la base de datos. Para esto, se optó por realizar la transmisión a través de Wifi, utilizando el protocolo LAN, que es una red local que permite conectar el Raspberry Pi 3B+ con el ESP32.

Asimismo, se crea una página web sencilla con PHP y CSS para el análisis de los datos vitales, con la generación de alarmas remotas. Por otro lado, la base de datos se implementa utilizando MariaDB para poder almacenar y visualizar los datos cuando sea necesario. Esto brindará apoyo tanto al paciente como a las entidades médicas o familiares.

La última etapa de este proyecto de grado es validar los datos adquiridos por el prototipo, así como verificar que se estén transmitiendo correctamente tanto a la página web como a la base de datos. Por ende, se llevan a cabo pruebas de validación con diferentes personas y en diferentes ubicaciones para asegurarse de que todos los parámetros y datos sean congruentes tanto en el dispositivo como en la página web.

1.5.4.1 Diseño Conceptual y detallado

1.5.4.1.1 Señales fisiológicas

Son aquellos parámetros que pueden ser medidos y que permiten regular el buen funcionamiento de un ser humano, tales como la frecuencia cardíaca (BPM), saturación de Oxígeno en la sangre, temperatura corporal, entre otras. (Nicole, 2022)

1.5.4.1.2 Ritmo Cardíaco

El ritmo cardíaco, más conocido como frecuencia cardíaca, es una medida que se refiere al número de contracciones por minutos. El ritmo cardíaco se expresa generalmente como batidos por minutos (BPM).

1.5.4.1.3 Saturación de oxígeno

La saturación de oxígeno se refiere a la cantidad de oxígeno que transportan los glóbulos rojos, los cuales reciben oxígeno en los pulmones y luego lo transportan al resto del cuerpo. (Esquibel, 2023).

1.5.4.1.4 Temperatura Corporal

Es una medida de la capacidad del organismo de generar y eliminar calor, el cuerpo es muy eficiente para mantener su temperatura dentro de los límites seguros. (Quintana, et al., 2017).

1.5.4.1.5 Valores normales y anormales de los signos vitales

Figura 16

Valores normales y anormales de los signos vitales



Fuente: Quaora, (2022).

1.5.4.1.6 Monitoreo Remoto

El monitoreo permite la recopilación de datos de los pacientes en sus hogares u otros entornos no clínicos, que se analizan y utilizan para proporcionar retroalimentación tanto al paciente como a los médicos o profesionales de la salud.

1.5.4.1.7 IoT (internet de las cosas)

La IoT hace referencia a todos los sistemas de dispositivos físicos que reciben y transfieren datos a través de redes inalámbricas sin la intervención humana. (Echeverría, et al., 2023).

1.5.4.1.8 Protocolo de comunicación HTTP

Es un protocolo que nos permite realizar peticiones de datos y recursos, como documentos HTML. Es la base de cualquier intercambio de datos en la Web y sigue una estructura cliente-servidor. (Guijarro, 2012).

1.5.4.1.9 Servidor HTTP Apache

La función principal de Apache es servir las páginas web alojadas en el servidor a través de diversos navegadores como Chrome, Firefox, entre otros. Apache facilita la comunicación entre el servidor web y el cliente web (solicitante de información). Cuando un usuario hace una petición HTTP a través del navegador para acceder a una página web o URL específica. (Montesino, 2022).

1.5.4.1.10 Base de datos MySQL

Según Párraga, (2023), la base de datos MySQL es un sistema de gestión de datos relacionales de código abierto.

1.5.4.1.11 Base de datos MariaDB

Es un sistema de gestión de datos ligado a MySQL el cual administra estos datos en un conjunto de tablas, columnas y filas.

1.5.4.1.12 Arduino IDE

Se utiliza para escribir y cargar programas en placas compatibles como: Arduino, ESP32, entre otros.

1.5.4.1.13 Software EAGLE

EAGLE es un software de automatización del diseño electrónico (EDA) que permite la creación de circuitos impresos (PCB), la conexión sin problemas de diagramas esquemáticos, la colocación de componentes, el enrutamiento de las PCB y el acceso a una amplia biblioteca. (Prieto, 2020).

1.5.4.1.14 Software Autodesk Fusión

Según Autodesk, es una plataforma de software CAD, CAM, CAE y de circuitos impresos de modelos 3D basada en la nube para el diseño y la manufactura de productos.

1.5.4.1.15 Páginas dinámicas

Una página web dinámica es un documento en línea que permite la interacción del usuario, cuyo contenido varía con cada carga para ofrecer actualizaciones en tiempo real y también permite ajustarse a las necesidades del visitante. (Casado, 2024).

1.5.4.2 Selección de componentes y materiales

1.5.4.2.1 Hardware

El MAX3010 Es un módulo integrado usado para medir el pulso cardíaco y la saturación de oxígeno en la sangre. Consta de dos LED, un fotodiodo y filtros internos para la eliminación de la luz ambiental. Gracias a su electrónica, convierte la señal analógica de entrada en una señal digital, y su comunicación es por I2. (Sathiyarayanan, et al., 2023)

También con el MLX90614 Es un termómetro infrarrojo que se basa en la Ley de Stefan-Boltzmann. Al detectar la radiación emitida por el cuerpo, puede medir su temperatura infrarroja sin necesidad de contacto físico. Su comunicación es por I2C. (Hernández, 2022)

El módulo Neo 6M obtiene datos de posicionamiento mediante el protocolo NMEA (National Marine Electronics Association). Debido a su facilidad de uso y programación en software como Arduino, es una buena opción para el prototipo. (Sanz Canet, 2024).

Para el procesamiento de los diferentes datos como las variables vitales y geo posicionales el ESP32 juega un papel crucial, logrando que, mediante comunicación I2C, se pueda obtener datos de los sensores de pulsioximetría y temperatura corporal, la obtención de los datos de posicionamiento y el correcto enlazamiento con el servidor web. Caiza Villacis, (2024).

El Raspberry Pi 3B+ al ser una minicomputadora, es capaz de soportar el ser un servidor, donde, logra conectarse por medio del protocolo LAN con el ESP32, logrando almacenar en una base de datos, los datos obtenidos por los sensores de Pulsioxímetro, temperatura corporal y posicionamiento. (Manríquez, et al., 2023).

Apache será el servidor Web, ya que cuenta con el manejo de HTTP, además cuenta con código abierto y será el encargado.

El PHP será el archivo que permite la comunicación de páginas web dinámicas, este también tiene la función de tomar los datos que recibe el servidor web con el fin de poder almacenarlos en la base de datos.

MySQL, en colaboración con MariaDB, servirá como motor de la base de datos para almacenar y visualizar los datos obtenidos por el prototipo.

1.5.5 Proceso de Implementación

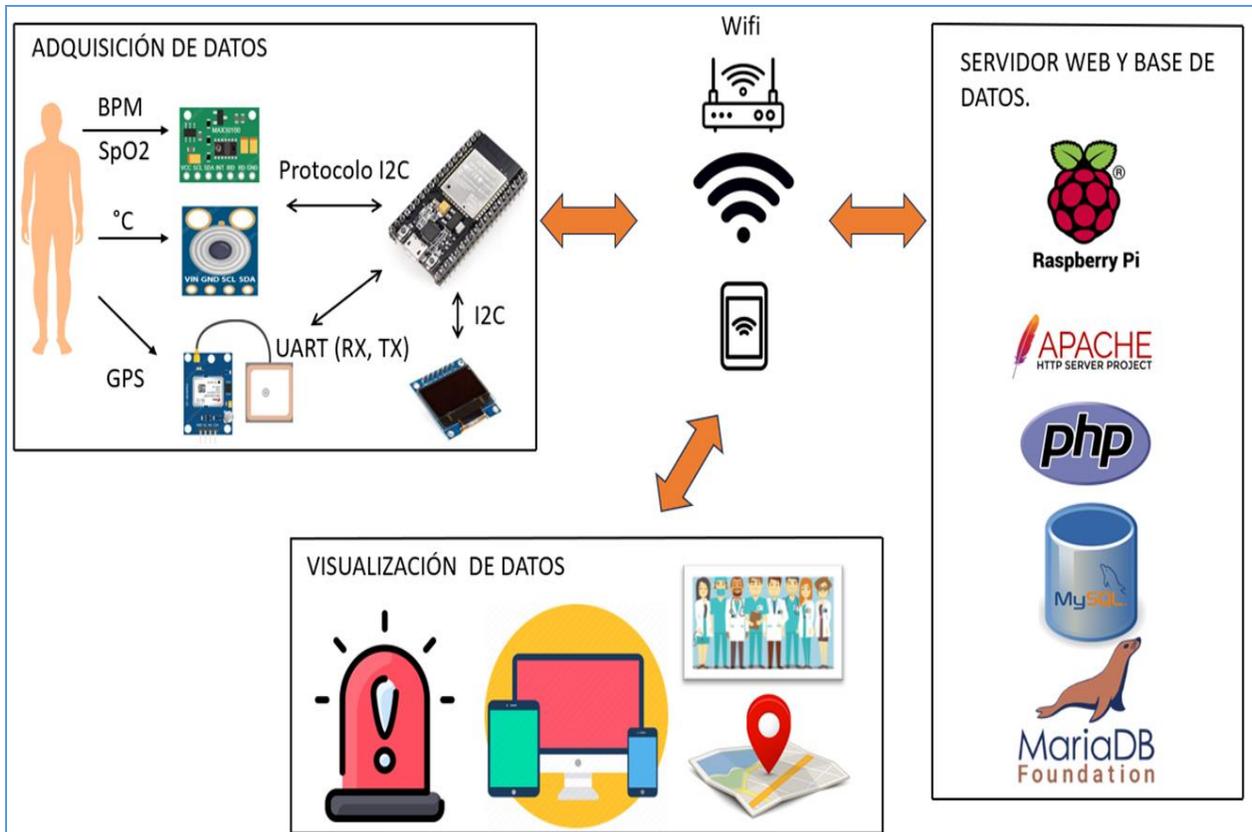
El proceso de implementación del prototipo consta de tres etapas principales. En primer lugar, está la adquisición y procesamiento de datos con el microcontrolador ESP32, el cual estará conectado a una red Wifi local. Esta red será creada por cualquier dispositivo inalámbrico. Posteriormente, pasamos a la etapa del servidor y la base de datos, donde el Raspberry Pi será el encargado del servidor, recibiendo los datos biomédicos y de geoposicionamiento del ESP32. Es

importante destacar que tanto el ESP32 como el Raspberry Pi deben estar conectados a la misma red Wifi. El Raspberry Pi, en conjunto con Apache, actúa como servidor web utilizando el protocolo HTTP. Después, se utiliza PHP, que permite la comunicación de páginas web dinámicas. PHP recibe los datos del Raspberry Pi a distancia y los guarda en la base de datos. El motor de la base de datos es MySQL, que por defecto utiliza MariaDB. Se crea una base de datos llamada GEOMONITOREO, que tendrá una tabla para almacenar todos los datos en sus respectivos campos.

Finalmente, para visualizar los datos, se crea un archivo index.php utilizando diferentes lenguajes de programación. Este archivo extrae los datos biomédicos de la base de datos para visualizarlos y graficarlos. El usuario también puede ver el geo posicionamiento tanto en forma numérica como en un mapa, lo que le brinda interactividad con la página web.

Figura 17

Proceso de implementación



1.5.5.1 Construcción del prototipo

1.5.5.1.1 Adquisición de datos

En este apartado, se lleva a cabo el diseño del circuito para la adquisición de datos biomédicos utilizando diferentes sensores, como el MAX30100 y el MLX90614, los cuales utilizan el protocolo de comunicación I2C, al igual que el Display OLED. Para garantizar el correcto funcionamiento del bus I2C, se debe conectar una resistencia de 4.7 K Ω entre SCL y VCC, y entre SDA y VCC. También es importante considerar las diferentes librerías necesarias para estos sensores en el IDE de Arduino, así como para el dato de geoposicionamiento. El prototipo también incluye una pantalla OLED para la visualización local. En el código del ESP32, no solo se debe incluir la programación para la adquisición de datos, sino también la conexión a una red local Wifi.

Una vez que los datos se visualizan en el monitor serial de Arduino y en la pantalla OLED, se procede al diseño del circuito en EAGLE para iniciar el diseño del prototipo. Se debe considerar la ubicación de los sensores, como el MLX90614, situado en la parte inferior de la PCB (Bottom), para medir la temperatura corporal desde la muñeca o el antebrazo derecho del usuario. Por otro lado, el MAX30100 debe ubicarse en el dedo índice del usuario para su correcta lectura de datos.

Después de diseñar la PCB en EAGLE, se exporta al software Autodesk Fusión para realizar el diseño tipo reloj con las medidas exactas de la PCB y los requisitos necesarios para su visualización local y la lectura de datos correcta. El prototipo se divide en dos partes: el prototipo tipo reloj, que contiene la mayor parte del circuito y los componentes, y un encapsulado para el MAX30100, que se coloca en el dedo índice del usuario para minimizar el ruido de luz exterior.

Finalmente, se integran todas estas etapas para lograr la adquisición y visualización local de datos biomédicos y geoposicionales.

1.5.5.1.2 Servidor Web y base de datos

Inicialmente para el servidor Web se debe tener instalado diferente software los cuales son:

- Apache
- PHP
- MySQL
- MariaDB

Para crear la base de datos, se utilizó MySQL como motor de la base de datos y MariaDB como la base de datos. Para llevar a cabo la creación de la base de datos, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se crea una base de datos con el nombre GEOMONITOREO. En esta, se creó una tabla con los nombres de las variables, cuyos campos son: id, temperatura, oxígeno, BPM, latitud, longitud, fecha y hora.
2. Para ingresar los datos de forma automática, se utilizó un archivo que, en primer lugar, se loguea al MySQL y se conecta a la base de datos. Este toma de forma inalámbrica los valores de las variables mencionadas e incluyéndose en la tabla creada anteriormente. Por cuestiones de sincronización, no se incluyó ningún retraso en el código embebido en el ESP32.
3. Para la visualización de la información almacenada, se crea un archivo index.php, el cual toma los datos, los extrae y los grafica en una página web sencilla. Con el uso de diferentes lenguajes de programación como HTML, PHP, CSS.

En la parte izquierda se ubicaron las variables biomédicas, en el centro de la página web se situaron las gráficas para el análisis de las variables como temperatura corporal, oxigenación en la sangre y ritmo cardíaco, y finalmente, en la parte derecha se posicionó el mapa de las coordenadas almacenadas de geoubicación, como se visualiza en la Figura 27.

Para la generación de alarmas remotas, se tomaron en cuenta los rangos establecidos como normales para los signos vitales. Se escogieron dos variables vitales: temperatura corporal y oxigenación en sangre. La tercera variable, el ritmo cardíaco, no se tomó en cuenta debido a que este parámetro tiende a oscilar mucho, lo que podría generar falsas alarmas.

Para llevar a cabo la integración del software y hardware del prototipo, se tuvo en cuenta el plan de pruebas y validación.

1.5.6 Plan de pruebas y validación

1.5.6.1 Validación interna

Para la validación interna, se puso a prueba el dispositivo entre los investigadores para comprobar su correcto funcionamiento. Esto consistió en utilizar dispositivos biomédicos ya existentes, como el pulsioxímetro y el termómetro corporal digital. Para el geoposicionamiento, se comparó con el GPS del celular. De esta manera, se validaron los datos obtenidos del prototipo.

1.5.6.2 Validación externa

Esta validación consistió en probar el prototipo de geo monitoreo en un entorno más real, situando el dispositivo en 3 usuarios externos de entre 50 y 70 años de edad, con el acompañamiento de un profesional de la salud. Este profesional corroboró que los datos obtenidos por el prototipo no presentaban un desfase significativo, ya que fueron comparados con sus equipos médicos. Para llevar a cabo esta actividad, fue necesario presentar un consentimiento informado, el cual fue firmado y autorizado por los 3 usuarios que participaron en esta prueba de validación (ver Anexo D).

1.5.6.3 Métricas de validación

Para evaluar el desempeño, se realizó un cuadro comparativo entre las lecturas del prototipo y los equipos biomédicos existentes, con el fin de evaluar su precisión. Para ello, se utilizó la ecuación de error absoluto (1) y el error relativo (2), como se muestra a continuación:

$$\text{Error relativo} = V_{\text{Aproximado}} - V_{\text{real}} \quad (1)$$

$$\text{Error relativo} = \frac{V_{\text{Aproximado}} - V_{\text{real}}}{V_{\text{real}}} * 100 \quad (2)$$

1.5.6.4 Pruebas de funcionamiento La prueba de funcionamiento se llevó a cabo en los establecimientos de la Universidad Mariana, con el acompañamiento del asesor del proyecto. Consistió en ubicar el prototipo en el antebrazo derecho para validar la transmisión de datos desde el ESP32 al servidor web utilizando una red local wifi. En la página web, se logró visualizar los datos enviados, así como la ubicación precisa.

1.5.6.5 Verificación y validación de resultados

1.5.6.5.1 Verificación y Validación interna: Se realizaron diferentes tomas de lecturas tanto del prototipo de geo monitoreo como de dispositivos biomédicos. Se llevó a cabo una comparación y se calcularon el error absoluto, el error relativo y el error relativo porcentual.

En los resultados que se pueden visualizar en la Tabla 4 están las lecturas de la temperatura corporal. De este modo, se aplica la ecuación (3) para poder medir el error relativo absoluto porcentual, correspondiente al $\pm 0.44\%$, respectivamente.

Tabla 4

Resultados Temperatura corporal

Investigador	Temp/proto °C	Temp/instru °C	Error absoluto	Error relativo
1	36.2	36.0	0.5	0.2
2	36.7	36.5	0.5	0.2
3	36.1	36.0	0.2	0.1
4	36.4	36.3	0.2	0.1
5	36.2	36	0.5	0.2
Promedio	36.32	36.16	0.38	0.16

Tabla 5

Resultados oxigenación en la sangre

Investigador	SpO2/proto %	SpO2/ instru %	Error absoluto	Error relativo
1	96	96	0	0
2	96	95	1	1
3	96	96	0	0
4	96	96	0	0
5	95	94	1	1
Promedio	95.8	95.4	0.4	0.4

En los resultados que se pueden visualizar en la Tabla 5 están las lecturas de la oxigenación en sangre. De este modo, se aplica la ecuación (3) para poder medir el error relativo absoluto porcentual, correspondiente al $\pm 0.4\%$, respectivamente.

Tabla 6

Resultados ritmo cardiaco

Investigador	BPM /proto	BPM /Instru	Error absoluto	Error relativo
1	69	69	0	0
2	81	79	2.5	2
3	67	66	1.5	1
4	71	73	-2.7	-2
5	80	83	-3.6	-3
Promedio	73.6	74	-0.46	-0.4

En los resultados que se pueden visualizar en la Tabla 6 se encuentran las lecturas del ritmo cardiaco. De este modo, se aplica la ecuación (3) para poder medir el error relativo absoluto, correspondiente al $\pm 0.5\%$, respectivamente.

1.5.6.5.2 Verificación y validación externa

Se realizaron diferente toma de lectura con 3 tipos de personas, y contamos con el acompañamiento de una profesional de la salud, quien también realizó las mediciones manualmente con sus instrumentos de medición. Es importante destacar que estas verificaciones se llevaron a cabo en el Barrio Miraflores bajo la supervisión de la profesional médica Ana Cristina. Todo el proceso se puede visualizar en el Anexo D.

En los resultados que se pueden visualizar en la Tabla 7 se encuentran las lecturas de la temperatura corporal de las 3 personas. De este modo, se aplica la ecuación (3) para poder medir el error relativo absoluto, correspondiente al $\pm 1.0\%$, respectivamente.

Tabla 7

Resultados de validación externa temperatura corporal

Usuario	Temp/prototipo	Temp/Medico	Error absoluto	Error relativo
Rosalba M.	35.9	36.8	-2.4	-0.9
Mónica M.	37.6	36.3	3.5	1.3
Gabriela M.	37.0	36.1	2.4	0.9
Promedio	36.8	36.4	1.1	0.4

Tabla 8

Resultados saturación de oxígeno

Usuario	SpO2/proto %	SpO2/Medico %	Error absoluto	Error relativo
Rosalba M.	98	94	4.2	4
Mónica M.	97	95	2.1	2
Gabriela M.	96	94	2.1	-2
Promedio	97	94.3	2.8	1.3

En los resultados que se pueden visualizar en la Tabla 8 se encuentran las lecturas de la saturación de oxígeno (SpO2) de las 3 personas. De este modo, se aplica la ecuación (3) para poder medir el error relativo absoluto, correspondiente al $\pm 2.8\%$, respectivamente.

Tabla 9

Resultados de ritmo cardiaco

Usuario	BPM/ Proto	BPM /Médico	Error absoluto	Error relativo
Rosalba M.	72.7	73	-0.4	-0.3
Mónica M.	75.7	75	0.9	0.7
Gabriela M.	65	63.6	2.2	1.4
Promedio	71.1	70.5	0.9	0.6

En los resultados que se pueden visualizar en la Tabla 9 se encuentran las lecturas del ritmo cardiaco (BPM) de las 3 personas. De este modo, se aplica la ecuación (3) para poder medir el error relativo absoluto, correspondiente al $\pm 0.85\%$, respectivamente.

2 Presentación de resultados

2.1 Resultados de acuerdo a los objetivos

2.1.1 Resultado del objetivo 1

Para este objetivo, se realizó una búsqueda de información basada en la adquisición de datos biomédicos, sensores, comunicaciones, geo posicionamiento, bases de datos, entre otros. Esta información ayudó en la construcción del prototipo para la adquisición de datos biomédicos y geo posicionales.

2.1.1.1 **Dispositivos o elementos a usar.** En este apartado se darán a conocer todas las especificaciones del proyecto, tanto de software como de hardware: voltajes, corrientes, protocolos de comunicación y requerimientos específicos para el correcto funcionamiento de todos los componentes del trabajo de grado.

2.1.1.1.1 Hardware

Tabla 10

Especificaciones y características del sensor MAX30100

Voltaje de Operación (VIN)	3.3V - 5V DC
Regulador de voltaje	3.3V y 1.8V incorporados
Led rojo(E)	660nm
Led infrarrojo(D)	920nm

Comunicación	I2C
Temperatura de trabajo	-40°C a +85°C

Para el sensor Max 30100, es importante tener en cuenta que uno de los requisitos para su correcto funcionamiento es posicionar el dedo correctamente en el sensor. Además, es necesario considerar la iluminación del entorno, ya que esto puede causar lecturas incorrectas al filtrarse luz externa al LED del sensor.

Tabla 11

Especificaciones y características del sensor MLX90614

Voltaje de Operación (VIN)	3.3V - 5V DC
Rango de temperatura ambiente de trabajo	-40°C – hasta +170
Rango de temperatura de objeto	-70°C hasta +380°C
Precisión	±0.5°C
Comunicación	I2C
	90° (FOV)

Angulo de visión	Min. 2cm y Max. 3cm
Distancia para temperatura de objeto	No
Componentes adicionales	

Nota. Especificaciones del sensor MLX90614 para su correcto funcionamiento.

Tabla 12

Especificaciones y características del módulo NEO6M

Voltaje de Operación (VIN)	3.3V - 5V DC
Consumo de corriente	~ 100 mA
Recepción	50 canales
Tiempo de enganche promedio	1s ~ 27s
Comunicación	NMEA, UBX binario
Velocidad de comunicación	9600 baudios

Para el módulo NEO6M, es importante asegurarse de que la antena esté conectada correctamente. Además, este módulo debe evitarse en infraestructuras metálicas, ya que a veces pueden interferir con la conexión de los satélites. También se recomienda darle entre 5 y 10 minutos para establecer la conexión satelital.

Tabla 13

Especificaciones ESP32

Voltaje de Operación (Micro USB)	5V DC
Corriente	20 mA hasta 80mA
Conectividad	Wifi, Bluetoooh
RAM	512KB
Flash	16MB
Frecuencia de la CPU	160MHZ

Tabla 14

Especificaciones Raspberry PI 3B+

Voltaje de Operación (VIN)	5V DC
Corriente	2A
Conectividad	Wifi, Bluetooth
RAM	512KB
Flash	16MB
Frecuencia de la CPU	160MHZ

2.1.1.1.2 Software

En este apartado se explicará todos los requerimientos y software que se necesitan para poder garantizar el correcto funcionamiento del servidor, base de datos y visualización.

Para el correcto funcionamiento del servidor web se debe instalar previamente apache. Para el correcto funcionamiento del servidor web se debe instalar previamente Programa PHP, de igual forma también se requiere CSS y HTML.

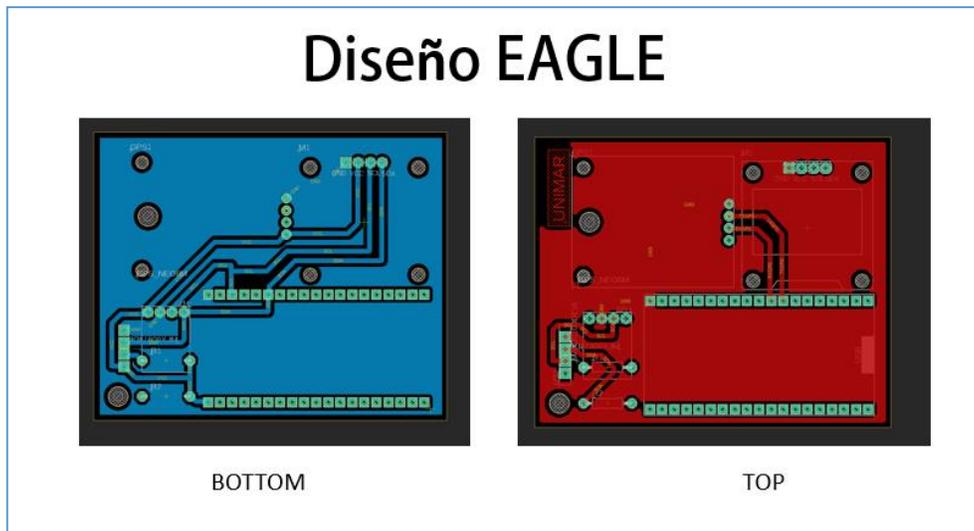
Para el correcto funcionamiento de la base de datos se debe instalar el software MySQL ya que es el motor de la base de datos, también se debe instalar MariaDB. En este caso se debe garantizar una red local Wifi (LAN), para así garantizar la conexión de los diferentes dispositivos.

2.1.1.2 Diseño y construcción del prototipo

En primer lugar, se diseñó el circuito electrónico con la ayuda del software EAGLE, como se visualiza en la Figura 18 y 19.

Figura 18

PCB para el prototipo de adquisición de señales biomédicas



Luego se realizó el diseño en el software Fusión para la construcción del prototipo, como se puede observar en la figura 18 y figura 19. Este prototipo también cuenta con un encapsulado para el Max30100, el cual sirve para disminuir la perturbación lumínica exterior y mejorar la lectura, como se muestra en la Figura 19, 20 y 21.

Figura 19

Diseño prototipo tipo reloj



Figura 20

Diseño prototipo de geo monitoreo tipo reloj



Figura 21

Diseño encapsulado MAX30100

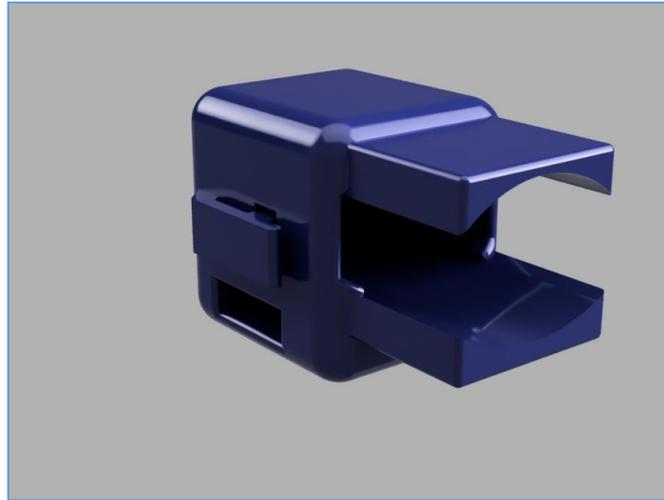


Figura 22

Circuito PCB del prototipo

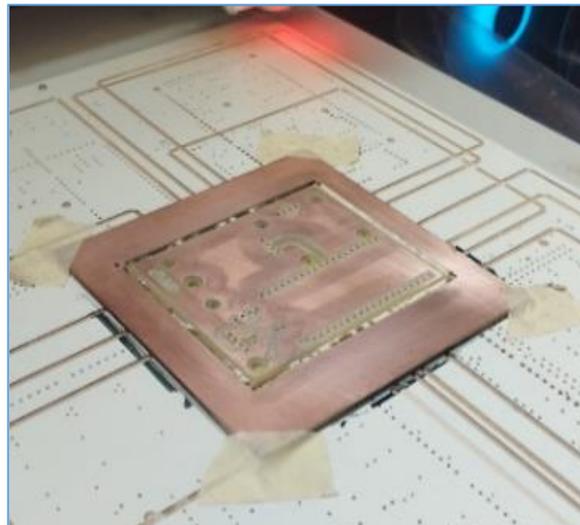


Figura 23

Diseño del prototipo tipo reloj impreso en 3D



Figura 24

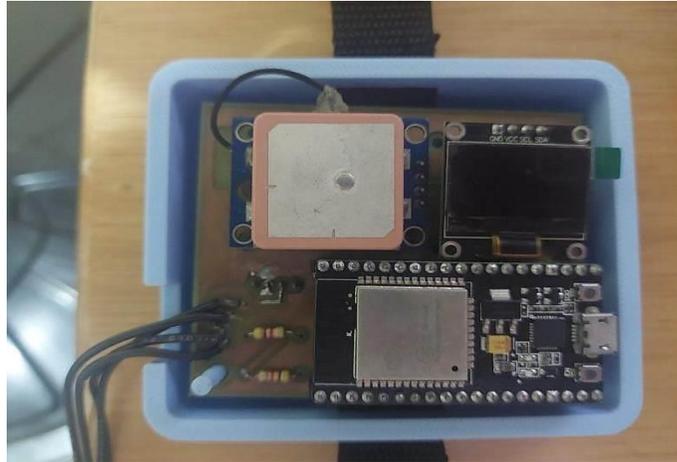
Diseño del encapsulado MAX30100 impreso en 3D



Una vez impresos tanto la PCB como los diseños en 3D, se procedió al montaje y soldadura de todos los componentes que lleva el prototipo, como se puede apreciar en la figura 25.

Figura 25

Montaje del prototipo de Geo monitoreo



Una vez realizado el montaje final, se adquirieron unas correas para asegurar el prototipo de geo monitoreo al antebrazo del usuario, como se muestra en la figura 26.

Figura 26

Montaje prototipo Geo monitoreo completo



Una vez finalizada la construcción del prototipo, se logró la adquisición de datos biomédicos y geo posicionales, cumpliendo así con el objetivo, como se visualiza en la figura 27.

Figura 27

Adquisición de datos



2.1.2 Resultado del objetivo 2

Para este objetivo, se estableció un servidor web y una base de datos que almacenan las señales biomédicas del prototipo de monitoreo geográfico. Este sistema se comunica a través de una red WiFi local para transmitir los datos hacia la página web. Además, la página web incluye una función de generación de alarmas remotas cuando las variables presentan alteraciones en cualquiera de los rangos, como se observa en la figura 30 y 31.

2.1.2.1 Creación y visualización de datos biomédicos en la base datos

Para la creación de la base de datos, se empleó MariaDB con la asistencia de MySQL, lo que permitió generar una base de datos específica denominada Geo monitoreo.

Figura 28

Base de datos

```
MariaDB [GEOMONITOREO]> show databases;
+-----+
| Database |
+-----+
| GEOMONITOREO |
| information_schema |
| mysql |
| performance_schema |
+-----+
4 rows in set (0,041 sec)
```

Posteriormente, se procede a la creación de una tabla con diversas variables. Entre ellas se encuentran el ID, encargado de identificar el dato obtenido; temperatura, que almacena la información generada por el prototipo; oxigenación de la sangre y ritmo cardíaco denominadas oxígeno y BPN, destinados a registrar los datos del usuario. Respecto a las variables del GPS, se establecieron dos: altitud y longitud, para almacenar las coordenadas geográficas de la ubicación. Finalmente, se añadió una variable llamada fecha para registrar el día y la hora en que se obtuvieron las diferentes variables del prototipo.

Figura 29

Creación de tabla de base de datos

```
MariaDB [GEOMONITOREO]> describe VARIABLES;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field | Type | Null | Key | Default | Extra |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | int(10) unsigned | NO | PRI | NULL | auto_increment |
| temperatura | varchar(10) | YES | | NULL | |
| oxigeno | varchar(10) | YES | | NULL | |
| bpm | varchar(10) | YES | | NULL | |
| latitud | varchar(10) | YES | | NULL | |
| longitud | varchar(10) | YES | | NULL | |
| fecha | timestamp | NO | | current_timestamp() | on update current_timestamp() |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
7 rows in set (0,481 sec)
```

Por último, los datos obtenidos por el prototipo pueden visualizarse gracias a la creación de la base de datos y la tabla, tal como se puede apreciar en la figura 30

Figura 30

Visualización de datos biomédicos en la base de datos

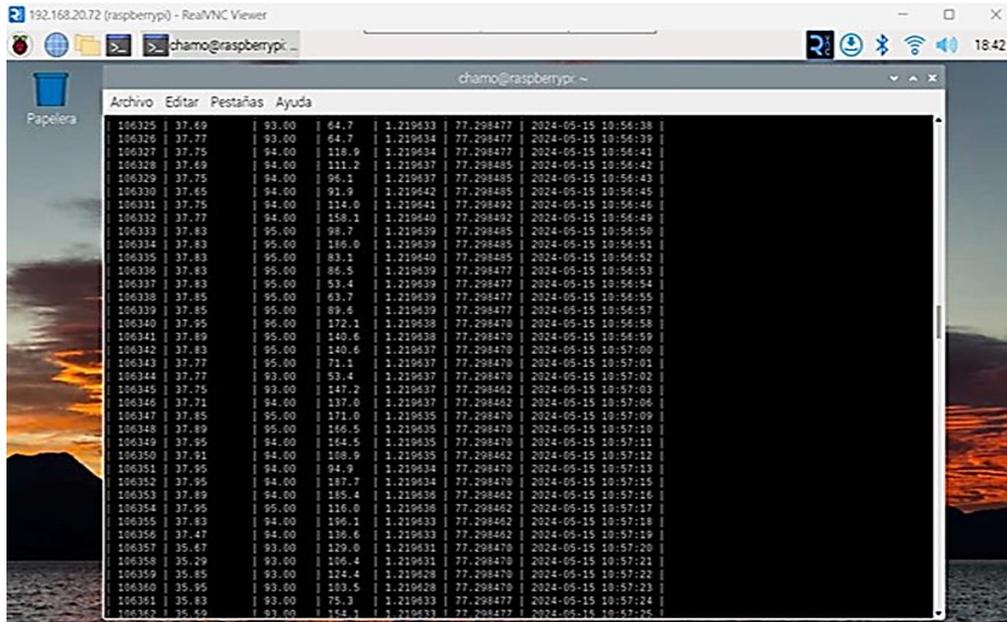
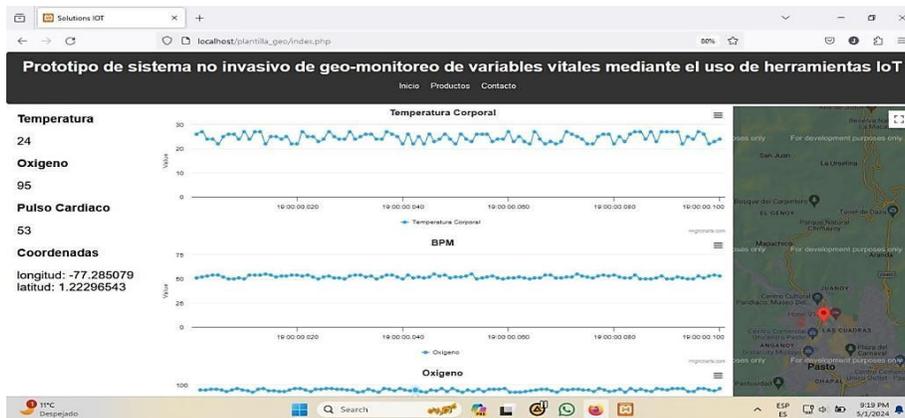


Figura 31

Visualización de datos biomédicos y de geoposicionamiento en la página web



Esta visualización se realizó en el barrio Paraná. De igual forma, se pueden corroborar los datos de ubicación en el mapa y también los datos biomédicos. Además, la página web incluye tres gráficas de los datos para su respectivo análisis. Las alarmas remotas se activan en función de las variables de temperatura. Estas se disparan cuando sobrepasan la temperatura baja, que es $>34^{\circ}\text{C}$, y la temperatura alta, que es $<38^{\circ}\text{C}$. Además, se genera una alarma de oxigenación cuando esta variable es $>94\%$, lo que indica una saturación de oxígeno baja.

Figura 32

Visualización de alarmas



2.1.3 Resultado del objetivo 3

Para verificar el sistema e integrar el prototipo de geo monitoreo con la aplicación web y la base de datos, y así corroborar su correcto funcionamiento, se realizó lo siguiente: en primer lugar, se efectuó una toma de datos por el prototipo de geo monitoreo, el cual estaba conectado a la red local junto con el Raspberry PI. Luego, se abrió la página web ingresando al index.php para visualizar estos datos. A continuación, se observaron los datos tanto en el prototipo de adquisición de datos biomédicos como en la base de datos, y finalmente, en la página web, como se muestra en la Figura 33, 34 y 35.

2.1.3.1 Adquisición de datos biomédicos

En este apartado, se realiza la adquisición de datos fisiológicos con la asistencia de un profesional de la salud, quien registró la información utilizando tanto el prototipo como sus instrumentos de trabajo para luego verificar la validez de los resultados. Además, se contó con la participación de tres usuarios a quienes se les registraron diferentes datos, como la temperatura corporal, la oxigenación en sangre, el ritmo cardíaco y la geolocalización. Es importante destacar que esta actividad se llevó a cabo en el barrio Miraflores, al sur de Pasto.

Figura 33

Adquisición de datos biomédicos por parte del prototipo de geoposicionamiento



En esta sección, se procede a visualizar los datos obtenidos por parte del prototipo en la página web, tal como se muestra en la figura 34. Asimismo, se presentan los diagramas de las tres variables vitales para apoyar al profesional de la salud en sus diagnósticos. Finalmente, se muestra la ubicación GPS en el mapa para facilitar la atención en caso de que se detecten anomalías en los signos vitales principales.

Figura 34

Visualización de variables vitales y ubicación del usuario



2.1.3.2 Visualización de alarmas remotas por anomalías

En este apartado, se realiza la simulación de una anomalía presente en un usuario, quien presenta una variación en la temperatura corporal de 34°C. Por ende, esto activa una alarma en la página web alertando sobre la anomalía, tal como se puede apreciar en la figura 35.

Figura 35

Simulación de anomalías y alarmas remotas

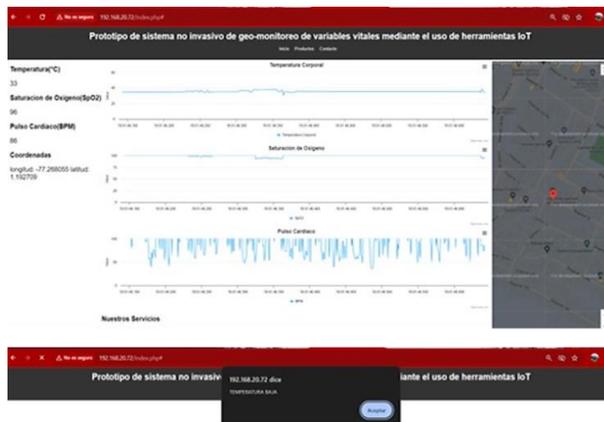
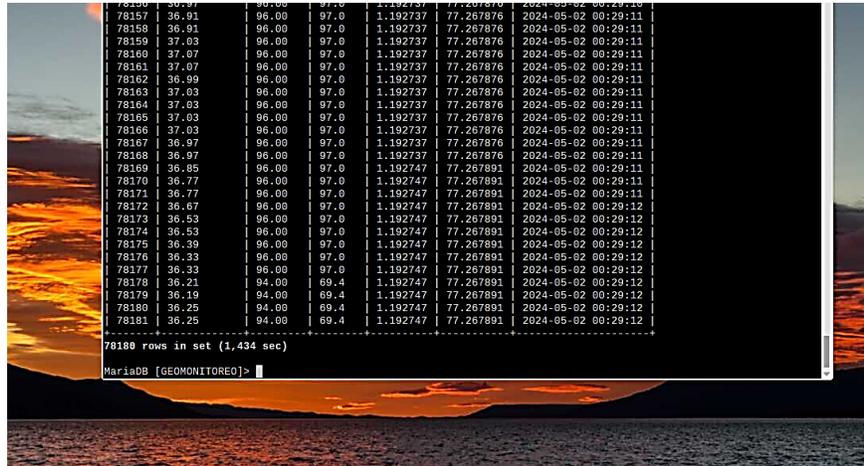


Figura 36

Visualización de base de datos



78150	36.97	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:10
78157	36.91	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78158	36.91	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78159	37.03	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78160	37.07	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78161	37.07	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78162	36.99	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78163	37.03	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78164	37.03	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78165	37.03	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78166	37.03	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78167	36.97	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78168	36.97	96.00	97.0	1.192737	77.267876	2024-05-02	00:29:11
78169	36.95	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:11
78170	36.77	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:11
78171	36.77	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:11
78172	36.67	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78173	36.53	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78174	36.53	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78175	36.39	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78176	36.33	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78177	36.33	96.00	97.0	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78178	36.21	94.00	69.4	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78179	36.19	94.00	69.4	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78180	36.25	94.00	69.4	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12
78181	36.25	94.00	69.4	1.192747	77.267891	2024-05-02	00:29:12

78188 rows in set (1,434 sec)

MariaDB [GEOMONITOREO]>

Como se puede observar en las anteriores figuras, nos damos cuenta de que los datos se envían correctamente desde el ESP32 al servidor web y también a la página web dinámica, lo que permite sensar los diferentes parámetros y monitorear al usuario. Es importante recordar que la red era local, por lo tanto, su rango de alcance no era muy grande.

3. Conclusiones

El prototipo de geo monitoreo construido ha demostrado su capacidad para adquirir, procesar y transmitir datos biomédicos de manera efectiva, lo que permite un monitoreo remoto y una visualización accesible de los datos para apoyar tanto a los usuarios como a los profesionales de la salud en sus diagnósticos.

La baja incidencia de errores en la adquisición de datos, evidenciada en los resultados de la validación tanto interna como externa, confirma la fiabilidad del prototipo para un monitoreo seguro y confiable.

La integración del módulo GPS NEO-6M ha demostrado ser altamente beneficiosa al permitir la prestación inmediata de ayuda al usuario en situaciones de anormalidades en sus principales signos vitales.

Finalmente, el desarrollo de este prototipo ha facilitado un monitoreo más riguroso de los principales signos vitales de una persona, sin ser invasivo ni incómodo de portar. Además, se vislumbra la posibilidad de mejorar la calidad de vida de aquellas personas que requieren un monitoreo más constante de sus signos vitales en el futuro.

4. Recomendaciones

Se recomienda ampliar la señal para este prototipo, ya sea con un módulo GSM o mediante una red más extensa, dado que en la actualidad solo cuenta con una red local.

Además, se sugiere integrar más sensores que puedan hacer que el sistema sea mucho más completo, al permitir la monitorización de más signos vitales.

Asimismo, se recomienda ampliar la página web con un inicio de sesión para poder identificar a los usuarios.

Por último, se aconseja mejorar las alarmas remotas, ya que actualmente solo se muestran en la página web. Integrar un módulo GSM permitiría enviar mensajes de texto o notificaciones prioritarias para mejorar la respuesta y reacción ante las alarmas.

Referencias bibliográficas

- Adler, A. Arnold, J. Bayford, R. Borsic, A. Brown, B. Dixon, P. Faes, T. Frerichs, I. Gagnon, H. Garber, Y. (2008) *towards a consensus eit algorithm for lung images*.
- Alarco, P.J. (2015). *Medida del nivel de saturación de oxígeno en sangre: desarrollo de un pulsioxímetro debajo coste y comparativa con otros sistemas existentes*.
- Alcorta, S. Pinedo, Q, N. Félix, M. (2020). *Desarrollo de un sistema electrónico biomédico portátil para el monitoreo y registro de signos vitales de las personas en la ciudad de Trujillo – Perú*.
- Angulo Intriago, A. J. (2022). *Diseño de software con funcionalidad e-commerce para incrementar ventas de medicamentos de la farmacia "pharma todo express" del recinto cupaquinde* (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum). Repositorio Digital UNESUM. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4570/1/Angulo%20Intriago%20Alan%20Joao.pdf>
- Ariza Gil, J. A. (2020). *Acondicionamiento de un Router CNC 3020T para fabricación de componentes en aluminio*. (Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás). Repositorio Institucional. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35189/2020jesusariza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caiza Villacis, J. C. (2024). *Sistema electrónico para monitorización de signos vitales y glucosa en pacientes diabéticos* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Telecomunicaciones). Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/40780/1/t2456te.pdf>

Cari, T. R. S. (2021). Análisis y Proceso de Hardening de Servidor Virtual Web, Facultad de Ingeniería (IngeTic). *INF-FCPN-PGI Revista PGI*, 189-192.
https://ojs.umsa.bo/ojs/index.php/inf_fcpn_pgi/article/view/82/69

Casado, P. E. F. (2024). *Desarrollo Web para comercio electrónico*.

Castaño, F.A. Hernández, A. M. Sarmiento, C. A. Camacho, A. Vega, C. Lemos, J.D. (2016). *Redundant Measurement of Vital Signs in a Wearable Monitor to Overcome Movement Artifacts in Home Health Care Environment*.

Chicaiza Navarrete, A. D., & Paz Rodríguez, S. T. (2024). *Implementación de un sistema móvil multiplataforma para la gestión de la información utilizando la metodología scrum para la toma de decisiones en la empresa SOMAGG* (Bachelor's thesis, Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)). Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11939/1/UTC-PIM-000818.pdf>

Cruz, A. C. (Ed.). (2023). *Manual de medicina intensiva para MIR*. Elsevier Health Sciences.

Duque Prieto, A. (2020). Desarrollo de un teclado MIDI con un microcontrolador Atmel328p. https://oa.upm.es/66681/1/TFG_ALEJANDRO_DUQUE_PRIETO.pdf

Echavarría Gil, A. (2021). *Implementación de Mejoras a los Aplicativos de Salvapartes y Velru del Área de Movilidad de la Compañía Suramericana SAS* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria de Sabaneta, Unisabaneta). Repositorio Unisabaneta. http://repositorio.unisabaneta.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/453/Echavarría_Andres_Informe.pdf?sequence=1

Esquibel Crisólogo, N. J. (2023). *Obesidad asociada al desarrollo de estadios graves en la enfermedad por SARS CoV-2*. (Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego). Repositorio UPAO.

https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/15591/REP_NESSER.ESQUIBEL_DESARROLLO.DE.ESTADIOS.GRAVES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fernando, C. A. L. (2020). Desarrollo del Sistema Integral del Hospital Regional de Alta Especialidad “Dr. Gustavo A. Rovirosa Pérez”: Módulo de urgencias médicas. https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/12/3_15_desarrollo-del-sistema-integral-del-hospital-regional-de-alta-especialidad-dr-gustavo-a-rovirosa-perez-modulo-de-urgencias-medicas.pdf

Ferrera, L. E., & Caballero, J. M. (2018, March). Health quadrant mhealth application: A performance analysis of the heart rate accuracy vis a vis a pulse oximeter. In *Proceedings of the 4th International Conference on Human-Computer Interaction and User Experience in Indonesia, CHIuXiD'18* (pp. 54-60). <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3205946.3205954>

Gielen, W. Longoria, K.A. Van Mourik, R.A. (2021) *Two cases of COVID-19 monitored by a wearable biosensor—a case repor.*

Guijarro, Á. P. (2012). Protocolo HTTP. https://alvaroprimoguijarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/01/ud04_http_alvaroprimoguijarro.pdf

Hernández Ruiz, A. (2022). *Estudio y desarrollo de un dispositivo portable para medida de temperatura mediante infrarrojos* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). UPCommons.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/377028/Anexos.zip?sequence=1>

Laganà, A., Gavrilova, M. L., Kumar, V., Mun, Y., Tan, C. K., & Gervasi, O. (Eds.). (2004). *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2004: International Conference, Assisi, Italy, May 14-17, 2004, Proceedings, Part III* (Vol. 3045). Springer.

Manobanda, G.J. (2023). *Sistema electrónico de monitoreo de signos vitales y Geolocalización para alpinistas del parque nacional Cotopaxi*

- Manríquez, I. V. A., González, J. P. R., Guzmán, J. M. G., Gutiérrez, J. C. E., & Lara, M. C. (2023). Desarrollo de mini-pc con raspberry pi 3b+ basado en raspbian (development of mini-pc with raspberry pi 3b+ based on raspbian). *Pistas Educativas*, 45(145). https://www.researchgate.net/profile/miroslava-cano-lara/publication/378068414_desarrollo_de_mini-pc_con_raspberry_pi_3b_basado_en_raspbian_development_of_mini-pc_with_raspberry_pi_3b_based_on_raspbian/links/65c4fa371e1ec12eff7c1ade/desarrollo-de-mini-pc-con-raspberry-pi-3b-basado-en-raspbian-development-of-mini-pc-with-raspberry-pi-3b-based-on-raspbian.pdf
- Martins, C. Machado, J. Guimarães, D. Martins, L. Vaz da Silva, M. Padilla, A. (2019). *Sistema para la monitorización de oxígeno en sangre*.
- Monroy, S., & Yuseff, M. (2024). Detección de la temperatura corporal mediante el uso de cámaras termográficas incorporadas a dispositivos móviles que muestren los valores de personas en áreas restringidas. (Tesis de maestría, Tecnológico Nacional de México). Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (RI - TecNM).
- Montenegro, A.A. (2022). *Interfaz gráfica de usuario para el monitoreo en tiempo real de parámetros fisiológicos no invasivos*.
- Montesino Martínez, Y. (2022). *Sistema informático para el observatorio científico, tecnológico y de innovación en el MINCEX* (Bachelor's thesis, Universidad de las ciencias informáticas. Facultad de Ciencias y Tecnologías Computacionales). REPOS. https://repositorio.uci.cu/bitstream/123456789/10513/1/TD_09965_22.pdf
- Moreno Caballero, M. (2021). *Diseño y programación de un sistema de monitorización de parámetros biomédicos* (Tesis de pregrado, Universidad Politécnica De Cartagena). Repositorio UPCT. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/b19d6e8e-74ef-478a-9715-049d1efea85/content>

Moreno, M. (2021). *Diseño y programación de un sistema de monitorización de parámetros biomédicos*

Nicole, M. A. A. (2022). *Interfaz Gráfica De Usuario Para El Monitoreo En Tiempo Real De Parámetros Fisiológicos No Invasivos* (Doctoral dissertation, Ecuador-PUCESE-Escuela de Sistemas y Computación). Repositorio PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4dac653c-b080-418b-9b50-0ede06005378/content>

Ortiz-Garcés, I., Briones, L., Singo, M., & Echeverría, A. (2023). Implementación de un Modelo de Ciberseguridad de una Arquitectura de Sensores de Monitoreo IoT en la Niebla. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, (E56), 371-382. https://www.researchgate.net/profile/Aaron-Echeverria/publication/371868308_Implementacion_de_un_Modelo_de_Ciberseguridad_de_una_Arquitectura_de_Sensores_de_Monitoreo_IoT_en_la_Niebla/links/649a00ac8de7ed28ba5a7cc7/Implementacion-de-un-Modelo-de-Ciberseguridad-de-una-Arquitectura-de-Sensores-de-Monitoreo-IoT-en-la-Niebla.pdf?origin=journalDetail&_tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9

Párraga Sánchez, C. A. (2023). *Análisis comparativo de los sistemas de gestión de base de datos Mysql Y Oracle* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB-FAFI. 2023). DSpace Principal. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/15036/E-UTB-FAFI-SIST.INF-000191.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Prado, E. M., & Castillo Koo, K. D. (2023). *Diseño y desarrollo de un medidor de flujo digital para el mezclador de gases en ventiladores mecánicos*. (Tesis de pregrado, Universidad Especializada de las Américas). RIUDELAS. http://168.77.210.164/bitstream/handle/123456789/1301/Castillo_Koo_Kevin_Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Puras, E., & Luján, S. (2006). *Pletismografía. Presiones segmentarias*.
<http://www.cdvni.org/certificacion/guia5pletismografia.pdf>

Ramírez Azanza, M. G. (2019). *Análisis comparativo de rendimiento a servidores Web de distribución libre utilizando apache Benchmark*. (Universidad Técnica de Machala). Repositorio Digital de la UTMACH
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14567/1/ECFIC-2019-ISIS-DE00034.pdf>

Rubio Quintana, C. C., Salas Coronado, J. F., & Sarmiento Ramírez, D. M. (2017). *Diseño e implementación de un dispositivo electrónico para transmisión inalámbrica de biopotenciales para uso residencial*. (Tesis de pregrado, Universidad ECCI). Repositorio Digital ECCI.
<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/3810/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, A. A. C. (2020). *Implementación de la arquitectura de datos usando el modelo relacional y MySQL Community Edition para el diseño de la base de datos del sistema de capellanía* UM.
<http://anuarioinvestigacion.um.edu.mx/index.php/a2020/article/download/107/90>

Sánchez, M. S. V. (2021). *Desarrollo de una aplicación para el control de un dispositivo electrónico para la ubicación de la mascota*. (Trabajo de Titulación, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador). Repositorio puce.
<https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b5dc2ea7-c3b0-4b9a-837e-10f0b3e31fa7/content>

Sanz Canet, A. (2024). *Diseño de sistema de odometría basado en open source para rally raid de regularidad amateur* (Tesis de pregrado, Universidad Rey Juan Carlos). BURJC DIGITAL.
<https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/31547/2023-24-ESCET-M-2120-2120039-a.sanzca.2017-MEMORIA.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

Sathiyarayanan, R. V., Mani, P., Rahul, R., & Karthik, N. (2023). Medic drone. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2788, No. 1). AIP Publishing.

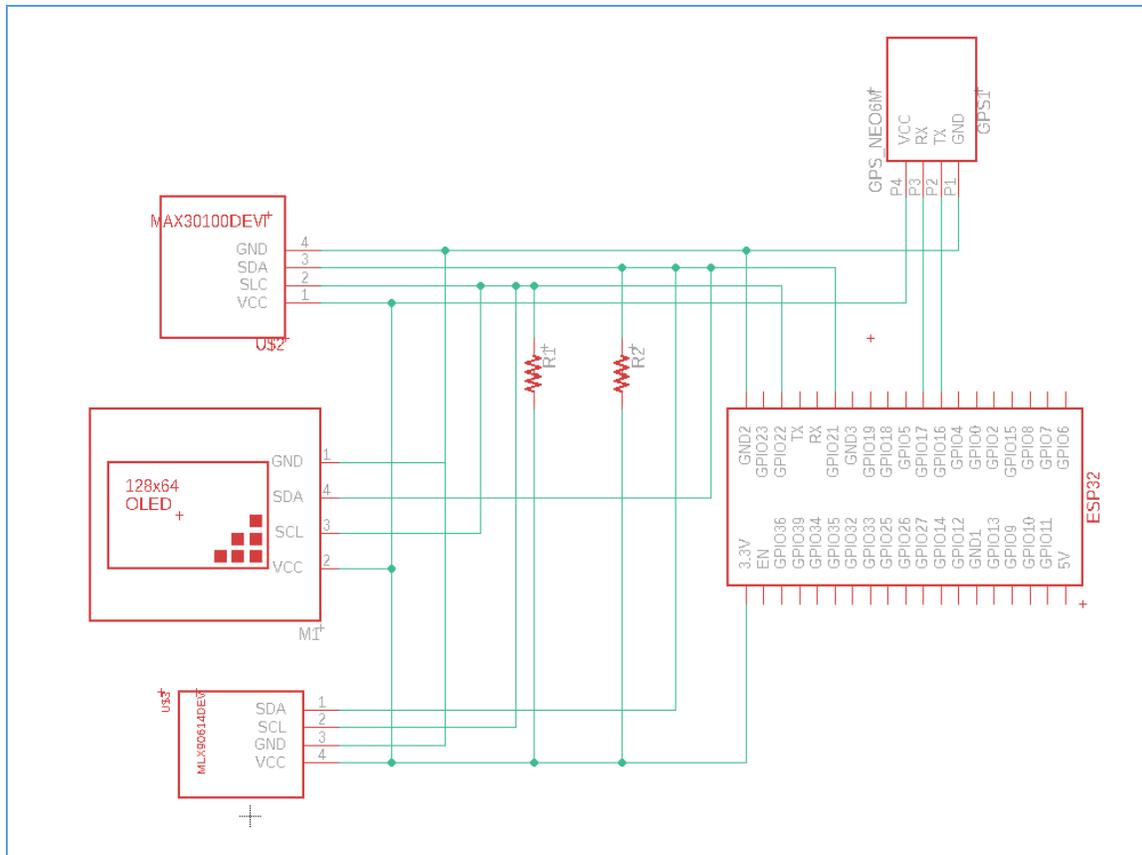
Thiago, M. Abubakar, O, Goi, A. Santos, A. Chachá, A. Raupp da Rosa, P. Furtado, S. (2022) *Smartphone-Based Screening for Cardiovascular Diseases: ¿A Trend?*

Vallejo, N. G. (2002). *Monitorización de la frecuencia cardiaca para la cuantificación de los requerimientos energéticos de la actividad física. Utilidad y limitaciones como método para la prescripción de ejercicio físico* (Doctoral dissertation, Universidad de León). <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5d399a6329995206844670c9>

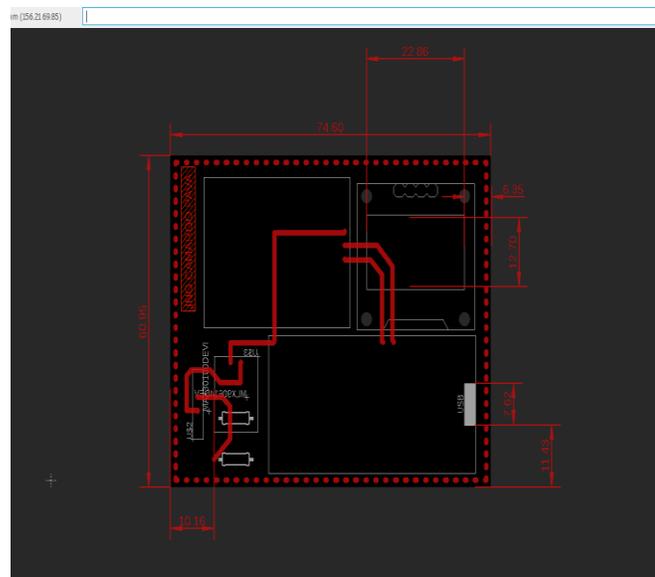
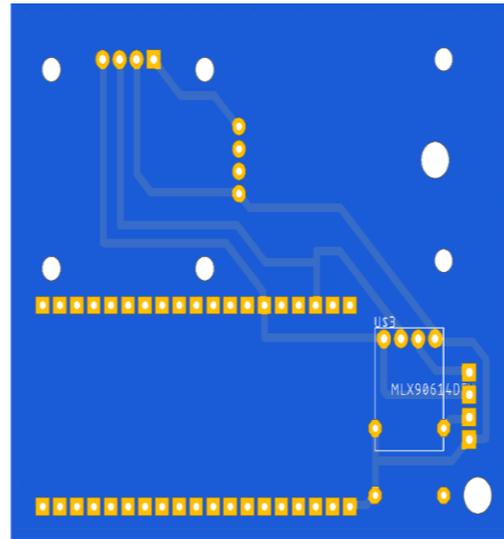
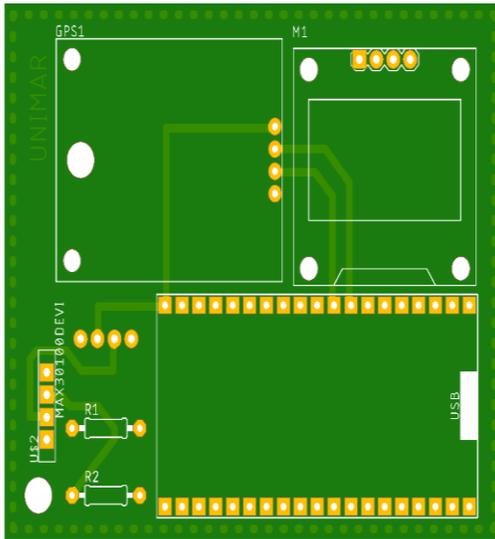
Zubovich, N. (2022). *What is IoT architecture 4 stages of IoT architecture.*

Anexos

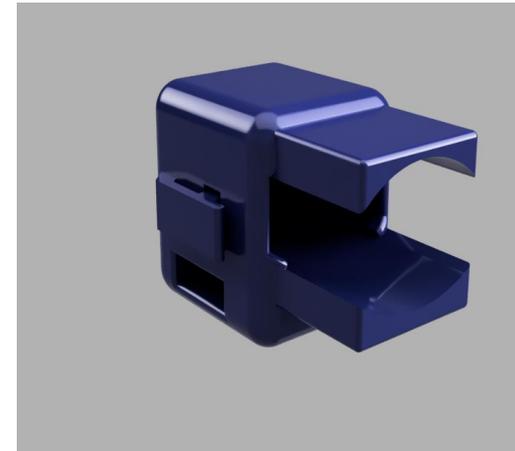
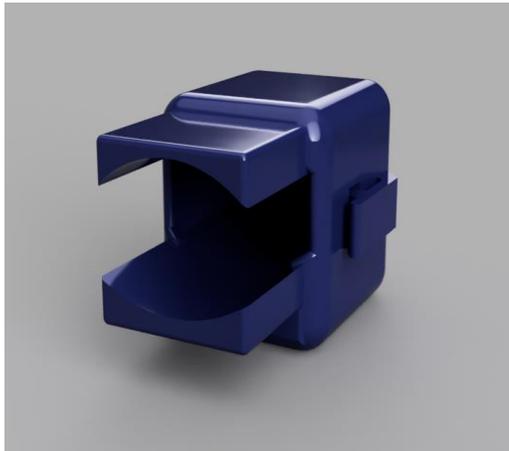
Anexo A: Circuito para la adquisición de datos biomédicos y geo posicionales con visualización serial y local en pantalla OLED.



Anexo B: Diseño de PCB en EAGLE



Anexo C: Diseño Fusión



Anexo D: Validación externa



FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIONES EN EL ÁREA DE LA SALUD

**ING MECATRÓNICA/ FACULTA DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MARIANA**

Pasto, 26, 03, 2024

Adquisición de datos biomédicos:

Yo, *Mónica Martínez R.* Con documento de identificación 30728044

Actuando como Usuario autónomo, de manera libre y voluntaria, en ejercicio pleno de mis facultades.

Hago constar que

Una vez informado sobre los propósitos, objetivos, pruebas/procedimientos que se llevarán a cabo durante la investigación denominada "Prototipo de sistema no invasivo" y los posibles riesgos que se puedan generar de la prueba o procedimiento, autorizo mi participación o la de la persona bajo mi responsabilidad, en la misma, así como el uso de los datos obtenidos con fines estrictamente académicos e investigativos.

Declaro, adicionalmente, que se me ha informado que:

1. Mi participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria y puedo retirarme de ella en cualquier momento.
2. No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto/producto, ni retribución económica alguna. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitan incidir positivamente en los procesos de mejoramiento de personas con condiciones similares a las mías, o a las de la persona bajo mi responsabilidad.
3. Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente; en virtud de ello, esta información será archivada en papel y/o medio electrónico. Los archivos del estudio se guardarán en la Fundación Universitaria María Cano, Sede **Pasto**, bajo la custodia del grupo de investigación **GRIM**, adscrito al programa académico **Ingeniería Mecatrónica**, perteneciente a la **Faculta de Ingeniería** del **a Universidad Mariana** y la responsabilidad de los investigadores participantes en el proyecto/producto.
4. Puesto que toda la información en este proyecto de investigación es llevada bajo condición de anonimato, los resultados personales no pueden estar disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros, medios de comunicación u otras instituciones educativas. Esto también aplica al cónyuge, miembros de la familia y médicos (o profesionales de salud tratantes) de los participantes.
5. En caso de requerir mis datos personales, las fotografías, los videos y otra información, resultantes de la aplicación de la prueba o procedimiento para presentación con fines estrictamente académicos o científicos en eventos tales como seminarios, congresos, cursos, simposios, revisiones de casos clínicos y publicaciones, entre otros tipos de espacios de divulgación científica, autorizo su uso, si así lo considero, a través de la firma de este documento.

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIONES EN EL ÁREA DE LA SALUD

**ING MECATRÓNICA/ FACULTA DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MARIANA**

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad. Por lo anterior, hago constar que he sido informado a satisfacción sobre los procesos, procedimientos o pruebas que se realizarán por parte de los profesionales participantes en el proyecto como investigadores y, por tanto, doy mi consentimiento.

Morúa. Espinoza R

Firma del usuario

Juan Sebastián C.

Investigador principal

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIONES EN EL ÁREA DE LA SALUD

ING MECATRÓNICA/ FACULTA DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MARIANA

Pasto, 26, 03, 2024

Adquisición de datos biomédicos:

Yo, *Gabriela Martínez Figueroa* Con documento de identificación 3017001946

Actuando como Usuario autónomo, de manera libre y voluntaria, en ejercicio pleno de mis facultades.

Hago constar que

Una vez informado sobre los propósitos, objetivos, pruebas/procedimientos que se llevarán a cabo durante la investigación denominada "Prototipo de sistema no invasivo" y los posibles riesgos que se puedan generar de la prueba o procedimiento, autorizo mi participación o la de la persona bajo mi responsabilidad, en la misma, así como el uso de los datos obtenidos con fines estrictamente académicos e investigativos.

Declaro, adicionalmente, que se me ha informado que:

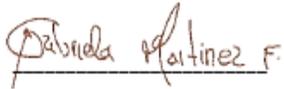
1. Mi participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria y puedo retirarme de ella en cualquier momento.
2. No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto/producto, ni retribución económica alguna. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitan incidir positivamente en los procesos de mejoramiento de personas con condiciones similares a las mías, o a las de la persona bajo mi responsabilidad.
3. Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente; en virtud de ello, esta información será archivada en papel y/o medio electrónico. Los archivos del estudio se guardarán en la Fundación Universitaria María Cano, Sede *Pasto*, bajo la custodia del grupo de investigación **GRIM**, adscrito al programa académico **Ingeniería Mecatrónica**, perteneciente a la **Faculta de Ingeniería** del a **Universidad Mariana** y la responsabilidad de los investigadores participantes en el proyecto/producto.
4. Puesto que toda la información en este proyecto de investigación es llevada bajo condición de anonimato, los resultados personales no pueden estar disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros, medios de comunicación u otras instituciones educativas. Esto también aplica al cónyuge, miembros de la familia y médicos (o profesionales de salud tratantes) de los participantes.
5. En caso de requerir mis datos personales, las fotografías, los videos y otra información, resultantes de la aplicación de la prueba o procedimiento para presentación con fines estrictamente académicos o científicos en eventos tales como seminarios, congresos, cursos, simposios, revisiones de casos clínicos y publicaciones, entre otros tipos de espacios de divulgación científica, autorizo su uso, si así lo considero, a través de la firma de este documento.

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIONES EN EL ÁREA DE LA SALUD

**ING MECATRÓNICA/ FACULTA DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MARIANA**

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad. Por lo anterior, hago constar que he sido informado a satisfacción sobre los procesos, procedimientos o pruebas que se realizarán por parte de los profesionales participantes en el proyecto como investigadores y, por tanto, doy mi consentimiento.

Firma del usuario y/o acudiente con su respectiva huella


Fabiana Martinez F.

Firma del usuario

Firma del investigador principal y/o de los coinvestigadores que tengan relación directa con la aplicación del procedimiento o prueba:


Juan Sebastián C.
Investigador principal

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIONES EN EL ÁREA DE LA SALUD

ING MECATRÓNICA/ FACULTA DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MARIANA

Pasto, 26, 03, 2024

Adquisición de datos biomédicos:

Yo, *Rosalba Martínez Figueroa*. Con documento de identificación 30712576

Actuando como Usuario autónomo, de manera libre y voluntaria, en ejercicio pleno de mis facultades.

Hago constar que

Una vez informado sobre los propósitos, objetivos, pruebas/procedimientos que se llevarán a cabo durante la investigación denominada “Prototipo de sistema no invasivo” y los posibles riesgos que se puedan generar de la prueba o procedimiento, autorizo mi participación o la de la persona bajo mi responsabilidad, en la misma, así como el uso de los datos obtenidos con fines estrictamente académicos e investigativos.

Declaro, adicionalmente, que se me ha informado que:

1. Mi participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria y puedo retirarme de ella en cualquier momento.
2. No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto/producto, ni retribución económica alguna. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitan incidir positivamente en los procesos de mejoramiento de personas con condiciones similares a las mías, o a las de la persona bajo mi responsabilidad.
3. Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente; en virtud de ello, esta información será archivada en papel y/o medio electrónico. Los archivos del estudio se guardarán en la Fundación Universitaria María Cano, Sede **Pasto**, bajo la custodia del grupo de investigación **GRIM**, adscrito al programa académico **Ingeniería Mecatrónica**, perteneciente a la **Faculta de Ingeniería** del **a Universidad Mariana** y la responsabilidad de los investigadores participantes en el proyecto/producto.
4. Puesto que toda la información en este proyecto de investigación es llevada bajo condición de anonimato, los resultados personales no pueden estar disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros, medios de comunicación u otras instituciones educativas. Esto también aplica al cónyuge, miembros de la familia y médicos (o profesionales de salud tratantes) de los participantes.
5. En caso de requerir mis datos personales, las fotografías, los videos y otra información, resultantes de la aplicación de la prueba o procedimiento para presentación con fines estrictamente académicos o científicos en eventos tales como seminarios, congresos, cursos, simposios, revisiones de casos clínicos y publicaciones, entre otros tipos de espacios de divulgación científica, autorizo su uso, si así lo considero, a través de la firma de este documento.

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIONES EN EL ÁREA DE LA SALUD

**ING MECATRÓNICA/ FACULTA DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MARIANA**

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad. Por lo anterior, hago constar que he sido informado a satisfacción sobre los procesos, procedimientos o pruebas que se realizarán por parte de los profesionales participantes en el proyecto como investigadores y, por tanto, doy mi consentimiento.

Rosalba Martínez

Firma del usuario

Juan Sebastián C.

Investigador principal

Anexo E: Programación IDE Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <MAX30100_PulseOximeter.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <TinyGPS++.h>

#define REPORTING_PERIOD_MS 1000

#define MAX30100_I2C_ADDRESS 0x57
#define MLX90614_I2C_ADDRESS 0x5A

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
#define SCREEN_ADDRESS 0x3C

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
PulseOximeter pox;
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

float temp, temperaturaObjeto;
float BPM, SpO2, LNG, LAT, ALT;
uint32_t tsLastReport = 0;

#define RXD2 16
#define TXD2 17
HardwareSerial neogps(1);
```

```
TinyGPSPlus gps;

void onBeatDetected() {
  Serial.println("Beat!");
}

void print_speed() {
  display.clearDisplay();
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  if (gps.location.isValid() == 1) {
    LAT = gps.location.lat();
    LNG = gps.location.lng();
    ALT = gps.altitude.meters();
    // Mostrar datos en la pantalla OLED
  } else {
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    display.setCursor(0, 0);
    display.setTextSize(3);
    display.print("No Data");
    display.display();
  }
}

void GPS(void *parameter) {
  for (;;) {
    boolean newData = false;
    unsigned long start = millis();
    while (millis() - start < 1000) {
      while (neogps.available()) {
        char c = neogps.read();
      }
    }
  }
}
```

```
        if (gps.encode(c)) {
            newData = true;
        }
    }
}

if (newData) {
    Serial.print("Satellites: ");
    Serial.println(gps.satellites.value());
    print_speed();
} else {
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    display.setCursor(0, 0);
    display.setTextSize(1);
    display.print("No GPS");
    display.display();
}

vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
}
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Wire.begin();
    mlx.begin(MLX90614_I2C_ADDRESS);
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS);
    display.clearDisplay();
    display.display();
    display.setTextSize(1);
```

```
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0,0);
display.println("BIENVENIDOS");
display.display();
delay(2000);

if (!pox.begin()) {
  Serial.println("FAILED");
  for(;;);
} else {
  Serial.println("SUCCESS");
  pox.setIRLedCurrent(MAX30100_LED_CURR_7_6MA);
  pox.setOnBeatDetectedCallback(onBeatDetected);
}z

neogps.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);

xTaskCreatePinnedToCore(
  GPS, "GPSTask", 10000, NULL, 1, NULL, 0
);
}

void loop() {
  pulseFunctions();
  LCD();
  calibracion();
}

void pulseFunctions() {
  pox.update();
  if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {
```

```
BPM = pox.getHeartRate();  
SpO2 = pox.getSpO2();  
Serial.print("Heart rate:");  
Serial.print(BPM);  
Serial.print(" bpm / SpO2:");  
Serial.print(SpO2);  
Serial.println("%");  
tsLastReport = millis();  
}  
}
```

```
void LCD() {  
  display.clearDisplay();  
  display.setTextSize(1);  
  display.setCursor(0,30);  
  display.print("BPM:");  
  display.setTextSize(2);  
  display.setCursor(30, 30);  
  display.print(BPM,1);  
  
  display.setTextSize(1);  
  display.setCursor(80,30);  
  display.print("/ SpO2 /");  
  display.setTextSize(2);  
  display.setCursor(90, 40);  
  display.print(SpO2,0);  
  display.print("%");  
  
  display.setTextSize(1);  
  display.setCursor(0,50);  
  display.print("Temp:");
```

```
display.setTextSize(2);
display.setCursor(30, 50);
display.print(temp,1);

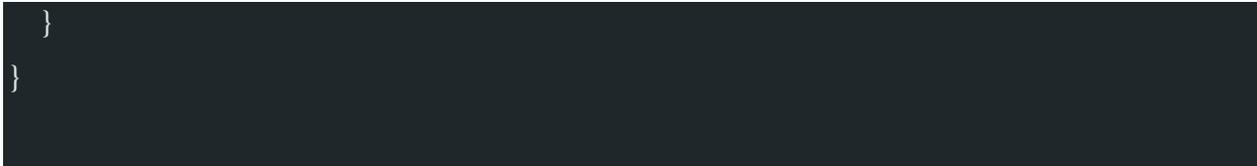
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.print("LAT:");
display.setCursor(27, 0);
display.print(LAT,6);

display.setCursor(0, 10);
display.print("LNG:");
display.setCursor(27, 10);
display.print(LNG,6);

display.setCursor(0, 20);
display.print("ALT:");
display.setCursor(27, 20);
display.print(ALT);

display.display();
}

void calibracion() {
  temperaturaObjeto = mlx.readObjectTempC();
  if (temperaturaObjeto >= 31.0 && temperaturaObjeto <= 31.9) {
    temp = temperaturaObjeto + 5.0;
  } else if (temperaturaObjeto >= 32.0 && temperaturaObjeto <= 32.8) {
    temp = temperaturaObjeto + 4.0;
  } else {
    temp = temperaturaObjeto + 3.5;
  }
}
```



Anexo F: Programación de desarrollo web

```
1 <?php
2 function conectarBD(){
3     $server = "localhost";
4     $usuario = "usuario";
5     $pass = "123456";
6     $SBD = "GEOMONITOREO";
7     $conexion = mysqli_connect($server, $usuario, $pass, $SBD);
8     if(!$conexion){
9         echo 'Ha sucedido un error inesperado en la conexion de la base de datos<br>';
10    }
11    return $conexion;
12 }
13 function desconectarBD($conexion){
14     $close = mysqli_close($conexion);
15     if(!$close){
16         echo 'Ha sucedido un error inesperado en la desconexion de la base de datos<br>';
17     }
18     return $close;
19 }
20
21 function getArraySQL($sql){
22     $conexion = conectarBD();
23     if(!$result = mysqli_query($conexion, $sql)) die();
24     $rowdata = array();
25     $i=0;
26     while($row = mysqli_fetch_array($result))
27     {
28         $rowdata[$i] = $row;
29         $i++;
30     }
31
32     desconectarBD($conexion);
33     return $rowdata;
34 }
```

```
33     return $rowdata;
34 }
35
36 //Sentencia SQL
37 $sql = "SELECT * from VARIABLES;";
38 $rowdata = getArraySQL($sql);
39 ?>
40 <!DOCTYPE html>
41 <html lang="es">
42 <head>
43     <meta name="viewport" content="initial-scale=1.0">
44     <link rel="stylesheet" href="styles.css">
45     <title>Solutions IOT</title>
46     <style> #map {
47         height: 100%; }
48         html, body {
49             height: 100%; margin: 0; padding: 0; }
50     </style>
51 </head>
52
53 <header>
54     <META http-equiv=refresh content=10>
55     <h1>Prototipo de sistema no invasivo de geo-monitoreo de variables vitales mediante el uso de herramientas IoT</h1>
56
57     <ul>
58         <li><a href="#">Inicio</a></li>
59         <li><a href="#">Productos</a></li>
60         <li><a href="proyecto1/contacto.html">Contacto</a></li>
61     </ul>
62
63 </header>
64
65 <body>
```

```
192.168.20.72 (raspberrypi) - RealVNC Viewer
chamo@raspberrypi: ... index.php (/var/www/...
index.php
/var/www/html
Guardar
65 <body>
66 <meta charset="utf-8">
67 <script src="https://code.jquery.com/jquery.js"></script>
68 <script src="http://code.highcharts.com/stock/highstock.js"></script>
69 <script src="http://code.highcharts.com/modules/exporting.js"></script>
70
71 <main>
72 <nav>
73 <h2>Temperatura(°C)</h2>
74 <p>
75 <?php
76 $cantidad = count($rawdata);
77 echo $rawdata[$cantidad-1]["temperatura"];
78 if ($rawdata[$cantidad-1]["temperatura"]<35){
79 echo '<script language="javascript">alert("TEMPERATURA BAJA");</script>';
80 }
81
82 if ($rawdata[$cantidad-1]["temperatura"]>37.8){
83 echo '<script language="javascript">alert("TEMPERATURA ALTA");</script>';
84 }
85
86 ?>
87 </p>
88 <h2>Saturacion de Oxigeno(SpO2)</h2>
89 <p><?php
90 $cantidad = count($rawdata);
91 echo $rawdata[$cantidad-1]["oxigeno"];
92 if ($rawdata[$cantidad-1]["oxigeno"]<94){
93 echo '<script language="javascript">alert("SATURACION DE OXIGENO BAJA");</script>';
94 }
95 ?></p>
96 <h2>Pulso Cardiaco(BPM)</h2>
97 <p><?php
98
```

```
192.168.20.72 (raspberrypi) - RealVNC Viewer
chamo@raspberrypi: ... index.php (/var/www/...
index.php
/var/www/html
Guardar
96 <h2>Pulso Cardiaco(BPM)</h2>
97 <p><?php
98 $cantidad = count($rawdata);
99 echo $rawdata[$cantidad-1]["bpm"];
100 ?></p>
101 <h2>Coordenadas</h2>
102 <p>
103 longitud: -<?php
104 $cantidad = count($rawdata);
105 echo $rawdata[$cantidad-1]["longitud"];
106 ?>
107 latitud: <?php
108 $cantidad = count($rawdata);
109 echo $rawdata[$cantidad-1]["latitud"];
110 ?>
111 </p>
112 </nav>
113 <aside>
114 <div id="map"> </div>
115 <script src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=AIzaSyBCKIqCdZGrVxx86LSbe7uG3zX0q1Cz5k&callback=initMap" async
116 defer>
117 </script>
118 <script>
119 var map;
120 function initMap() {
121 map = new google.maps.Map(document.getElementById("map"), {
122 center: {
123 lat: <?php $c = count($rawdata); echo $rawdata[$c-1]["latitud"];?>,
124 lng: <?php $c = count($rawdata); echo ($rawdata[$c-1]["longitud"])*-1;?>,
125 zoom: 13, });
126
127
```

```
128
129     var marker = new google.maps.Marker({
130     position: {
131         lat: <?php $c = count($rawdata); echo $rawdata[$c-1]["latitud"];?>,
132         lng: <?php $c = count($rawdata); echo ($rawdata[$c-1]["longitud"])*-1;?>,
133     map: map,
134     title: 'última coordenada' }); }
135
136
137 </script>
138
139 </aside>
140 <section>
141 <article>
142 <div id="container">
143 <script type="text/javascript">
144 $(function () {
145 $(document).ready(function() {
146 Highcharts.setOptions({
147 global: {
148 useUTC: false
149 }
150 });
151
152 var chart;
153 $('#container').highcharts({
154 chart: {
155 height: 300,
156 type: 'spline',
157 animation: Highcharts.svg, // don't animate in old IE
158 marginRight: 10,
159 events: {
160 load: function() {
```

```
160 load: function() {
161 }
162 },
163 title: {
164 text: 'Temperatura Corporal'
165 },
166 xAxis: {
167 type: 'datetime',
168 tickPixelInterval: 150
169 },
170 yAxis: {
171 title: {
172 text: 'Value'
173 },
174 plotLines: [{
175 value: 0,
176 width: 1,
177 color: '#808080'
178 }],
179 min: 0,
180 max: 45
181 },
182 tooltip: {
183 formatter: function() {
184 return '<b>'+ this.series.name + '</b><br/>'+
185 Highcharts.dateFormat('%Y-%m-%d %H:%M:%S', this.x) + '<br/>'+
186 Highcharts.numberFormat(this.y, 2);
187 }
188 },
189 }
190 },
191 },
192 }
```

```
192     },
193     legend: {
194       enabled: true
195     },
196     exporting: {
197       enabled: true
198     },
199     series: [{
200       name: 'Temperatura Corporal',
201       data: (function() {
202         var data = [];
203         <?php
204         for($i = count($rawdata)-500 ;$i<count($rawdata);$i++){
205           <?php
206           data.push([<?php echo $rawdata[$i]["id"];?>,<?php echo $rawdata[$i]["temperatura"];?>]);
207         <?php } ?>
208         return data;
209       })()
210     }]
211   });
212 });
213
214 });
215 </script>
216 </div>
217 </article>
218
219 <article>
220   <div id="container1">
221     <script type="text/javascript">
222       $(function () {
223         $(document).ready(function() {
224           Highcharts.setOptions({
```

```
224           Highcharts.setOptions({
225             global: {
226               useUTC: false
227             }
228           });
229
230           var chart;
231           $('#container1').highcharts({
232             chart: {
233               height: 300,
234               type: 'spline',
235               animation: Highcharts.svg, // don't animate in old IE
236               marginRight: 10,
237               events: {
238                 load: function() {
239
240                 }
241               }
242             },
243             title: {
244               text: 'Saturación de Oxígeno'
245             },
246             xAxis: {
247               type: 'datetime',
248               tickPixelInterval: 150
249             },
250             yAxis: {
251               title: {
252                 text: 'Value'
253               },
254               plotLines: [{
255                 value: 0,
256                 width: 1,
```

Prototipo de sistema no invasivo de geo-monitoreo de variables vitales

```
192.168.20.72 (raspberrypi) - RealVNC Viewer
chamo@raspberrypi:~$ index.php (/var/www/html)
index.php
Guardar
255     value: 0,
256     width: 1,
257     color: '#000000'
258   }],
259   min: 0,
260   max: 80
261 },
262   tooltip: {
263     formatter: function() {
264       return '<b>' + this.series.name + '</b><br/>' +
265         Highcharts.dateFormat('%Y-%m-%d %H:%M:%S', this.x) + '<br/>' +
266         Highcharts.numberFormat(this.y, 2);
267     }
268   },
269   legend: {
270     enabled: true
271   },
272   exporting: {
273     enabled: true
274   },
275   series: [{
276     name: 'SpO2',
277     data: (function() {
278       var data = [];
279       <?php
280         for($i = count($rawdata)-500; $i < count($rawdata); $i++){
281           data.push([<?php echo $rawdata[$i]["id"];?>, <?php echo $rawdata[$i]["oxigeno"];?>]);
282         }
283       <?php } ?>
284       return data;
285     })()
286   }]
287 });
PHP Anchura del tabulador: 8 Ln 395, Col 8 INS
```

```
192.168.20.72 (raspberrypi) - RealVNC Viewer
chamo@raspberrypi:~$ index.php (/var/www/html)
index.php
Guardar
288 });
289 });
290 });
291 </script>
292 </div>
293 </article>
294 <article>
295   <div id="container2">
296     <script type="text/javascript">
297       $(function () {
298         $(document).ready(function() {
299           Highcharts.setOptions({
300             global: {
301               useUTC: false
302             }
303           });
304         });
305         var chart;
306         $('#container2').highcharts({
307           chart: {
308             height: 300,
309             type: 'spline',
310             animation: Highcharts.svg, // don't animate in old IE
311             marginRight: 10,
312             events: {
313               load: function() {
314                 }
315             }
316           },
317           title: {
318             text: 'Pulso Cardiac'
319           },
320           ...
PHP Anchura del tabulador: 8 Ln 395, Col 8 INS
```

```
320     },
321     xAxis: {
322       type: 'datetime',
323       tickPixelInterval: 150
324     },
325     yAxis: {
326       title: {
327         text: 'Value'
328       },
329       plotLines: [{
330         value: 0,
331         width: 1,
332         color: '#8080FF'
333       }],
334       min: 0,
335       max: 100
336     },
337     tooltip: {
338       formatter: function() {
339         return '<b>'+ this.series.name + '</b><br>'+
340           Highcharts.dateFormat('%Y-%m-%d %H:%M:%S', this.x) + '<br>'+
341           Highcharts.numberFormat(this.y, 2);
342       }
343     },
344     legend: {
345       enabled: true
346     },
347     exporting: {
348       enabled: true
349     },
350     series: [{
351       name: 'BPM',
352       data: (function() {
```

```
353         var data = [];
354         <?php
355         for($i = count($rawdata)-500 ; $i < count($rawdata); $i++){
356           data.push([<?php echo $rawdata[$i]["id"];?>,<?php echo $rawdata[$i]["bpm"];?>]);
357         <?php }?>
358         return data;
359       })()
360     }
361   ]
362 });
363 });
364 });
365 });
366 </script>
367 </div>
368 </article>
369 </section>
370 <section>
371 <article>
372 <h2>Nuestros Servicios</h2>
373 <div>
374
375 <h3>Geolocalizacion</h3>
376 <p>Monitorea la ubicacion de tus pacientes en tiempo real y verifique el lugar donde se encuentra
377 siguiendo su recorrido
378 </p>
379 </div>
380 </article>
381 <article>
382 <div>
383 <h3>Telemetria</h3>
384 <p>Servicio de monitoreo de variables fisicas de forma remota con respaldo de datos hasta de un año </p>
385 </div>
```

```
386 </article>
387 </section>
388
389 </main>
390 </body>
391 <footer>
392 <p>Telemetria y Geolocalizacion Pasto Nariño</p>
393 </footer>
394
395 </html>
```