

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Monitoreo Inteligente de Salud por IoT y Fog Computing

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telemática

Presentado por:

Enrique Edgar Estupiñán Enríquez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

*ENRIQUE EDGAR ESTUPIÑAN
ENRIQUEZ*

Dedico este trabajo a mis padres, por su apoyo y sacrificio a lo largo de mi vida. También quiero rendir un homenaje especial a mi tía, Graciela Neumane, cuya sabiduría, amor, bondad y ejemplo han dejado una huella imborrable en mí.

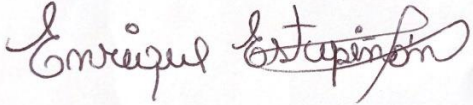
AGRADECIMIENTOS

*ENRIQUE EDGAR ESTUPIÑAN
ENRIQUEZ*

Quiero empezar agradeciendo a Dios, cuya guía y fortaleza me han sostenido. A mi familia, por su apoyo incondicional. A mis amigos, quiénes compartieron risas y momentos difíciles. En especial, a Diana, Daniel, John y Paulo, quiénes han estado a mi lado desde el inicio de este camino, su amistad es un tesoro incalculable. También a Doménica, quién llegó al final del camino, recordándome el amor no se mide por el tiempo juntos, sino por el apoyo genuino y la conexión que compartimos.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Enrique Edgar Estupiñán Enríquez y doy el consentimiento para que ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

- 

Enrique Edgar Estupiñán Enríquez

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
MARIA JOSE RAMIREZ
PRADO

Mgtr. María Ramírez Prado
PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
ADRIANA ELISA
COLLAGUAZO
JARAMILLO

Msig. Adriana Collaguazo Jaramillo
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este proyecto se centra en mejorar la atención médica para adultos mayores en el sistema de salud público de Ecuador. Se propone un dispositivo basado en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT) y el fog computing. Este dispositivo permite el monitoreo en tiempo real de indicadores de salud como la temperatura corporal, temperatura ambiental, frecuencia cardíaca y niveles de oxígeno en la sangre. Los datos recopilados se visualizan a través de dashboards en una plataforma web, lo que facilita el análisis de patrones de salud y la detección temprana de problemas médicos. La implementación del fog computing mejora la eficiencia en la transmisión de datos al procesarlos localmente, reduciendo la latencia. El proyecto también considera aspectos de desarrollo sostenible, promoviendo materiales reciclables y la adaptabilidad del sistema a futuros avances tecnológicos. Esto representa un paso hacia una atención médica mejorada y la telemedicina, abordando las necesidades de adultos mayores y mitigando barreras geográficas y económicas.

Palabras Clave: IoMT, Fog computing, Monitoreo, Telemedicina.

ABSTRACT

This project focuses on improving medical care for older adults in Ecuador's public health system. A device based on the Internet of Medical Things (IoMT) and fog computing is proposed. This device allows real-time monitoring of health indicators such as body temperature, heart rate and blood oxygen levels. The collected data is visualized through dashboards on a web platform, facilitating the analysis of health patterns and early detection of medical problems. The fog computing implementation improves data transmission efficiency by processing data locally, reducing latency. The project also considers aspects of sustainable development, promoting recyclable materials and the adaptability of the system to future technological advances. This represents a step towards improved medical care and telemedicine, addressing the needs of older adults and mitigating geographic and economic barriers.

Keywords: IoMT, Fog computing, Monitoring, Telemedicine.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
ABREVIATURAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos:	5
1.3.1 Objetivos general:	5
1.3.2 Objetivos específicos:	5
1.4 Alcances y limitaciones	6
1.5 Marco teórico	8
1.5.1 Fundamentos de IoT en el área de la Salud:	8
1.5.2 IoMT	8
1.5.3 Características de los dispositivos IoMT	8
1.5.4 Sensor Max30102	8
1.5.5 Sensor MLX 90614	9
1.5.6 Fog Computing	9
1.5.7 Base de Datos No Structured Query Language (NoSQL)	10
1.5.8 Base de datos de series temporales (TSDB)	10
1.5.9 Influx DB	10
1.5.10 Esp32	11
1.6 Descripción de escenarios	12

2 Estado del Arte	15
2.0.1 Metodología.....	21
2.0.2 Selección de sensores y otros componentes	22
2.0.3 Diseño del circuito en la placa PCB	23
2.0.4 Programación del microcontrolador ESP32.....	24
2.0.5 Arquitectura de la TSDB.....	25
2.0.6 Edge computing y fog computing.....	26
2.0.7 Manejo de errores y filtración de datos.....	27
2.0.8 Creación de dashboards para la visualización de datos.....	28
2.0.9 Exportación de datos	29
2.0.10 Interpretación del análisis	29
3 Resultados y análisis	31
3.0.1 Diseño y construcción del dispositivo	31
3.0.2 Configuración de InfluxDB y dashboards	33
3.0.3 Estructura de la base de datos.....	37
3.0.4 Análisis de datos.....	38
3.0.5 Análisis de costos del proyecto.....	46
4 Conclusiones y recomendaciones	49
4.0.1 Conclusiones.....	49
4.0.2 Recomendaciones técnicas.....	50
4.0.3 Recomendaciones adicionales	51
BIBLIOGRAFÍA	53
APÉNDICES	57
A Código del microcontrolador.....	59
B Manual de usuario - Parte 1: Uso del dispositivo de monitoreo de salud	59
B.1 Introducción	59
B.2 Encendiendo el dispositivo	59
B.3 Realizando una medición.....	59
B.4 Visualizando los resultados	60
B.5 Apagando el dispositivo	60

B.6	Preguntas frecuentes	61
C	Parte 2: Uso de la plataforma web	62
C.1	Accediendo a la plataforma web	62
C.2	Iniciando sesión	62
C.3	Visualizando los datos de salud	63
C.4	Cerrar sesión	64
C.5	Preguntas frecuentes	65
C.6	Información de contacto	65

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ECV	Enfermedades Cardiovasculares
IoT	Internet de las Cosas
IoMT	Internet de las cosas Médicas
MVP	Producto Mínimo Viable
I2C	Circuito Interintegrado
HVAC	Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado
CPU	Unidad Central de Procesamiento
CIS	Sistemas de Información Clínica
DDE	Intercambio Dinámico de Datos
FDPA	Asignación de Paquetes de Datos Difusos
OmH	Open mHealth
FHIR	Recursos Rápidos de interoperabilidad Sanitaria
OLED	Diodo Orgánico emisor de luz
PCB	Placa de Circuito Impreso
SDA	Línea de Datos
SCL	Línea de Reloj
SpO2	Nivel de Oxígeno
TSDB	Base de Datos de Series Temporales
CSV	Valores Separados por Comas
PLA	Ácido poliláctico
IA	Inteligencia Artificial
SQL	Lenguaje de Consulta Estructurado
NoSQL	No Lenguaje de Consulta No Estructurado

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Arquitectura del proyecto	21
2.2	Diagrama de flujo de monitoreo de salud en tiempo real.....	24
2.3	Diagrama de despliegue	26
3.1	Conexiones del circuito	32
3.2	Diseño de enclosure en 3D.....	33
3.3	Representación del nivel de oxígeno	34
3.4	Representación de las pulsaciones por minuto.....	35
3.5	Representación de la temperatura ambiental.....	36
3.6	Representación de la temperatura corporal.....	37
3.7	Esquema de la base de datos.....	38
3.8	Histograma del Heart Rate.	39
3.9	Histograma del SPO2.	40
3.10	Histograma de la Temperatura Corporal.....	41
3.11	Histograma de la Temperatura Ambiente.....	42
3.12	Boxplots de los indicadores.	43
3.13	Diagrama de Dispersión - Frecuencia Cardíaca vs SPO2.	44
3.14	Diagrama de Dispersión Temperatura Corporal vs FrecuenciaCardíaca.....	45
1	Ejemplificación del funcionamiento	60
2	Inicio sesión.....	63
3	Representación de los dashboards	64
4	Cierre de sesión.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Costo de hardware	46
3.2	Costo de software	47
3.3	Depreciación del hardware	47

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Las Enfermedades Cardiovasculares (ECV) son la principal causa de muerte de los adultos mayores a nivel mundial (Condes, 2012). Una de las razones es la baja calidad asistencial en los centros médicos afectando en mayor grado a los grupos más vulnerables, un estudio realizado por The Lancet Global Health Commission menciona que una información rutinaria sobre la salud con fines de vigilancia podrían prevenir 2,5 millones de muertes por enfermedades cardiovasculares (Lancet, 2023). En este contexto sistemas basados en Internet de las cosas (IoT) pueden generar grandes avances en la rama de la Salud y ofrecer soluciones inteligentes, tales como el monitoreo personalizado de los pacientes, sin embargo se pueden encontrar dificultades para proporcionar un seguimiento continuo y en tiempo real, esto debido a problemas en el análisis de datos, puesto que, estos sistemas utilizan como recurso principal la “nube”, para obtener, analizar y enviar los datos. La cantidad de datos que ingresan a la nube cada día aumenta de manera exponencial y seguirán aumentando las solicitudes, generando cuellos de botella, sobrecargando a la nube y haciendo de esta, una tarea muy demandante, teniendo como efecto a la latencia, misma que es intolerable en el cuidado de la salud (Azimi, Anzanpour, Rahmani, Liljeberg, & Salakoski, 2016). La creciente demanda del Internet de las cosas Médicas (IoMT) ha despertado el interés de los investigadores haciendo que se introduzca un nuevo concepto llamado “fog computing” para mejorar la velocidad, la usabilidad, la escalabilidad, la seguridad y la confiabilidad, para analizar y proporcionar resultados, pues reduce el ancho de banda de comunicación mediante el preprocesamiento de los datos recopilados y transmitiendo los necesarios para la nube (R, Singh, & Narawade, 2022) (Sharma & Bhatt, 2020).

El proyecto propone el desarrollo de un dispositivo electrónico inalámbrico basado en IoT, con características de bajo costo, implementación sencilla y configuración fácil. Su objetivo es monitorear el estado de los pacientes a través de indicadores de salud, como la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y los niveles de oxígeno en la sangre. La información recopilada se enviará en tiempo real a una plataforma web, donde los médicos podrán visualizar el estado actual de sus pacientes, analizar patrones de salud a partir del historial, detectar posibles anomalías y realizar diagnósticos cuando sea necesario. Esta solución contribuirá a mejorar la atención remota, una práctica conocida como telemedicina, especialmente en situaciones en las que los pacientes no pueden acceder fácilmente a un centro médico.

Dado que en la telemedicina resulta fundamental minimizar la latencia de los datos, incluso un breve retraso puede tener consecuencias graves, se ha optado por implementar la tecnología de fog computing. Esta estrategia implica realizar el procesamiento y almacenamiento de los datos de forma local en dispositivos cercanos al lugar de generación de los mismos. Esta aproximación resulta especialmente beneficiosa en momentos donde la latencia y la velocidad de respuesta son críticas. Además, se optimiza la red al distribuir la carga de procesamiento y almacenamiento entre los dispositivos periféricos y los nodos del fog, reduciendo así la carga en la infraestructura de red centralizada.

Finalmente, la plataforma web utilizada para este proyecto se destacará por su interfaz amigable, que simplificará la observación de los datos tanto para los médicos como para los pacientes. Además, ofrecerá herramientas de visualización de datos que permitirán a los médicos tomar decisiones fundamentadas en información precisa y actualizada sobre el estado de salud de los pacientes. También se implementarán alertas que notificarán de inmediato cuando los valores de los indicadores superen los umbrales previamente recomendados.

1.1 Planteamiento del problema

En el actual contexto de salud global, es fundamental brindar una atención adecuada y oportuna a las personas con enfermedades crónicas y con riesgo cardiovascular elevado, particularmente a los adultos mayores. Un estudio realizado en la Universidad Técnica del Norte de Ibarra indica que, de una muestra de 50 adultos mayores, el 40% presenta riesgos cardio metabólicos, mientras que un 46% muestra casos de presión arterial elevada (Barahona Meneses Amparito, 2021).

Los adultos mayores, quienes constituyen un grupo de personas vulnerables, afrontan múltiples desafíos en su atención médica. Los principales desafíos son su limitada movilidad debido a la edad avanzada, el riesgo elevado de contagio por otras enfermedades, la escasez de recursos disponibles. A estos factores se añade la dificultad de acceso a la atención médica en zonas rurales. La susceptibilidad contraer enfermedades dentro de entornos hospitalarios, se agrava por la debilidad del sistema inmunológico asociada con el envejecimiento y la presencia de enfermedades crónicas subyacentes. Esta situación, sumada a las limitaciones físicas y problemas de transporte que afrontan, dificulta su acceso a los servicios de atención médica (Gutiérrez, 2007).

En Ecuador, existen 4,165 establecimientos de salud para atender a sus ciudadanos, de los cuales 3,321 pertenecen al sector público, que atiende al 75% de la población. No obstante, se ha informado que la capacidad de estas unidades de salud ha sido rebasada debido a la falta de operación efectiva. La falta de infraestructuras adecuadas de transporte y la distancia geográfica pueden convertirse en barreras significativas que limitan la capacidad de los adultos mayores para acceder a la atención médica necesaria. A esto se suma la escasez de servicios médicos especializados y una menor disponibilidad de profesionales de la salud en las áreas rurales. Todo ello resulta en una atención médica limitada y menos accesible para los adultos mayores que residen en estas zonas, afectando negativamente la calidad y la prontitud de la atención médica que reciben (Margarita Velasco, 2020).

Este panorama evidencia la necesidad de desarrollar estrategias y herramientas que faciliten la monitorización de la salud de los adultos mayores de manera continua, segura y eficiente, y que sean accesibles y de fácil manejo tanto para los pacientes como para el personal médico.

1.2 Justificación del problema

La ausencia de una atención médica adecuada a los adultos mayores, especialmente aquellos con enfermedades crónicas y un alto riesgo cardiovascular, es una problemática de urgencia que necesita soluciones innovadoras. En este contexto, el desarrollo de una plataforma web de monitoreo médico basada en IoT y fog computing se presenta como una eficaz respuesta para mejorar la atención y seguimiento de estos pacientes. Esta plataforma aporta varias ventajas claves. En primer lugar, permite un monitoreo constante y en tiempo real de los indicadores de salud de los adultos mayores. Por ejemplo, mediante la recolección de datos vitales como la temperatura, el nivel de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardíaca, los médicos podrán obtener una visión detallada y actualizada del estado de salud de sus pacientes. Esto facilita la detección temprana de posibles complicaciones, permitiendo la intervención precoz para prevenir el empeoramiento de la salud del paciente. En segundo lugar, se facilita la realización de consultas médicas remotas, ya que los datos obtenidos por el dispositivo servirán de referencia para la consulta. Esto es especialmente relevante para los adultos mayores que viven en áreas rurales o que tienen dificultades para moverse. Al tener acceso a la consulta médica desde su casa, se eliminan las barreras de la distancia y la movilidad, mejorando la accesibilidad a la atención médica especializada. El uso de IoT y fog computing también trae beneficios significativos. Al procesar los datos cerca de donde se generan (en el “borde” de la red), el fog computing reduce la latencia y mejora la velocidad de transmisión de la información de salud. Esto significa que los datos de los pacientes se pueden visualizar casi en tiempo real en la plataforma, permitiendo a los médicos reaccionar rápidamente a cualquier cambio significativo en la condición del paciente. Además, al distribuir el procesamiento y almacenamiento de datos en varios dispositivos en lugar de en un solo servidor central, el fog computing puede manejar grandes volúmenes de datos sin sobrecargar la infraestructura de red centralizada. Esto resulta en un sistema más eficiente y confiable, que puede manejar el monitoreo constante de múltiples pacientes simultáneamente. Esta propuesta no solo beneficiará a los adultos mayores, sino que también tiene el potencial de mejorar el sistema de salud en su conjunto, al permitir una atención más eficaz y eficiente. Asimismo, sienta las bases para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la telemedicina y la salud digital.

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivos general:

Desarrollar una plataforma web de monitoreo médico, que mediante la integración de dispositivos IoT y la aplicación del fog computing sirva para el procesamiento de datos, facilite la toma de decisiones y mejore la atención médica remota de adultos mayores.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Crear un dispositivo electrónico de bajo costo que, equipado con sensores de alta precisión, sea capaz de adquirir de forma constante y en tiempo real datos de salud vitales de los adultos mayores, como la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y los niveles de oxígeno en la sangre.
- Desarrollar una plataforma web interactiva que permita la visualización clara y accesible de los datos adquiridos por el dispositivo IoT, la cual incluya dashboards con información relevante y actualizada del paciente para mejorar la eficiencia de las consultas médicas remotas.
- Implementar en la plataforma web un sistema de alertas automatizado que, al detectar valores que superen los umbrales preestablecidos por los profesionales médicos, notifique de inmediato a los mismos para facilitar la toma de decisiones basadas en los datos recopilados en tiempo real.
- Utilizar la tecnología de fog computing para reducir la latencia en la transmisión de datos y optimizar la velocidad de respuesta del sistema, garantizando así un monitoreo en tiempo real y una respuesta médica oportuna.

1.4 Alcances y limitaciones

El presente trabajo tiene como alcance desarrollar un producto mínimo viable (MVP) con conexión inalámbrica basado en IoT para la adquisición de datos de salud, la implementación de una plataforma web de código abierto y la exploración de la integración de fog computing. A continuación, se detallan los alcances relacionados con cada objetivo específico:

- **Objetivo 1:** Crear un dispositivo electrónico que permita adquisición de los datos usando sensores.
 - Implementar un prototipo que incluya sensores para la medición de parámetros de salud como temperatura corporal, frecuencia cardíaca y niveles de oxígeno en la sangre.
 - Establecer una conexión inalámbrica para la transmisión de datos desde el dispositivo hacia la plataforma web de monitoreo médico.
 - Garantizar la portabilidad y autonomía del dispositivo mediante el uso de baterías recargables y un diseño compacto.
- **Objetivo 2:** Implementar una plataforma web de monitoreo médico.
 - Desarrollar una interfaz intuitiva que permita visualizar en tiempo real los datos de salud recopilados por el dispositivo IoT.
 - Incorporar funcionalidades de generación de gráficos y tablas de datos para facilitar el análisis y seguimiento de la salud de los pacientes.
 - Implementar alertas automatizadas en caso de detectarse valores anormales en los parámetros de salud.
 - Proporcionar la capacidad de generar reportes personalizados para su posterior análisis y uso médico.
- **Objetivo 3:** Explorar la integración de fog computing en el procesamiento de datos de salud.
 - Implementar mecanismos de distribución de carga para evitar la congestión de la red y mejorar la eficiencia en el procesamiento.

Sin embargo, es importante considerar las siguientes restricciones que podrían afectar el desarrollo del trabajo:

- **Precisión de los sensores:** Los sensores utilizados pueden tener ciertos márgenes de error o tolerancia en las mediciones. Esto implica que las lecturas obtenidas pueden no ser completamente precisas o exactas. Es importante tener en cuenta esta limitación al interpretar y utilizar los datos recopilados, ya que podría haber una pequeña variación en los resultados. Se deben tomar precauciones adicionales al analizar la información para evitar decisiones erróneas o conclusiones incorrectas.
- **Consumo de energía y duración de la batería del dispositivo:** El proyecto puede tener un consumo de energía significativo, lo cual puede afectar la duración de la batería. Esta limitación implica que el dispositivo podría requerir recargas frecuentes o cambios de batería, lo cual puede interrumpir la continuidad del monitoreo médico. Es importante considerar esta restricción ya que una duración de batería limitada puede afectar la viabilidad y practicidad del uso a largo plazo del dispositivo. Se deben explorar estrategias de gestión de energía y optimización del consumo para mitigar esta limitación y garantizar una duración de batería adecuada para el monitoreo continuo.
- **Escalabilidad:** A medida que aumenta el número de pacientes y dispositivos IoT conectados, es necesario garantizar que la plataforma web y la infraestructura de fog computing puedan manejar eficientemente grandes volúmenes de datos sin comprometer el rendimiento y la seguridad.
- **Accesibilidad:** No todos los adultos mayores pueden tener acceso o habilidades para utilizar la plataforma web y los dispositivos IoT. Se requerirá un esfuerzo adicional en la capacitación y adaptación de la interfaz para asegurar una experiencia de uso inclusiva y accesible.
- **Conectividad:** El dispositivo electrónico utilizado en el proyecto depende de tener acceso a Internet para transmitir los datos recopilados a la plataforma web de monitoreo médico. Si existe una falta de conectividad o una conexión inestable, se verá comprometida la transferencia de datos en tiempo real, lo que puede afectar la eficacia y la precisión del monitoreo médico.

1.5 Marco teórico

El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar una base sólida de conocimientos y conceptos teóricos que respalden el desarrollo de un sistema de monitoreo médico basado en dispositivos IoT y fog computing para mejorar la atención médica a adultos mayores. A continuación, se proporciona una descripción concisa de cada una de estas tecnologías, estableciendo así el fundamento teórico necesario para comprender su aplicación en el contexto de este proyecto.

1.5.1 Fundamentos de IoT en el área de la Salud:

1.5.2 IoMT

Se define IoT como una red de dispositivos físicos interconectados que están equipados con sensores, actuadores y tecnologías de comunicación, permitiendo la adquisición y transmisión de datos de manera automatizada. En el contexto de la salud, IoT se utiliza para habilitar el monitoreo remoto y continuo de los signos vitales y parámetros de salud de los pacientes, mejorando la atención médica y la prevención de enfermedades. Esto es conocido como IoMT (Amazon Web Services, Inc, 2023, June 17).

1.5.3 Características de los dispositivos IoMT

Los dispositivos IoMT, incluyen conectividad a internet, movilidad y portabilidad, y autonomía energética. Estos dispositivos se utilizan en la recopilación de información, análisis, seguimiento y en el intercambio de datos de salud con el objetivo de brindar atención al paciente y mejorar los resultados de la atención médica (Sánchez, 2019).

1.5.4 Sensor Max30102

El sensor Max30102 es un sensor de ritmo cardíaco y oxímetro de pulso integrado en un solo chip. Utiliza la tecnología de fotopleletismografía para medir el ritmo cardíaco y la cantidad de oxígeno en la sangre. Este compacto sensor emplea tecnología LED, específicamente luz roja e infrarroja, para determinar la saturación de oxígeno en la sangre mediante la medición de la luz absorbida. Gracias a su interfaz de Inter-Integrated

Circuit (I2C), facilita la comunicación con microcontroladores, siendo especialmente adecuado para dispositivos alimentados por baterías debido a su bajo consumo de energía. Además, incorpora una función de cancelación de ruido ambiente, lo que potencia la precisión de sus lecturas (“High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health”, 2018).

1.5.5 Sensor MLX 90614

El sensor MLX90614 de Melexis es un dispositivo infrarrojo de medición de temperatura sin contacto, reconocido por su versatilidad y alta precisión. Este sensor, que utiliza la interfaz SMBus para la comunicación con microcontroladores, es capaz de realizar mediciones en un rango extenso de -70 a 380 °C, con un margen de error aproximado de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en el rango de temperatura ambiente. Su capacidad para realizar mediciones sin necesidad de contacto físico con el objeto en estudio le ha permitido encontrar aplicaciones en diversos campos, desde electrodomésticos y sistemas de control de temperatura hasta termómetros de oído sin contacto y sistemas de control heating, ventilation and air conditioning (HVAC) (Llamas, 2016).

1.5.6 Fog Computing

El Fog Computing, es un paradigma de computación distribuida que busca llevar el procesamiento de datos y la computación más cerca de los dispositivos y usuarios finales, en lugar de depender únicamente de la nube centralizada. En el contexto de IoT y aplicaciones de monitoreo médico, el Fog Computing se refiere a la infraestructura y arquitectura que permite realizar el procesamiento de datos de forma descentralizada, en dispositivos periféricos ubicados en la red de dispositivos IoT. El Fog Computing se caracteriza por su enfoque en la proximidad, distribución, capacidad de respuesta y escalabilidad. Busca acercar el procesamiento de datos y la toma de decisiones al lugar de origen de los datos, minimizando la latencia y permitiendo respuestas rápidas en tiempo real. A diferencia de la computación en la nube, distribuye la carga de trabajo entre dispositivos periféricos, lo que mejora la eficiencia y reduce la dependencia de la conectividad constante a la nube. Esto se traduce en una mayor capacidad de respuesta, crucial en aplicaciones médicas que requieren decisiones rápidas y precisas, y garantiza

una escalabilidad eficiente a medida que crece la cantidad de datos y usuarios en entornos de monitoreo médico a gran escala (Atlam, Walters, & Wills, 2018).

1.5.7 Base de Datos No Structured Query Language (NoSQL)

Las bases de datos NoSQL son sistemas de gestión de datos que se apartan del modelo relacional tradicional, optando por estructuras de almacenamiento más flexibles, como clave-valor, documentos, columnas anchas o grafos. Están diseñadas para manejar grandes volúmenes de datos y brindar escalabilidad horizontal, lo que las hace ideales para aplicaciones web y escenarios donde la velocidad, la flexibilidad en la estructura de datos y la capacidad de adaptación son cruciales. Estas bases de datos se utilizan comúnmente en entornos donde la cantidad de datos es considerable y donde las necesidades de acceso rápido y cambio ágil son fundamentales (del Busto & Enríquez, 2012).

1.5.8 Base de datos de series temporales (TSDB)

Una base de datos de series temporales (TSDB) es una base de datos diseñada específicamente para almacenar y gestionar datos que están marcados con información de tiempo, como mediciones o eventos registrados a lo largo del tiempo. Estas bases de datos son especialmente adecuadas para aplicaciones que requieren análisis y seguimiento de datos temporales, como métricas de servidores, monitoreo de aplicaciones, datos de sensores, eventos y más. Su importancia radica en su capacidad para lidiar con la gestión del ciclo de vida de los datos, el resumen y el análisis de grandes volúmenes de registros a lo largo del tiempo, lo que las hace esenciales en un entorno donde la cantidad de datos con marcas de tiempo está en constante crecimiento. Un ejemplo destacado de una base de datos de series temporales es InfluxDB. InfluxDB se creó desde cero para ser una base de datos especialmente diseñada para series temporales (InfluxData, 2023).

1.5.9 Influx DB

InfluxDB, desarrollado por InfluxData, es una base de datos de series de tiempo altamente escalable y eficiente diseñada específicamente para gestionar datos que cambian con

el tiempo, lo cual es esencial en aplicaciones modernas de IoT, monitorización de rendimiento, análisis en tiempo real y telemetría. Combina compresión y almacenamiento en memoria para manejar altas cargas de escritura y lectura de datos por segundo, ofreciendo al mismo tiempo un lenguaje de consulta similar al SQL y la capacidad de realizar análisis en tiempo real. Posee características como precisión a nivel de nanosegundos, políticas de retención de datos integradas, seguridad a través de la autenticación de usuarios y encriptación de datos, y forma parte del TICK stack para una completa solución de manejo de datos de series de tiempo. Esta se presenta como una solución ideal para aplicaciones que requieren un manejo eficiente de los datos en constante cambio (*InfluxDB Documentation*, n.d.).

1.5.10 Esp32

La ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y bajo consumo de energía que combina un procesador de alto rendimiento con capacidades de conectividad Wi-Fi y Bluetooth. Los microcontroladores, como la ESP32, son dispositivos electrónicos integrados que combinan una unidad central de procesamiento (CPU), memoria, periféricos de entrada/salida y otros componentes en un solo chip. Son capaces de llevar a cabo procesos lógicos, y estos procesos o acciones son programados en lenguaje ensamblador por el usuario y se introducen en el microcontrolador a través de un programador (Aguayo, 2004). La ESP32 es desarrollado por Espressif Systems y se utiliza ampliamente en proyectos de IoT debido a su versatilidad y capacidades de comunicación inalámbrica, cuenta con una amplia gama de pines de entrada/salida, lo que permite la conexión y control de una variedad de sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos. Además, se puede programar utilizando diferentes entornos de desarrollo, como el Arduino IDE, lo que la hace accesible para desarrolladores de diferentes niveles de experiencia. Con su combinación de potencia de procesamiento, conectividad inalámbrica y facilidad de uso, la ESP32 es una opción popular para proyectos de IoT y aplicaciones embebidas (“ESP32 Series”, 2019).

1.6 Descripción de escenarios

La telemedicina es un paradigma emergente que utiliza tecnologías de información y comunicación para brindar atención médica a distancia. Este modelo resulta especialmente útil para los adultos mayores, ya que evita la necesidad de acudir a consultas médicas presenciales, lo que puede ser particularmente desafiante para este grupo debido a problemas de movilidad o riesgos asociados con la exposición a enfermedades infecciosas en entornos de atención médica. A continuación, se describen algunos escenarios adicionales donde un sistema de monitoreo para la salud puede ser de utilidad:

1. **Pacientes crónicos en el hogar:** Los pacientes con enfermedades crónicas, como diabetes, hipertensión o enfermedades cardíacas, pueden utilizar un sistema de monitoreo en el hogar para controlar y registrar regularmente sus signos vitales y otros parámetros relevantes. Estos datos se pueden transmitir de forma segura a los profesionales de la salud, quienes pueden monitorear el estado de los pacientes de manera remota y realizar ajustes en el tratamiento según sea necesario. Esto reduce la necesidad de visitas frecuentes al hospital y mejora la gestión de las condiciones crónicas.
2. **Atención en entornos de cuidado a largo plazo:** En centros de atención a largo plazo, como hogares de ancianos o instalaciones de rehabilitación, un sistema de monitoreo de la salud puede ayudar a los cuidadores y profesionales médicos a supervisar de manera más eficiente a los residentes. Puede proporcionar alertas tempranas en caso de caídas, cambios en los signos vitales o anomalías en la salud, lo que permite una intervención oportuna y mejora la seguridad y el bienestar de los residentes.
3. **Seguimiento postoperatorio:** Después de una cirugía, los pacientes a menudo necesitan un seguimiento continuo para evaluar su recuperación y detectar posibles complicaciones. Un sistema de monitoreo de la salud puede permitir a los pacientes informar regularmente sobre su estado, compartir imágenes o informes de seguimiento y recibir instrucciones y recomendaciones de los profesionales de la salud sin necesidad de acudir a consultas presenciales.

4. Salud mental y bienestar emocional: Un sistema de monitoreo también puede ser útil para el seguimiento de la salud mental y el bienestar emocional. Los pacientes pueden registrar sus estados de ánimo, niveles de estrés o síntomas específicos a través de aplicaciones o dispositivos y compartir estos datos con profesionales de la salud mental para recibir apoyo y seguimiento remotos.
5. Programas de estilo de vida y prevención: Los sistemas de monitoreo de la salud también pueden desempeñar un papel en programas de estilo de vida saludable y prevención de enfermedades. Los pacientes pueden registrar datos sobre actividad física, calidad del sueño, ingesta de alimentos, entre otros, y recibir retroalimentación personalizada y consejos de profesionales de la salud para promover hábitos saludables y prevenir enfermedades.

Estos escenarios demuestran cómo un sistema de monitoreo de la salud puede ofrecer una atención más personalizada, eficiente y accesible, mejorando la calidad de vida de los pacientes y permitiendo una gestión proactiva de su salud.

CAPÍTULO 2

2. Estado del Arte

En los últimos años, se ha observado un notable avance en la adopción de tecnologías emergentes, como IoT y el Fog Computing, en el ámbito de la salud. Estas tecnologías han permitido el desarrollo de soluciones innovadoras para el monitoreo y seguimiento inteligente de la salud. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis en el campo del monitoreo inteligente de salud mediante IoT y Fog Computing. Se destacarán las principales tecnologías, enfoques y desafíos existentes en este campo, con un enfoque particular en los beneficios que estas soluciones brindan tanto a los profesionales de la salud como a los adultos mayores.

La propuesta presentada en 2017 sugiere el uso de un sistema de monitorización remota de pacientes a través de algoritmos de aprendizaje automático. Los algoritmos se entrenan con datos de pacientes, tanto sanos como enfermos, provistos por "Physiobank". El sistema se basa en un gateway personalizado ubicado en la capa de Fog Computing, con implementación en dos dispositivos compatibles con Linux: Raspberry Pi Zero y Leston-TKI. Un servidor privado virtual basado en Linux, que se utiliza para el procesamiento de señales, la ejecución de algoritmos y el análisis de datos, con el fin de optimizar el plan de acción mediante la comparación de los ciclos cardiovasculares y la identificación de posibles anomalías en los pacientes. Aunque el sistema logra reducir los tiempos de transmisión de datos de 1326ms a 882ms, se experimenta un aumento en los tiempos de procesamiento de 21 ms a un rango de 74-720 ms, lo cual señala las limitaciones de capacidad de procesamiento de los dispositivos utilizados (Azimi et al., 2016).

Wang Xiaonan tuvo como objetivo desarrollar un sistema de monitoreo para hogares inteligentes que mejore la atención y seguridad de las personas mayores con enfermedades crónicas. Este sistema, que combina tecnologías de Edge Computing e

IoMT, permite supervisar en tiempo real aspectos como la temperatura, calidad del aire y actividad de los individuos mediante sensores estratégicamente ubicados en el hogar. Los datos recogidos se procesan y analizan en dispositivos de Edge Computing cercanos, lo que proporciona respuestas rápidas en situaciones de riesgo. Adicionalmente, el sistema se enlaza de manera segura a dispositivos móviles y sistemas de atención médica para enviar alertas si es necesario. Las evaluaciones realizadas en entornos reales arrojan resultados prometedores en detección de caídas, seguimiento de actividades diarias y detección de condiciones ambientales adversas, destacando así su potencial para mejorar la calidad de vida de las personas mayores mediante un entorno seguro y atención personalizada (Wang & Song, 2023).

En un estudio publicado en 2020 se presenta un sistema de atención médica para pacientes ancianos basado en IoT, Fog Computing y Cloud Computing, diseñado para reducir la latencia en los servicios hospitalarios y proporcionar una interfaz de usuario accesible para los pacientes de edad avanzada. Este sistema integra diversos sensores (movimiento, temperatura, frecuencia cardíaca y fuerza muscular) cuyos datos son enviados a dispositivos de almacenamiento a través de comunicación inalámbrica. Los datos son analizados en tiempo real en la capa de Fog Computing mediante Fog nodes para detectar anomalías, antes de ser enviados a la capa de Cloud Computing. Se desarrolló una interfaz de usuario eficiente para facilitar su uso por parte de adultos mayores o sus médicos de confianza. Aunque el estudio destaca los beneficios de utilizar Fog Computing como una capa intermedia para la transferencia de datos, no se implementan dispositivos para probarlo en la práctica (Sharma & Bhatt, 2020).

Recientemente se realizó un análisis de los beneficios y limitaciones de un sistema de atención médica que incorpora Fog Computing. La infraestructura propuesta en la investigación permite la integración de Fog Computing en las instalaciones de salud, facilitando la comunicación de dispositivos IoT con la capa de Fog Computing por medio de tecnologías como WiFi, ZigBee, 3G o LTE. Estos dispositivos interactúan con nodos de Fog, donde los datos son recolectados y analizados antes de ser enviados a la capa de Cloud, la cual almacena solo los datos procesados en caso de requerir un procesamiento adicional. El estudio concluye que la arquitectura basada en Fog Computing es eficiente en términos de consumo de recursos informáticos y en la reducción del tiempo de transmisión de información (R et al., 2022).

Kentaro Yoshikawa y Masahiro Kuroda exploran el desarrollo de un sistema médico de IoT para individuos con afecciones respiratorias crónicas. Este sistema está centrado en pacientes que utilizan dispositivos médicos como ventiladores artificiales, oxímetros de pulso, aspiradores y concentradores de oxígeno. Se ideó un adaptador portátil para la transmisión de datos de alarma, que envía alertas junto con el estado de encendido del dispositivo a un dispositivo de Edge a través de un conector de llamada de enfermera. Para la transferencia de señales de un ventilador artificial, se optó por una conexión de tipo normalmente cerrada (NC) debido a la relevancia crítica de la pérdida de energía para el paciente. Se abordan desafíos como la integración de operaciones del usuario y la falta de interfaces en dispositivos médicos para la exportación de eventos o datos. Para superar estos obstáculos, se introducen dispositivos médicos IoT y adaptadores inalámbricos que recopilan datos, además de la utilización de comunicación por radio en la banda de 920 MHz y módulos Bluetooth para la transmisión de datos. El sistema se encuentra en evaluación para la identificación precisa de datos y eventos vitales del paciente. El estudio concluye planteando la futura estandarización de las interfaces de los dispositivos médicos para facilitar sistemas integrados de IoT médico (Yoshikawa & Kuroda, 2022).

En el estudio realizado por Çınay Dilibal, se plantea el desarrollo de una arquitectura de computación edge-IoMT con el objetivo de mejorar la eficiencia del ancho de banda y reducir la latencia en un sistema de salud inteligente. Esta arquitectura se compone principalmente de una capa de red, que facilita la conectividad para médicos y pacientes y almacena y protege la información en una base de datos en la nube para dispositivos IoT. Paralelamente, una capa de aplicación se encarga de la gestión de la plataforma médica y proporciona interfaces para simplificar el diagnóstico de los pacientes, incluso permitiendo consultas por video. Para gestionar la gran cantidad de sensores conectados y reducir la latencia en la capa de red, se implementa la infraestructura de Edge computing. Un ejemplo de aplicación de este sistema se realizó mediante un dispositivo para examinar el ojo humano, conectado a través de Wi-Fi, y permitiendo a los médicos realizar diagnósticos a distancia. Los datos recogidos se observaron en la plataforma y solo la información relevante se envió a la nube. En el futuro, los autores planean aplicar esta arquitectura en estudios de casos médicos en situaciones reales y consideran que la tecnología de comunicación 5G podría beneficiar significativamente a la infraestructura

de comunicación de la plataforma (Dilibal, 2020).

Los autores de esta investigación crearon una estructura que posibilita a los sistemas de información clínica (CIS) la recopilación de signos vitales a partir de dispositivos médicos. Introducen el término “devicelet”, que se refiere a componentes de software funcionando como intermediarios entre los dispositivos médicos y los CIS. Además desarrollaron un “devicelet” específico, denominado “haemonet”, para facilitar la recopilación de datos fisiológicos paramétricos desde múltiples monitores de pacientes conectados en red. Este “devicelet” interactúa con los monitores de pacientes por medio de una red que usa Ethernet, IP, UDP y WinSock, alineándose con el modelo OSI. La interfaz del “devicelet” se implementa a través de interacciones COM, una Java API y Dynamic Data Exchange (DDE), cada una adecuada para diferentes tipos de comunicación e intercambio de información. El estudio señala que los proveedores de dispositivos médicos suelen adoptar formatos propietarios para el intercambio de datos y muchos CIS, especialmente los antiguos, no admiten estándares aplicables, lo que representa un desafío importante. No obstante, la implementación del “devicelet” permitió mejorar la interoperabilidad entre los sistemas de información y los dispositivos médicos, facilitando a su vez el desarrollo de herramientas para la recopilación de datos para investigación y auditoría clínica (Sims, Pay, & Watson, 2000).

En el 2018 se propone el uso de Fog Computing e IoT en el ámbito médico para optimizar la decisión sobre qué, cómo y cuándo enviar información en tiempo real. Se presenta una arquitectura que integra Fog Computing con dispositivos IoT médicos, y se aplica un algoritmo de Asignación de Paquetes de Datos Difusos (FDPA) para automatizar la toma de decisiones en los nodos de Fog Computing. Para evaluar el rendimiento de la arquitectura y el algoritmo, se utilizan herramientas de código abierto como Cloud Analyst, y se implementa el algoritmo FDPA en NetBeans y Matlab, optimizando la asignación de paquetes de datos a diversos procesadores de máquinas virtuales. Los datos se clasifican en normal, de bajo riesgo y de alto riesgo, y se envían a SPARK, otro software de código abierto para gestionar grandes flujos de datos en tiempo real. Estos datos provienen de sensores corporales portátiles y se combinan con datos antiguos del paciente para obtener una visión en tiempo real de su estado de salud. En caso de situación crítica, se envía una notificación junto con el informe médico a los servicios médicos. Si bien se espera que el algoritmo FDPA asigne los paquetes a diversas máquinas virtuales en la

capa de fog, no se realiza un análisis con datos biomédicos de pacientes en tiempo real (Shukla, Hassan, Jung, & Awang, 2018).

Este trabajo se enfoca en el creciente uso de aplicaciones de IoT en diversos campos y la consiguiente necesidad de simuladores para replicar entornos de la vida real y experimentar con sistemas de IoT. En este contexto, se examinan y comparan diferentes simuladores disponibles para aplicaciones IoT, considerando factores como su lenguaje de programación, accesibilidad y tipo de construcción. Algunos simuladores, como CloudSim y GreenCloud, se enfocan en aspectos de la nube como el consumo de energía y el aprovisionamiento de recursos. Otros, como SimIoT y MobIoTsim, proporcionan capacidades de simulación para escenarios de IoT y big data. Por otro lado, simuladores como FogNetSim ++ e iFogSim están diseñados para modelar entornos de fog computing, con características como topologías de red y asignación dinámica de componentes. La mayoría de estos simuladores están dominados por el lenguaje de programación Java, pero se observa un interés creciente en las bibliotecas de Python. El estudio también destaca los desafíos y futuras direcciones de investigación en simuladores, como la escalabilidad, la seguridad y la aplicación de simuladores en servicios de salud. En resumen, los simuladores juegan un papel crucial en la evaluación y comprensión de las implementaciones de IoT antes de su aplicación real, y los avances futuros en simuladores contribuirán al desarrollo de tecnologías de IoT y fog computing (Bajaj, Sharma, & Singh, 2022).

En la investigación Boutros y SaikaliUna del 2018, se propone una plataforma IoMT desarrollada sobre scriptr.io, diseñada para agilizar el desarrollo de aplicaciones de monitoreo de salud. Esta plataforma afronta tres desafíos clave: interoperabilidad, integración y seguridad. Con respecto a la interoperabilidad, la plataforma ofrece conectores estandarizados para diferentes dispositivos de salud, proporcionando a los desarrolladores una interfaz unificada que elimina la necesidad de lidiar con múltiples formatos de datos y APIs. En cuanto a la integración, la plataforma cuenta con una capa de transformación que convierte los datos normalizados en formatos estandarizados, como Open mHealth (OmH) o Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR), facilitando así la integración con sistemas externos, incluidos los sistemas de información sanitaria. En términos de seguridad, la plataforma se apoya en scriptr.io, que ofrece control de acceso detallado, transmisión de datos encriptados y conformidad con

normativas como la HIPAA. Adicionalmente, la plataforma incluye funcionalidades como reglas y acciones, para permitir la implementación de escenarios específicos de atención médica. Un ejemplo de aplicación práctica es “Virtual Doctor”, una prueba de concepto que demuestra el potencial de la plataforma para monitorear datos biométricos, identificar anomalías y ofrecer recomendaciones a los pacientes (Boutros-Saikali, Saikali, & Naoum, 2018).

2.0.1 Metodología

El escenario de salud en Ecuador ha resaltado la necesidad de brindar atención de calidad y a tiempo a los adultos mayores con enfermedades crónicas y alto riesgo cardiovascular. Las dificultades de acceso a la atención médica, agudizadas por la falta de recursos y la ubicación geográfica, limitan la capacidad de estas personas para recibir atención adecuada. En respuesta a estos desafíos, se presenta una metodología que involucra diversas tecnologías y disciplinas. Se espera demostrar cómo las tecnologías de vanguardia pueden usarse para mejorar la calidad de vida de los adultos mayores, permitiéndoles monitorear su salud de manera efectiva y segura desde la comodidad de sus hogares y proporcionando a los profesionales de la salud las herramientas necesarias para brindar atención oportuna. Además, en la Figura 2.1 se mostrará el diseño del proyecto, que visualmente representará la arquitectura y los componentes clave de la solución. Esta figura servirá como una guía visual para comprender la estructura de los elementos tecnológicos que componen la propuesta.

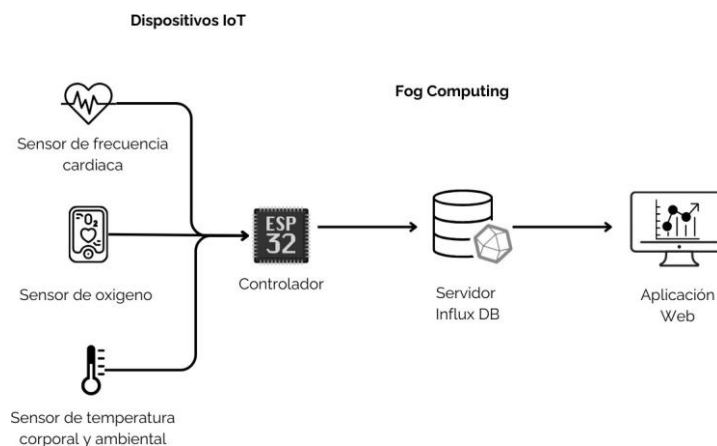


Figura 2.1: Arquitectura del proyecto

2.0.2 Selección de sensores y otros componentes

Para la medición de temperatura, se eligió el sensor MLX90614 debido a su capacidad para realizar mediciones de temperatura sin contacto directo mediante tecnología infrarroja. Esto es beneficioso por varias razones: minimiza el riesgo de transmisión de enfermedades, mejora la comodidad del paciente al no requerir contacto físico, y permite obtener mediciones precisas y constantes. Además, este sensor es ampliamente utilizado en aplicaciones médicas, lo que respalda su fiabilidad y precisión.

El sensor MAX30102 fue seleccionado para medir el nivel de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardíaca. Este sensor combina dos características críticas de monitoreo de salud en un solo dispositivo, lo que minimiza la cantidad de hardware necesario. Su capacidad para medir de forma precisa y continua el oxígeno en la sangre y la frecuencia cardíaca contribuye a un seguimiento en tiempo real y a la detección temprana de posibles problemas de salud.

La elección de una pantalla organic light-emitting diode (OLED) se basó en su capacidad para proporcionar una visualización clara y fácil de entender de los datos recopilados en tiempo real. Esto permite que los pacientes puedan monitorear su propia salud y entender sus parámetros vitales. El uso de la tecnología OLED garantiza que la pantalla sea brillante y clara, incluso en condiciones de poca luz, y que consuma poca energía, lo que es crucial para mantener la vida útil de la batería del dispositivo.

El microcontrolador ESP32 fue seleccionado debido a su alta capacidad de procesamiento y su compatibilidad con una amplia gama de sensores y componentes. Permite recoger los datos de los sensores, presentarlos en la pantalla OLED y enviarlos a la base de datos. Además, es compatible con WiFi, lo que facilita la comunicación de datos en tiempo real a la base de datos para su posterior análisis.

Finalmente, se seleccionó una batería de litio de 3.7 voltios para alimentar el dispositivo debido a su larga vida útil, eficiencia energética y capacidad para alimentar todos los componentes del dispositivo. La elección de una batería de litio también permite que el dispositivo sea portátil, lo que es vital para garantizar que los pacientes puedan utilizarlo en cualquier lugar y en cualquier momento.

2.0.3 Diseño del circuito en la placa PCB

Diseñar un circuito en una placa Printed Circuit Board (PCB) requiere considerar varios factores, incluyendo la funcionalidad, la eficiencia, la confiabilidad y el costo. Para este proyecto, la placa está diseñada para conectar y permitir la comunicación del microcontrolador ESP32, los sensores MLX90614 y MAX30102, la pantalla OLED y la batería de litio.

- **Microcontrolador ESP32:** Este es el núcleo del circuito, ya que controlará todos los otros componentes. Los pines de GPIO 21 y 22, mismos que son la línea de datos (SDA) y la línea de reloj (SCL) del ESP32 que se utilizarán para establecer conexiones con los sensores y la pantalla OLED.
- **Sensor MLX90614:** Utiliza comunicación I2C. Por lo tanto, se conecta a los pines correspondientes de SDA y SCL en el ESP32.
- **Sensor MAX30102:** Este sensor también utiliza la comunicación I2C. Se puede conectar a los mismos pines SDA y SCL en el ESP32. Sin embargo, debido a que ambos sensores (MLX90614 y MAX30102) utilizan la misma interfaz, se debe asegurar de que tengan diferentes direcciones I2C para evitar conflictos.
- **Pantalla OLED:** Este componente también se conectará a los pines SDA y SCL del ESP32, ya que utiliza la comunicación I2C. Nuevamente, hay que asegurar de que su dirección I2C no entre en conflicto con las de los sensores.
- **Batería de litio:** El ESP32 puede funcionar con una tensión de alimentación de 3.3V a 3.7V, lo que hace que sea compatible con la batería de litio de 3.7V. Conecta la batería a los pines de alimentación del ESP32. Asegúrate de tener en cuenta la polaridad correcta para evitar daños.

2.0.4 Programación del microcontrolador ESP32

El código realiza diversas tareas esenciales para el monitoreo de la salud de un paciente y la transmisión de estos datos a una base de datos en tiempo real. En la Figura 2.2, se muestra la lógica del algoritmo que se utiliza para la programación del proyecto.

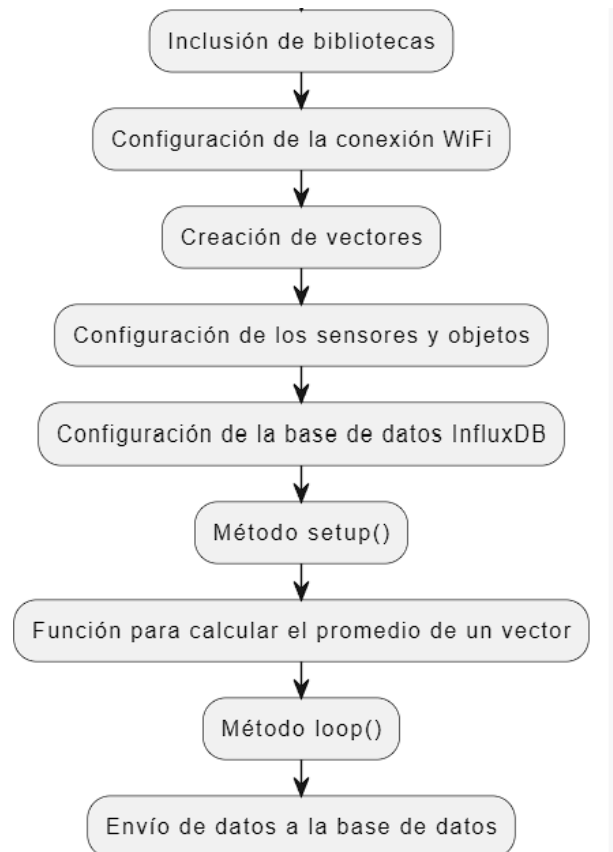


Figura 2.2: Diagrama de flujo de monitoreo de salud en tiempo real

Inicialmente, se incluyen en el código las bibliotecas esenciales para el correcto funcionamiento del sistema. Estas bibliotecas abarcan funcionalidades para la conexión WiFi, la operación de los sensores, la interfaz de la pantalla OLED y la interacción con la base de datos InfluxDB. Posteriormente, se establece la conexión WiFi mediante la definición de las credenciales de la red. A continuación, se crean vectores para almacenar las lecturas del nivel de oxígeno (SpO2), frecuencia cardíaca, y las temperaturas del paciente y del ambiente, recogidas por los sensores. En cuanto a la configuración de los sensores y objetos, se inicializan los sensores Max30102 y Mlx90614, así como la pantalla OLED. Paralelamente, se establece la conexión con la base de datos InfluxDB y se selecciona la base de datos específica a la que se enviarán los datos. El método `setup()` se encarga de inicializar la comunicación serial y la conexión WiFi, así como de

iniciar los sensores y la pantalla OLED. Además, se implementa una función para calcular el promedio de los valores en un vector, que será útil para el procesamiento de los datos recogidos. El núcleo del sistema reside en el método `loop()`, que se ejecuta de manera continua tras el método `setup()`. Este método actualiza las lecturas del oxímetro, verifica la presencia de un dedo en el sensor, recoge y procesa los datos de los sensores, los muestra en la pantalla OLED y los envía a la base de datos InfluxDB. Finalmente, tras calcular el promedio de las lecturas recogidas durante un intervalo de 30 segundos, estos promedios se envían a la base de datos InfluxDB para su posterior análisis.

2.0.5 Arquitectura de la TSDB

Los dispositivos IoMT se caracterizan por la generación constante de grandes cantidades de datos a partir de diversos dispositivos conectados. Sin embargo, el verdadero valor no reside en los dispositivos en sí, sino en los datos que estos generan y recopilan. Estos datos son esenciales para proporcionar un monitoreo de salud preciso y en tiempo real, lo que permite una intervención temprana y una mejor atención al paciente. Aquí es donde InfluxDB entra en juego, la cuál es una base de datos de series temporales (TSDB) de código abierto que se ha diseñado específicamente para manejar métricas con marca de tiempo y eventos o mediciones. En este caso, cada lectura de los sensores y cada actualización de la pantalla OLED puede considerarse un evento con una marca de tiempo. InfluxDB se destaca por su capacidad para agregar valores en tiempo real sin ninguna interferencia manual. Esto es crucial, ya que permite analizar los datos de salud en tiempo real y proporcionar retroalimentación inmediata a través de la pantalla OLED (Nasar & Kausar, 2019). En la actualidad Influx DB es la mejor opción para el proyecto, ya que se ha mantenido como la base de datos de series temporales superior según el ranking de DB-Engines, lo que demuestra su eficacia y popularidad en el manejo de datos de series temporales. Además, ofrece una API HTTP y bibliotecas para trabajar con la base de datos, lo que facilita su integración con el sistema de IoMT propuesto (*DB-Engines. Db-engines ranking, 2023*). Los datos se estructuran en medidas, series y puntos, donde cada punto consta de varios pares de valores clave llamados `fieldset` y una marca de tiempo. Los puntos se indexan según su conjunto de etiquetas y su marca de tiempo. En particular se tendrá un punto llamado "Paciente" en donde llegará todos los datos de aque paciente y 5 `fielset`, los cuáles serán un id único para cada paciente, y

los 4 restantes serán los valores generados por el dispositivo y serán la temperatura del paciente, la temperatura ambiente, el nivel de oxígeno y el ritmo cardíaco. La transmisión de estos se da debido a InfluxDB utiliza TCP, HTTP y UDP para almacenar información, lo que permite una amplia gama de opciones para la ingestión de datos. Integrando los componentes previamente descritos, se ha conformado el diagrama de despliegue del proyecto. Este diagrama sintetiza visualmente la arquitectura y configuración del sistema, proporcionando una visión clara de cómo los diferentes elementos interactúan y se comunican entre sí. Al reflejar las interacciones cliente-servidor, los protocolos involucrados y la infraestructura de red.

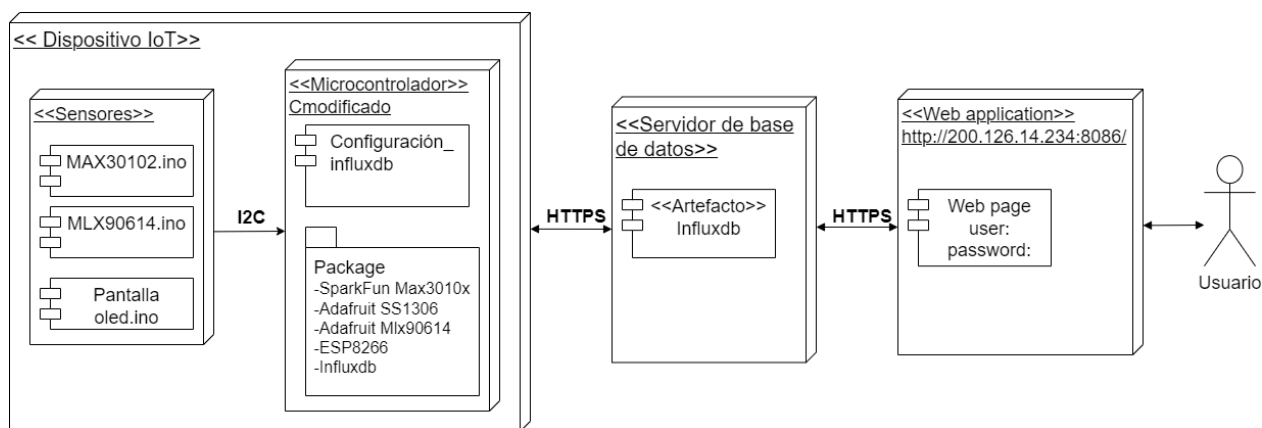


Figura 2.3: Diagrama de despliegue

2.0.6 Edge computing y fog computing

Para la realización del proyecto se aprovecha tanto el edge computing como el fog computing para optimizar la recopilación, procesamiento y transmisión de datos. La primera fase del sistema implica el edge computing, donde los sensores Mlx90614, Max30102 y Esp32 recopilan datos de temperatura, ritmo cardíaco y nivel de oxígeno en la sangre del paciente. Estos sensores están en el “orilla” de la red, es decir, en el borde de la arquitectura de computación. La placa Esp32, que actúa como microcontrolador, procesa esta información a nivel local, lo que reduce la latencia y permite un tiempo de respuesta casi en tiempo real. Esta inmediatez es esencial en aplicaciones de salud, donde incluso las fracciones de segundo cuentan. Después de que los datos se procesan en la Esp32, se envían a la base de datos InfluxDB para su posterior análisis y almacenamiento. Esta base de datos está alojada en un servidor local en la universidad, en la ip 200.126.14.234:8086, esta es la fase de fog computing de la arquitectura del

proyecto, donde los datos procesados se envían a un nodo más cercano (servidor local) para un procesamiento adicional. En lugar de enviar datos directamente a la nube, los cuales podrían consumir un ancho de banda considerable y tener tiempos de respuesta más lentos, se opta por el fog computing para mantener la eficiencia y rapidez del sistema. El fog computing permite aprovechar los recursos computacionales y de almacenamiento del servidor local de la universidad, manteniendo los datos en la red local y mejorando la privacidad. Además, permite un análisis más sofisticado de los datos recolectados que podría no ser posible en el dispositivo de borde debido a las limitaciones de potencia y capacidad de procesamiento.

2.0.7 Manejo de errores y filtración de datos

En el monitoreo de la salud y en la adquisición de datos en general, la precisión y confiabilidad de los datos son de suma importancia. Los sensores, aunque puedan llegar a ser muy avanzados, están sujetos a una variedad de fuentes de error y ruido. Por ejemplo, el entorno físico puede afectar las lecturas del sensor: cambios en la temperatura, interferencia electromagnética o incluso obstrucciones físicas pueden causar errores en las lecturas de los sensores. Además, los sensores pueden tener errores inherentes debido a las limitaciones de su diseño y fabricación. Por ejemplo, la precisión del sensor de temperatura Mlx90614 puede verse afectada por el calentamiento del propio sensor durante el funcionamiento (Llamas, 2016). Del mismo modo, el sensor Max30102 puede verse afectado por el movimiento del dedo del paciente, la presión arterial variable o la luz ambiental (“High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health”, 2018). Dado que se está tratando con datos de salud, es esencial que se manejen estos errores y se filtre los datos aberrantes, también permite mejorar la precisión de los datos recopilados, lo que a su vez mejora la confiabilidad del sistema de monitoreo de salud. Esto es crucial para garantizar que los profesionales de la salud tomen decisiones informadas y precisas basadas en los datos recopilados. La filtración de datos implica la eliminación de lecturas que son inusualmente altas o bajas (valores aberrantes) y podrían sesgar el análisis de los datos. En el código, se implementa una sencilla verificación de condiciones para filtrar lecturas de SpO2 entre un rango de 0 a 100 y el ritmo cardíaco en un rango de entre 30 y 250. Estos valores se obtuvieron basados en la documentación del dispositivo Pulsoxímetro OXY-2, creado

por la compañía GIMA, que crea productos profesionales médicos, el cuál maneja estos desafíos, también indica que hay que tener en cuenta factores como la colocación correcta del dedo, el movimiento del paciente y la interferencia de la luz ambiental para asegurar lecturas precisas de la SpO2 y la frecuencia del pulso (“PULSOXIMETRO OXY-2”, n.d.).

2.0.8 Creación de dashboards para la visualización de datos

Una parte crítica es la visualización de los datos sensados. Esto es especialmente importante en el contexto de la atención médica, donde los profesionales de la salud necesitan acceder a información precisa y oportuna para tomar decisiones críticas. Para lograr esto, se crea un tablero de control (dashboard) en InfluxDB. Primero, se configura un punto de datos denominado “Paciente”, que se encarga de recopilar los datos de los sensores, específicamente la temperatura corporal, la temperatura ambiental, el SpO2 y la frecuencia cardíaca, adicionalmente se agrega un tag en dónde se ve un id único para el MVP. Los datos son esenciales para el monitoreo de la salud de los pacientes y su estado fisiológico. La Esp32 realiza una la recopilación y procesamiento de los datos, durante un período de 15 segundos, estos indicadores se almacenan en listas separadas, una para cada tipo de indicador, y se filtran tal como se explicó detalladamente en la sección 2.0.7, titulada “Manejo de errores y filtración de datos”. Luego de este período, la Esp32 obtiene el promedio de todos los valores almacenados en cada una de las listas correspondientes. Estos promedios representan los valores de los indicadores de salud durante 15 segundos. Posteriormente, los valores se transmiten a InfluxDB. Para cada punto de datos, se crea un panel individual en el tablero de control. Estos paneles muestran la información en tiempo real y permiten observar su evolución a lo largo del tiempo. Para lograrlo, InfluxDB ofrece diversas funcionalidades de visualización, como gráficos de líneas, de barras y de área, entre otros. Además, el tablero de control se puede configurar para mostrar datos históricos. Esto es útil para el seguimiento a largo plazo de la salud de los pacientes y para identificar cambios significativos o tendencias en los datos. Finalmente, InfluxDB ofrece funcionalidades avanzadas, como alertas y notificaciones, que se pueden configurar para informar a los usuarios cuando algún dato supere los umbrales o condiciones establecidas.

2.0.9 Exportación de datos

En este proyecto, se ha empleado el formato de los archivos Comma Separated Values (CSV) para exportar los datos procesados de InfluxDB. Esto se logra seleccionando la opción de exportar en el tablero de control de InfluxDB, lo que permite elegir un rango de tiempo específico para la exportación. Una vez que se ha generado el archivo CSV, se procede a importarlo en un entorno de programación, como Jupyter Notebook (InfluxData, 2023). Jupyter Notebook es una herramienta de código abierto basada en la web que permite crear documentos interactivos que contienen código en vivo, ecuaciones, visualizaciones y texto explicativo (*Jupyter Project*, 2015).

En este entorno de programación, se utilizan varias bibliotecas como : pandas, matplotlib, seaborn, que son herramientas de manipulación, visualización y análisis de datos en Python. Una vez que los datos se encuentran cargados en el dataframe, entre las acciones que se realizan se incluyen la limpieza y la estandarización de los datos; análisis estadísticos; creación de visualizaciones. Este proceso permite obtener información valiosa a partir de los datos recopilados, lo que contribuye significativamente a la comprensión de la salud de los pacientes y a la toma de decisiones médicas fundamentadas.

2.0.10 Interpretación del análisis

La interpretación de los resultados del análisis de los datos de los sensores es un paso crucial en el proyecto, pues permite identificar patrones y anomalías que podrían indicar el estado de salud de un paciente. En este análisis, se calcularon estadísticas descriptivas, como la media, mediana y desviación estándar, para cada una de las variables medidas, como SpO2, ritmo cardíaco, temperatura corporal y temperatura ambiental. Estas estadísticas proporcionaron una comprensión general de la distribución de los datos. Además, se llevó a cabo un análisis de correlaciones para identificar posibles relaciones entre las variables. Esto fue posible gracias a las librerías de pandas, matplotlib y seaborn, que tiene jupyter para poder visualizar el resultado de los datos en gráficos, histogramas, ver valores aberrantes, a través de un boxplot. Es importante destacar que estas interpretaciones son hipotéticas y deben ser validadas por expertos médicos antes de tomar cualquier decisión en la atención médica del paciente. El uso adecuado de los

datos de los sensores es esencial para garantizar una atención de salud efectiva y segura.

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

En este capítulo, se busca ofrecer una visión comprensiva de cómo se materializaron las propuestas teóricas y cómo estas se traducen en resultados tangibles y analizables. A continuación, se detallan los resultados a lo largo del trabajo. Primero, se discute el diseño y construcción de dispositivo. Posteriormente, se presenta la configuración y estructura de los dashboards en InfluxDB. En la tercera sección, se explora la estructura y funcionalidad de la base de datos “Indicadores de Salud”, se explica el diseño, el método de acceso y visualización de datos por paciente. Finalmente, se explica el proceso de exportación y análisis de estos datos, a través de Jupyter Notebook.

3.0.1 Diseño y construcción del dispositivo

Inicialmente, el prototipo estaba dispuesto en una protoboard, siendo alimentado directamente desde una laptop mediante un cable micro USB. Esta configuración, si bien fue útil para las fases iniciales de experimentación, no era óptima desde el punto de vista de portabilidad y autonomía energética. Al evaluar las necesidades de alimentación para la totalidad de los componentes del circuito, se notó que una única batería de litio de 3.7 V no ofrecía el suministro necesario. Esta limitante condujo a implementar dos baterías de igual voltaje en serie, incrementando así el suministro total a 7.4 V. Sin embargo, se enfrentó un reto técnico, pues el Esp32 tiene una capacidad máxima de entrada de 5 V. Exceder este límite podría comprometer su funcionamiento o incluso dañar el componente. Para resolver este desafío, se incorporó un regulador de voltaje, específicamente el LM7805. Este regulador garantiza una salida constante de 5 V, adaptándose así a las necesidades del Esp32. Adicionalmente, se incorporó un diodo 1N4007 con el propósito de regular y proteger contra posibles picos de voltaje. El diseño

se completó con la adición de dos capacitadores que contribuyen a estabilizar y filtrar la tensión de entrada, asegurando una alimentación más limpia y consistente a todos los componentes. Todo el diseño del circuito y la disposición de los componentes fue realizado en el software Proteus, una herramienta que permitió simular, validar y visualizar el funcionamiento antes de la fase de producción. En la Figura 3.1 se muestra el diseño, que posteriormente fue llevado al proceso de impresión de la placa PCB.

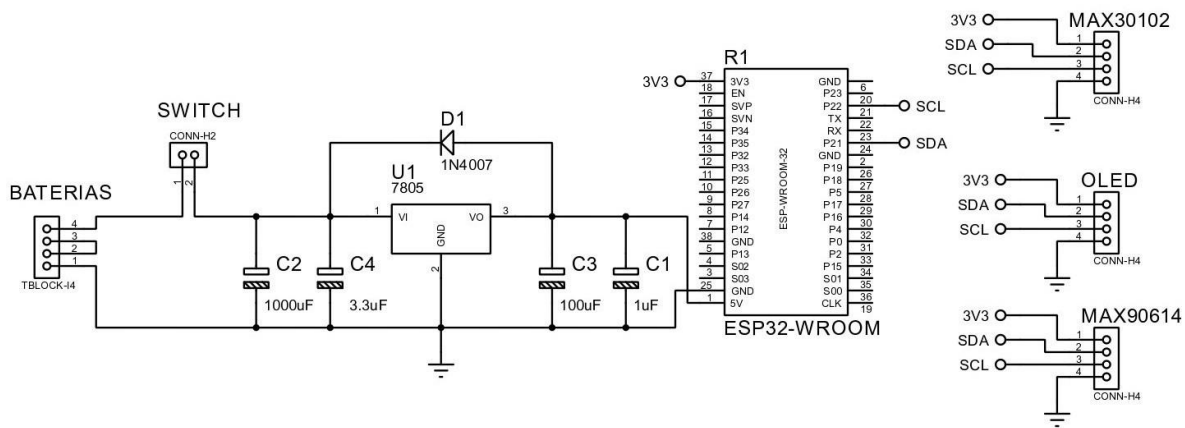


Figura 3.1: Conexiones del circuito

Además, se diseñó una estructura específica para alojar tanto la placa PCB como los sensores integrados de manera segura y funcional. En este proceso de diseño, se empleó Fusion 360, una herramienta avanzada de modelado 3D. El resultado de este diseño no solo proporciona un espacio preciso para la placa, sino que también incorpora ubicaciones estratégicas para los sensores, asegurando su operatividad y protección. Para la fabricación de esta estructura, se eligió el ácido poliláctico (PLA) como material. El PLA es conocido por su combinación de resistencia y ligereza, lo que lo convierte en una elección adecuada para dispositivos que pueden ser transportados o manejados con regularidad. Para el color, se seleccionó el blanco para la estructura, que, en el ámbito de la salud, se asocia tradicionalmente con limpieza, pureza y esterilidad. Además, este color tiene la ventaja de no absorber un exceso de calor, lo que puede ser fundamental para mantener la integridad y el funcionamiento adecuado de los componentes electrónicos (BEATRIZ BENÉITEZ BURGADA, 2022). La disposición de los sensores se planificó teniendo en cuenta la comodidad del usuario final. La pantalla OLED se encuentra en la parte superior de la estructura, lo que permite al paciente ver la pantalla en todo momento. El sensor Max30102 se ubicó en la parte media, y finalmente, el sensor Mlx30614 se

posicionó en la parte inferior. Esta disposición permite al paciente simplemente colocar un dedo sobre el dispositivo, y de manera casi inmediata, comenzar a recopilar todos los datos necesarios. Para una representación visual detallada de esta disposición, consulte la figura 3.2 correspondiente, que muestra la ubicación precisa de cada componente y sensor, demostrando la eficiencia y practicidad del diseño.

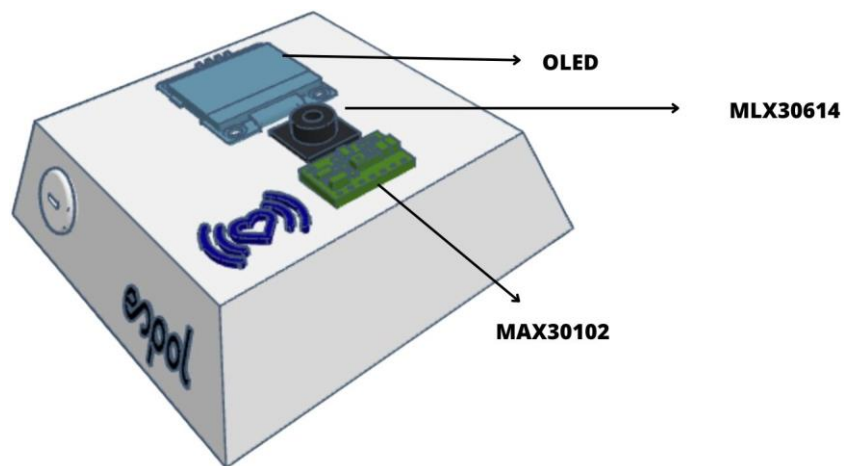


Figura 3.2: Diseño de enclosure en 3D

3.0.2 Configuración de InfluxDB y dashboards

La gestión de dashboards desempeña un papel fundamental en la creación de visualizaciones personalizadas para satisfacer los requisitos específicos del monitoreo de salud. Para llevar a cabo esta configuración, se utilizó la interfaz de administración de InfluxDB, generando un dashboard dedicado a cada indicador. Dentro de cada uno de estos dashboards, se crearon paneles individuales diseñados para representar los datos en tiempo real. Estos paneles se configuraron haciendo uso de la funcionalidad nativa de InfluxDB para crear una variedad de visualizaciones, como gráficos de líneas, barras, medidores (gauge) y estadísticas (stat). Además de las representaciones visuales, se establecieron alertas y notificaciones específicas que permiten informar a los usuarios de manera inmediata cuando los valores de los indicadores de salud superan umbrales o condiciones predefinidas, lo que resulta crucial para garantizar una respuesta rápida en

situaciones críticas. A continuación, se detallará la configuración y la representación de cada uno de estos dashboards, brindando una vista integral de los datos de salud clave.

1. Nivel de oxígeno:

Este dashboard proporciona información instantánea y fácilmente comprensible sobre el estado del oxígeno en sangre del paciente. La posición de la flecha en el gráfico proporciona una indicación clara del nivel de oxígeno en sangre. Si la flecha apunta al segmento rojo (valor menor a 85), esto señala un nivel insuficiente de oxígeno en sangre, lo cual representa una situación de urgencia para el usuario. Cuando la flecha apunta al segmento amarillo (valor entre 85 y 92), se trata de una señal de precaución. Por otro lado, si la flecha se encuentra en el segmento verde (valor mayor a 92), indica que el nivel de oxígeno es adecuado. La Figura 3.3 es una representación de lo anteriormente mencionado.



Figura 3.3: Representación del nivel de oxígeno

2. **Pulsaciones por minuto:** Este gráfico proporciona una visualización de la variación temporal de las pulsaciones junto con el valor exacto de la última medición. En este

gráfico, las pulsaciones se codifican visualmente para una comprensión rápida: las pulsaciones por debajo de 45 se destacan en rojo, las que están entre 45 y 50 en amarillo, las que caen entre 50 y 100 se muestran en verde y aquellas que superan las 100 se resaltan nuevamente en amarillo. Además como se observa en la Figura 3.4, el eje de las x representa el tiempo, mientras que el eje de las y representa las pulsaciones por minuto, lo que permite una interpretación clara de la información temporal y del estado de las pulsaciones del paciente.



Figura 3.4: Representación de las pulsaciones por minuto.

3. **Temperatura Ambiental:** Dependiendo del rango de temperatura, el color cambia: azul si es menor a 25°C, amarillo entre 25°C y 35°C y rojo si supera los 35°C. Esta codificación cromática busca captar rápidamente la atención del usuario ante posibles situaciones de riesgo, tal y como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.5: Representación de la temperatura ambiental.

4. **Temperatura Corporal:** Al igual que la temperatura ambiental, también habrá un rango de temperatura, si el valor supera los 38°C, podría existir una hipertermina, por lo que el color será el rojo; si se encuentra entre 30°C y 38°C en verde, finalmente menor a 30°C en amarillo, como se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6: Representación de la temperatura corporal.

Los dashboards, además de proporcionar una visualización inmediata de los indicadores, facilitan la comprensión y toma de decisiones por parte del usuario. Su diseño, basado en colores y tipos de gráficos específicos, busca garantizar una experiencia intuitiva y una interpretación rápida de la información, contribuyendo así al cuidado y monitoreo eficaz de la salud. Se ha aplicado una analogía con los colores de los semáforos: cuando las gráficas son de color verde, indican que los valores son adecuados; si son de color amarillo, representan precaución; y si se tornan rojas, indican un estado de alerta, lo que permite al usuario identificar de manera instantánea la situación de cada indicador de salud y tomar medidas apropiadas en consecuencia.

3.0.3 Estructura de la base de datos

La creación del esquema de la base de datos en InfluxDB se enfocó en proporcionar una organización sistemática y jerarquizada de la información para optimizar la búsqueda y el acceso a los datos de salud. En la sección “Data” de la plataforma, se accedió a la opción “Buckets”, donde se configuró la base de datos denominada “IndicadoresSalud”,

que alberga los registros médicos de los pacientes. Dentro de “IndicadoresSalud”, se estableció la categoría “measurement” que se utiliza para identificar de manera única a cada paciente mediante su número de cédula. Al seleccionar un número de cédula específico, el sistema despliega una ventana que presenta los cuatro indicadores de salud monitoreados: nivel de oxígeno, pulsaciones por minuto, temperatura corporal y temperatura ambiental. El usuario tiene la flexibilidad de elegir cualquier indicador para visualizar su historial, tal como se ilustra en la figura 3.7. Un aspecto fundamental de esta plataforma es su capacidad para filtrar datos temporalmente. Una vez que se accede al registro de un indicador en particular, el usuario puede ajustar el rango temporal de los datos visualizados. Esto permite examinar registros recientes, como los últimos 5 segundos, o extender la ventana temporal hasta 30 días atrás. Esta característica facilita el análisis comparativo y la monitorización de tendencias durante el período seleccionado, lo cual resulta fundamental para el seguimiento médico y la detección temprana de posibles irregularidades en la salud de los pacientes.

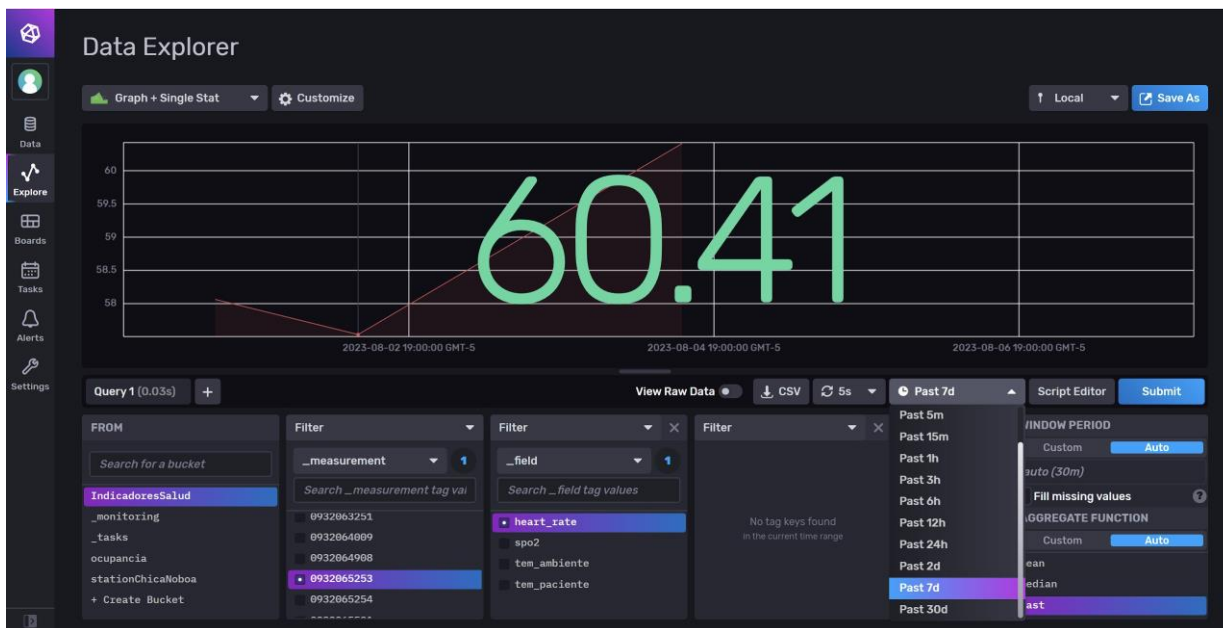


Figura 3.7: Esquema de la base de datos.

3.0.4 Análisis de datos

La plataforma InfluxDB ofrece una funcionalidad esencial para la exportación de datos, donde se destaca la opción de utilizar el formato CSV. Los usuarios tienen la flexibilidad de seleccionar el período de tiempo que desean exportar, que varía desde los últimos

5 segundos hasta los últimos 30 días. Además, pueden elegir pacientes específicos y determinar qué indicadores de salud se incluirán en la exportación. Una vez que los datos se exportan en archivos CSV, se procede al análisis utilizando Jupyter Notebook, una herramienta ampliamente reconocida en el campo del análisis de datos y la ciencia de datos. El primer paso implica el preprocesamiento de los datos, lo que incluye tareas de limpieza, validación, estandarización y curación para asegurar que los datos estén en un formato adecuado para el análisis. A continuación, se realiza una estadística descriptiva para profundizar en la comprensión de los indicadores de salud de los pacientes. En esta etapa, se generan histogramas que muestran las frecuencias de los valores más comunes para cada indicador. Por ejemplo, la figura 3.8 representa el histograma de las pulsaciones por minuto (heart rate), donde el eje X representa los valores del ritmo cardíaco y el eje Y la frecuencia de ocurrencia de cada valor. En este contexto, se pueden establecer rangos comunes para los valores de ritmo cardíaco y explicar cómo se relacionan con la salud del paciente. De manera similar, las figuras 3.9, 3.10 y 3.11 representan histogramas para el nivel de oxígeno, la temperatura corporal y la temperatura ambiental, respectivamente. En cada caso, el eje X muestra los valores correspondientes al indicador, mientras que el eje Y muestra la frecuencia de ocurrencia. Es importante destacar que estos histogramas ayudan a identificar patrones y tendencias en los datos de salud, lo que es esencial para el análisis médico y la detección temprana de posibles anomalías.

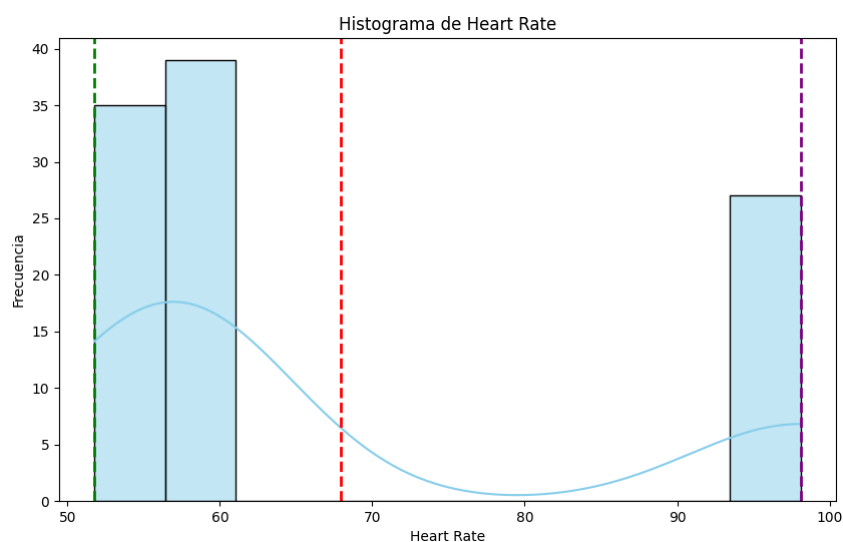


Figura 3.8: Histograma del Heart Rate.

La Figura 3.8 es un histograma que representa la frecuencia cardíaca en reposo de un grupo de individuos. La frecuencia cardíaca en reposo normal para adultos, según [mayoclinic.org](https://www.mayoclinic.org), generalmente oscila entre 60 y 100 latidos por minuto (Clinic, 2022). En el eje horizontal del histograma, se representan los valores de la frecuencia cardíaca en latidos por minuto. Esto significa que cada barra en el histograma representa un rango específico de frecuencia cardíaca. En el eje vertical del histograma, se representa la frecuencia o cantidad de personas que tienen una frecuencia cardíaca dentro de cada rango específico. En otras palabras, muestra cuántas personas del grupo de estudio tienen una frecuencia cardíaca en ese rango particular. Las barras del histograma representan visualmente la distribución de la frecuencia cardíaca en el grupo de individuos. Cada barra representa un intervalo de frecuencia cardíaca. En este caso, la Figura 3.8 muestra que la mayoría de las personas tienen una frecuencia cardíaca que cae dentro del rango de 50 a 100 latidos por minuto. Esto significa que la mayoría de las personas en el grupo de estudio tienen una frecuencia cardíaca dentro de la zona de salud esperada.

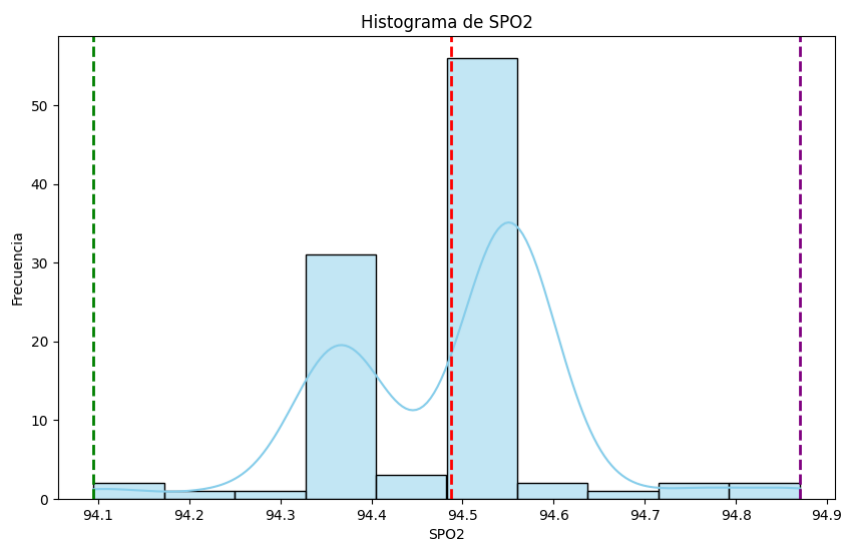


Figura 3.9: Histograma del SPO2.

La Figura 3.9 es un histograma que representa los niveles de saturación de oxígeno en un grupo de individuos. Según el artículo de American Lung Association, si usa un oxímetro en el hogar y su nivel de saturación de oxígeno es del 92 % o menos, debe comunicarse con su profesional de la salud. Si baja al 88 % o menos, busque atención médica inmediata (Association, 2023). En el eje horizontal del histograma, se

representan los valores del nivel de saturación de oxígeno en porcentaje (%). Cada barra en el histograma representa un rango específico de niveles de saturación de oxígeno. En el eje vertical del histograma, se representa la frecuencia o cantidad de personas que tienen un nivel de saturación de oxígeno dentro de cada rango específico. Muestra cuántas personas del grupo de estudio tienen un nivel de saturación de oxígeno en ese rango particular. Las barras del histograma representan visualmente la distribución de los niveles de saturación de oxígeno en el grupo de individuos. Cada barra representa un intervalo de niveles de saturación de oxígeno. En este caso, la figura muestra que el rango más frecuente se encuentra entre 94.1 % y 94.9 %, siendo 94.5 % el valor más común.

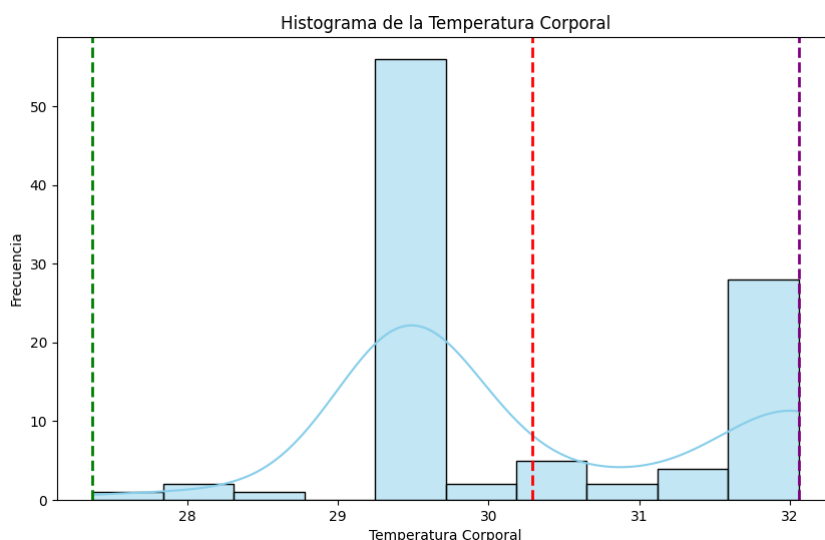


Figura 3.10: Histograma de la Temperatura Corporal.

La Figura 3.10 es un histograma que muestra la distribución de las mediciones de temperatura corporal en un grupo de individuos. En el eje horizontal del histograma, se representan los valores de la temperatura corporal en Celsius. Cada barra en el histograma representa un rango específico de temperatura corporal. En el eje vertical del histograma, se representa la frecuencia o cantidad de personas que tienen una temperatura corporal dentro de cada rango específico. Muestra cuántas personas del grupo de estudio tienen una temperatura corporal en ese rango particular. La información proporcionada, la temperatura corporal de este grupo de individuos parece concentrarse en un rango entre 28 y 32°C. Según las pautas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se considera que una temperatura corporal por encima de los 37°C se encuentra

en el rango de fiebre. Por lo tanto, en el contexto de este histograma, la mayoría de las mediciones de temperatura corporal están por debajo del umbral de fiebre establecido por la OMS (de la Salud, 2020).

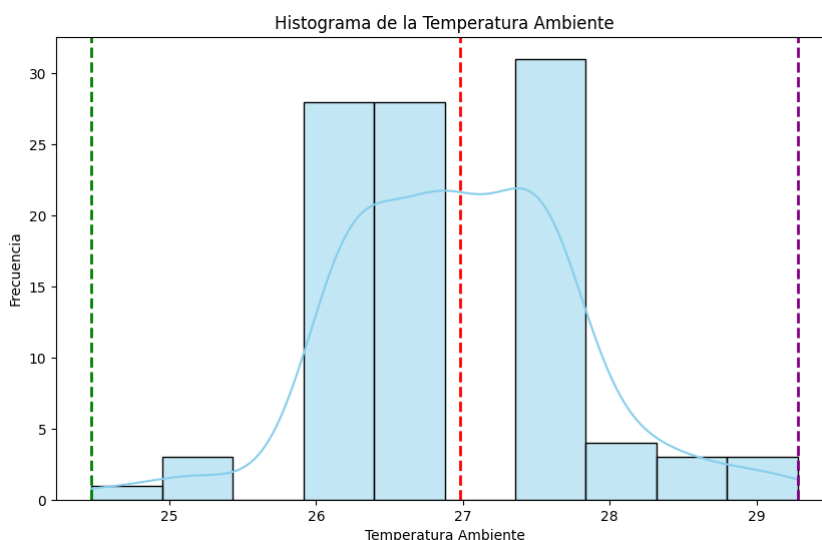


Figura 3.11: Histograma de la Temperatura Ambiente.

La Figura 3.11 es un histograma que muestra la distribución de las mediciones de temperatura ambiental en un entorno específico, como el salón de clases. Es importante tener en cuenta que la temperatura ambiental puede variar según diversos factores, como la ubicación geográfica, la temporada del año y la presencia de sistemas de climatización. En el eje horizontal del histograma, se representan los valores de la temperatura ambiental en grados Celsius. Cada barra en el histograma representa un rango específico de temperatura ambiental. En el eje vertical del histograma, se representa la frecuencia o cantidad de mediciones de temperatura ambiental dentro de cada rango específico. Las mediciones de temperatura ambiental en el aula con aire acondicionado se concentran en un rango entre 25 y 29°C.

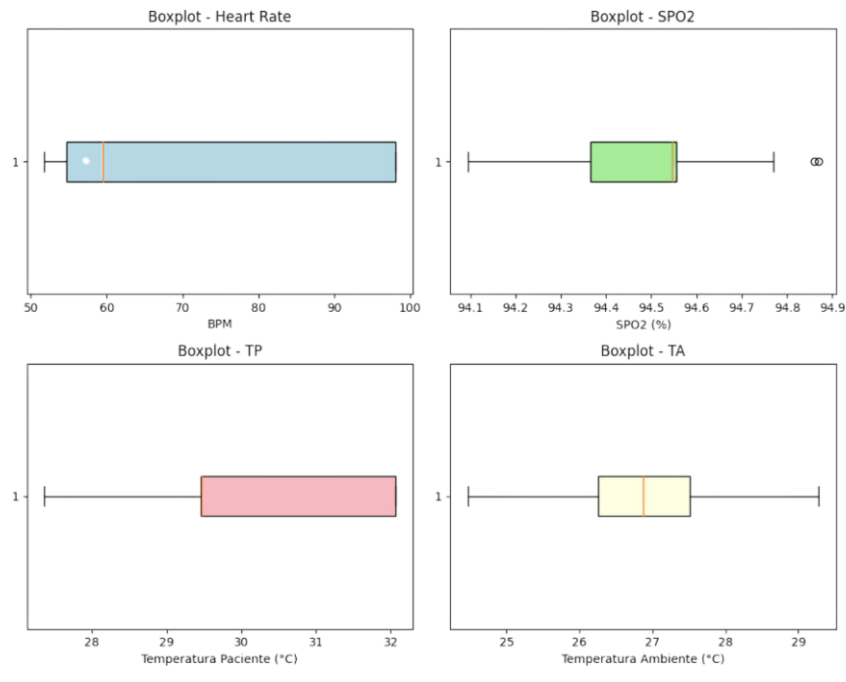


Figura 3.12: Boxplots de los indicadores.

La Figura 3.12, contiene cuatro boxplots, uno para cada una de las siguientes variables: frecuencia cardíaca (heart rate), saturación de oxígeno (spo2), temperatura corporal y temperatura ambiental. Un boxplot es una representación gráfica que muestra la distribución de un conjunto de datos numéricos. Se utiliza para resumir la información sobre la mediana, los cuartiles y los valores extremos del conjunto de datos. La caja en el centro del boxplot representa el rango intercuartil (IQR), que es la diferencia entre el primer cuartil (Q1) y el tercer cuartil (Q3). El IQR abarca el 50% central de los datos. La línea dentro de la caja representa la mediana (Q2), que es el valor que divide el conjunto de datos en dos partes iguales. Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores más extremos que no se consideran valores atípicos (outliers). Los valores que caen fuera de los bigotes se muestran como puntos individuales y se consideran valores atípicos. Frecuencia Cardíaca (Heart Rate): En el boxplot de la frecuencia cardíaca, la caja representa el rango intercuartil (IQR) de las mediciones de frecuencia cardíaca. La línea dentro de la caja es la mediana. Los bigotes se extienden hasta los valores más extremos que no se consideran valores atípicos. Los valores fuera de los bigotes se representan como puntos individuales.

Finalmente, se utilizaron diagramas de dispersión y correlación para investigar si existen relaciones lineales entre diferentes indicadores. En la Figura 3.13 se observa

el gráfico de frecuencia cardíaca vs spo2: Con un Coeficiente de correlación de Pearson de -0.0020622066778295963 , esta relación es prácticamente nula, indicando que no hay correlación lineal entre estas dos variables.

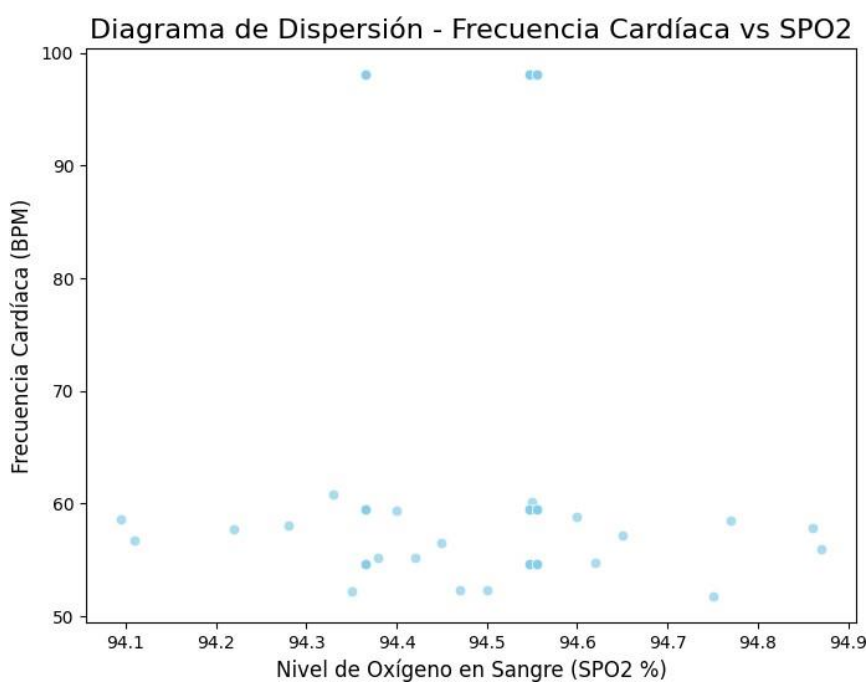


Figura 3.13: Diagrama de Dispersión - Frecuencia Cardíaca vs SPO2.

Mientras que en la figura 3.14 se muestra el gráfico de correlación entre temperatura corporal vs frecuencia cardíaca: Con un valor de 0.011646412820859335 , la correlación sigue siendo muy baja y no significativa.

Diagrama de Dispersión: Temperatura del Corporal (tp) vs Frecuencia Cardíaca (Heart Rate)

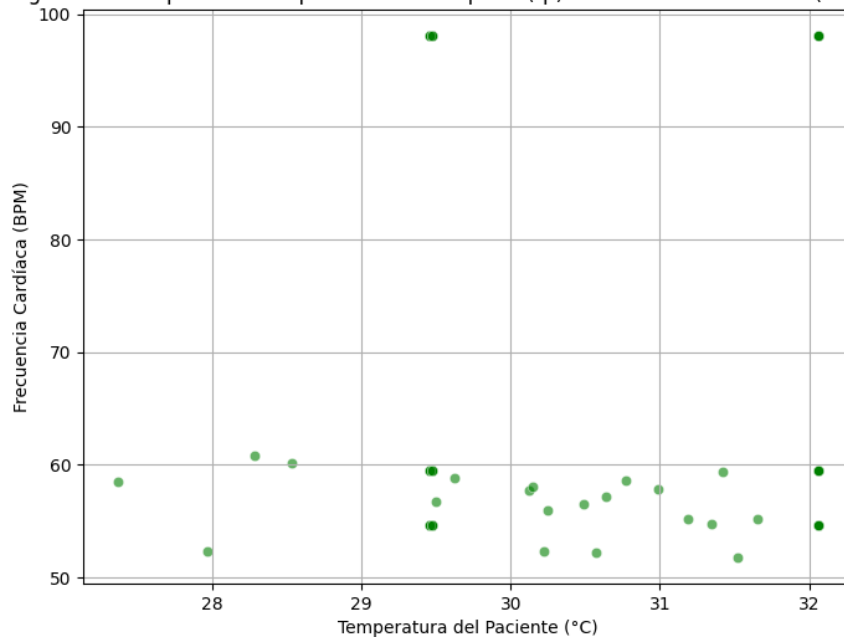


Figura 3.14: Diagrama de Dispersión Temperatura Corporal vs FrecuenciaCardiaca.

3.0.5 Análisis de costos del proyecto

Para el análisis de costos finales del proyecto, se han tenido en cuenta los componentes de hardware detallados en la Tabla 3.1. Además, en la Tabla 3.2 se presentan los costos asociados a componentes de hardware. Por último, se ha realizado un cálculo de la depreciación del hardware, asumiendo una tasa de depreciación anual del 20%, y estos resultados se encuentran reflejados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.1: Costo de hardware

Componente/Persona	Precio (USD)	Cantidad	Total(USD)
Esp32	9.50	1	9.50
Mlx90614	18.00	1	18.00
Max30102	7.00	1	7.00
Pantalla oled	6.50	1	6.50
Baterías	9.00	2	18.00
Carcasa 3D	9.00	1	9.00
Placa PCB	5.00	1	5.00
Ingeniero	1100	1	1100
Total			1173

Los costos detallados en la Tabla 3.1 se fundamentan en una serie de consideraciones específicas. Por ejemplo, el salario del ingeniero se basa en datos del portal de empleo Ecuadorelinea, donde el salario promedio de un programador computacional en Ecuador es de aproximadamente \$800 por mes (Ecuador, 2023). Sin embargo, es importante destacar que el ingeniero de meditrack no solo realiza programación, sino que también tiene conocimientos en electrónica, lo que justifica un salario ligeramente superior de \$1100 por mes. El tiempo total empleado en la realización del proyecto fue de 4 meses, lo que también aumenta el costo total. En cuanto a las baterías, su precio refleja el uso de baterías de litio, que son más costosas pero proporcionan un rendimiento superior. Es importante tener en cuenta que estos precios están basados en el mercado de electrónicos en Ecuador. En un mercado internacional, es posible que cada componente pueda adquirirse a un costo menor, lo que podría reducir el precio total del dispositivo.

El análisis de costos de los servidores de la Tabla 3.2, se basa en las siguientes

Tabla 3.2: Costo de software

Componente	Precio (USD)
Server HP Core 2.80 GHZ / 16GB Y 1TB	1600.00
Total	1600.00

consideraciones: El servidor HP, con un costo de \$1600.00 USD, se seleccionó como el servidor principal debido a su capacidad de procesamiento y almacenamiento. Equipado con un procesador Core de 2.80 GHz y 16GB de RAM, proporciona un rendimiento sólido para gestionar las operaciones críticas del proyecto, como la gestión de la plataforma web y la base de datos de los datos de salud de los pacientes. Además, el disco duro de 1TB ofrece un amplio espacio de almacenamiento para los datos recopilados, fundamental para garantizar una respuesta rápida de la plataforma y la capacidad de almacenar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. Por otro lado, es importante tener en cuenta un servidor de respaldo (backup) de similares características para asegurar la redundancia y la continuidad del servicio en caso de fallo del servidor principal.

Tabla 3.3: Depreciación del hardware

Año	Depreciación anual (USD)
0	73.00
1	58.40
2	46.72
3	37.37
4	29.90
5	23.92

La depreciación del hardware a lo largo de los años, como se refleja en la Tabla 3.3, se calculó utilizando una tasa del 20% anual. Esta tasa de depreciación se eligió por varias razones fundamentales en el contexto del proyecto. En primer lugar, refleja la realidad de que la tecnología y los componentes electrónicos tienden a perder valor a medida que pasa el tiempo debido a los avances tecnológicos continuos. En segundo lugar, considerando que el proyecto se centra en tecnología médica, mantener el hardware actualizado es esencial para garantizar la precisión y la seguridad de los datos de salud de

los pacientes. Una tasa de depreciación del 20% por año incentiva la inversión continua en hardware nuevo y actualizado, lo que es fundamental para el éxito y la eficacia del dispositivo de monitoreo de salud. Esta estrategia asegura que el proyecto esté siempre respaldado por tecnología de vanguardia y pueda adaptarse a los cambios en el entorno tecnológico y médico.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.0.1 Conclusiones

- El presente proyecto se desarrolló un dispositivo electrónico asequible equipado con sensores IoT para adquirir indicadores de salud en tiempo real, incluyendo la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y los niveles de oxígeno en la sangre. Este proyecto se basó en la integración de tecnologías existentes y sensores IoT para crear una solución portátil que puede ser utilizada en entornos no clínicos, especialmente por adultos mayores con enfermedades crónicas que requieren un monitoreo rutinario de su salud. La creación de este dispositivo para la adquisición de datos vitales representa uno de los logros clave de este proyecto.
- Se diseñó una plataforma web intuitiva que utiliza una analogía con los colores del semáforo para proporcionar una visualización clara y accesible de los datos recopilados por el dispositivo IoT. Esta plataforma incluye dashboards con información actualizada del paciente, lo que no solo mejora la eficiencia de las consultas médicas remotas, sino que también brinda a los profesionales de la salud una visión en tiempo real del estado de salud del adulto mayor. Además, se implementó un sistema de alertas automatizado que notifica dentro de la plataforma web cuando se detectan valores que superan los umbrales preestablecidos. Estas alertas son esenciales para tomar conciencia inmediata de cualquier cambio significativo en el estado de salud del paciente y tomar medidas oportunas.
- Se realizó la implementación de la tecnología de fog computing, que reduce la latencia en la transmisión de datos y optimiza la velocidad de respuesta del sistema. Esta característica es fundamental para garantizar un monitoreo en tiempo real y una respuesta médica oportuna, especialmente en el cuidado de la salud de los

adultos mayores. La herramienta web utilizada se encuentra alojada en un servidor propio, lo que ha permitido alcanzar estos niveles de eficiencia en la entrega de datos.

Este proyecto representa un paso importante hacia la mejora de la atención médica remota y el monitoreo de la salud de los adultos mayores. Sin embargo, durante el desarrollo, se enfrentaron desafíos técnicos, como la dificultad para adquirir baterías adecuadas y sensores especializados. Estas limitaciones subrayan la brecha tecnológica que enfrenta el país y la necesidad de invertir en infraestructura tecnológica y establecer alianzas estratégicas para superar estos obstáculos. Este proyecto destaca la importancia de abordar las limitaciones tecnológicas en el entorno de la salud y trabajar hacia soluciones más accesibles y efectivas para mejorar la calidad de vida de los adultos mayores y otros grupos vulnerables.

4.0.2 Recomendaciones técnicas

1. **Integración con inteligencia artificial (IA):** Implementar algoritmos de IA para un análisis más profundo de los datos y la predicción de posibles complicaciones de salud, ofreciendo alertas anticipadas y recomendaciones personalizadas a los usuarios.
2. **Desarrollo de aplicaciones móviles:** Diseñar aplicaciones móviles que se sincronicen con el dispositivo para que los usuarios puedan acceder a sus datos y recibir notificaciones en tiempo real, mejorando así la experiencia del usuario y su capacidad de reacción ante posibles anomalías.
3. **Ampliación de sensores:** Explorar la posibilidad de integrar otros sensores para ampliar el rango de indicadores de salud monitorizados, como la medición de niveles de glucosa o actividad eléctrica del corazón.
4. **Optimización de baterías:** Investigar y colaborar con empresas especializadas en el desarrollo de baterías más pequeñas, duraderas y eficientes. Esto no solo permitiría reducir el tamaño del dispositivo, sino también extender su vida útil y reducir la frecuencia de recargas.

5. **Diseño modular:** Considerar un diseño modular del dispositivo para facilitar actualizaciones y adaptaciones según las necesidades cambiantes y los avances tecnológicos, sin tener que reemplazar el dispositivo completo.
6. **Interconexión con sistemas médicos:** Establecer interfaces y protocolos para que el dispositivo pueda comunicarse directamente con sistemas médicos existentes, permitiendo a los profesionales de la salud acceder a los datos en tiempo real y tomar decisiones informadas.

4.0.3 Recomendaciones adicionales

1. **Mantener una investigación constante:** Identificar nuevos avances que puedan incorporarse para mejorar la eficiencia y precisión del dispositivo.
2. **Proporcionar capacitación continua:** Tanto a profesionales de la salud como a usuarios finales, abordando no solo el uso del hardware sino también la interpretación adecuada de los datos recopilados.
3. **Realizar evaluaciones periódicas:** Del dispositivo en contextos reales para identificar áreas de mejora y garantizar que siga satisfaciendo las necesidades cambiantes de la población.
4. **Realizar campañas de difusión y concienciación:** Destacando la importancia y beneficios del monitoreo de salud regular, especialmente en áreas rurales y entre grupos vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, P. (2004). Introducción al microcontrolador. *academia.edu*, 9, 3.
- Amazon Web Services, Inc. (2023, June 17). *Amazon Web Services - IoT*. Retrieved from <https://www.aws.amazon.com/es/what-is/iot/>
- Association, A. L. (2023). *Pulse oximetry*. Retrieved 2023-03-07, from <https://www.lung.org/lung-health-diseases/lung-procedures-and-tests/pulse-oximetry>
- Atlam, H. F., Walters, R. J., Wills, G. B. (2018). Fog computing and the internet of things: A review. *big data and cognitive computing*, 2(2), 10.
- Azimi, I., Anzanpour, A., Rahmani, A. M., Liljeberg, P., Salakoski, T. (2016). Medical warning system based on internet of things using fog computing. In *2016 international workshop on big data and information security (iwbis)* (p. 19-24). doi: 10.1109/IWBIS.2016.7872884
- Bajaj, K., Sharma, B., Singh, R. (2022). Comparative analysis of simulators for iot applications in fog/cloud computing. In *2022 international conference on sustainable computing and data communication systems (icscads)* (p. 983-988). doi: 10.1109/ICSCDS53736.2022.9760897
- Barahona Meneses Amparito, V. C. C. P. B. J. P. K., Concepción Espín Capelo. (2021). Estado nutricional y factores de riesgo para enfermedad crónica no transmisible en ancianos de la población el juncal, ecuador. , 8(1), 10-11. doi: <https://doi.org/10.53358/lauinvestiga.v8i1.358>
- BEATRIZ BENÉITEZ BURGADA. (2022). *Psicología cromática*. Retrieved 2022-03-15, from <https://www.lavanguardia.com/vivo/psicologia/20220315/8125028/que-significa-color-blanco-psicologia-que-situaciones-deberias-usarlo-nbs.html>
- Boutros-Saikali, N., Saikali, K., Naoum, R. A. (2018). An iomt platform to simplify the development of healthcare monitoring applications. In *2018 third international conference on electrical and biomedical engineering, clean energy and green*

computing (ebecegc) (p. 6-11). doi: 10.1109/EBECEGC.2018.8357124

Clinic, M. (2022). *¿cuál es la frecuencia cardíaca normal en reposo?* Retrieved 2023-06-09, from <https://www.mayoclinic.org/es/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979#:~:text=Una%20frecuencia%20card%C3%ADaca%20en%20reposo,un%20mejor%20estado%20f%C3%ADsico%20cardiovascular.>

Condes, R. M. C. L. (2012). *Prevención cardiovascular en el adulto mayor.* Retrieved 2023-06-09, from <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-prevencion-cardiovascular-el-adulto-mayor-S0716864012703747>

DB-Engines. Db-engines ranking. (2023). Retrieved 2023-06-09, from <https://db-engines.com/en/ranking/time+series+dbms>

de la Salud, O. M. (2020). *¿a qué temperatura se considera que una persona tiene fiebre?* Retrieved 2023-06-09, from <https://www.europapress.es/sociedad/noticia-temperatura-considera-persona-tiene-fiebre-20200315170834.html>

del Busto, H. G., Enríquez, O. Y. (2012). Bases de datos nosql. *Telemática*, 11(3), 21–33.

Dilibal, . (2020). Development of edge-iiomt computing architecture for smart healthcare monitoring platform. In *2020 4th international symposium on multidisciplinary studies and innovative technologies (ismsit)* (p. 1-4). doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9254501

Ecuador, S. (2023). *Salario de un programador computacional en ecuador.* Retrieved 2023-06-09, from <https://salarioecuador.com/salario-de-un-programador-computacional-en-ecuador/#more-1066>

ESP32 Series (Computer software manual No. ESP32). (2019). (Rev. 3)

Gutiérrez, F. (2007). Importancia de la edad avanzada en las infecciones: mitos y realidades. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 25(10), 609-611. Retrieved from <https://www.elsevier.es/es-revista-enfermedades-infecciosas-microbiologia-clinica-28-articulo-importancia-edad-avanzada-infecciones-mitos-13112935> doi: 10.1157/13112935

High-sensitivity pulse oximeter and heart-rate sensor for wearable health (Computer software manual No. MAX30102). (2018).

InfluxData. (2023). Explicación de la base de datos de series temporales

- (TSDB) [Computer software manual]. (<https://www.influxdata.com/time-series-database/#download>)
- InfluxDB Documentation*. (n.d.). Retrieved 2023-06-09, from <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2.7/>
- Jupyter Project*. (2015). Retrieved 2023-09-11, from <https://jupyter.org/>
- Lancet, T. (2023). *Resumen ejecutivo - comisión de the lancet sobre calidad de los sistemas de salud*. Retrieved 2023-06-09, from https://www.thelancet.com/pb-assets/Lancet/stories/commissions/health-quality-health-systems/TLGH_HealthSystem_ExecSum_Spanish.PDF
- Llamas, L. (2016). *Arduino y el termómetro infrarrojo a distancia MLX90614*. Retrieved 2023-06-09, from <https://www.luisllamas.es/arduino-y-el-termometro-infrarrojo-a-distancia-mlx90614/>
- Margarita Velasco, J. T., Francisco Hurtado. (2020). El acceso geográfico desigual a la salud en ecuador. Retrieved from <https://cebes.org.br/el-acceso-geografico-desigual-a-la-salud-en-ecuador/22472/>
- Nasar, M., Kausar, M. A. (2019). Suitability of influxdb database for iot applications. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 1850–1857.
- Pulsoxímetro oxy-2 (Computer software manual No. M35072). (n.d.). Retrieved 2023-07-19, from <https://www.gimaitaly.com/DocumentiGIMA/Manuali/ES/M35072ES.pdf>
- R, G. A., Singh, Y. P., Narawade, N. S. (2022). Design of fog computing system for health care applications based on iot. In *2022 3rd international conference for emerging technology (incet)* (p. 1-4). doi: 10.1109/INCET54531.2022.9825347
- Sharma, N., Bhatt, R. (2020). Fog computing based iot in healthcare application. In *2020 sixth international conference on parallel, distributed and grid computing (pdgc)* (p. 442-446). doi: 10.1109/PDGC50313.2020.9315745
- Shukla, S., Hassan, M. F., Jung, L. T., Awang, A. (2018). Fuzzy-based fog computing for real-time data transmission in healthcare internet-of-things. In *2018 second international conference on green computing and internet of things (icgciot)* (p. 104-108). doi: 10.1109/ICGCIoT.2018.8753057
- Sims, A., Pay, A., Watson, B. (2000). An architecture for the automatic acquisition of vital

signs by clinical information systems. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 4(1), 74-75. doi: 10.1109/4233.826862

Sánchez, L. Y. B. (2019). Internet de las cosas para el cuidado de la salud. Retrieved from <https://doi.org/10.31908/19098367.1167>

Wang, X., Song, Y. (2023). Edge-assisted iomt-based smart-home monitoring system for the elderly with chronic diseases. *IEEE Sensors Letters*, 7(2), 1-4. doi: 10.1109/LSENS.2023.3240670

Yoshikawa, K., Kuroda, M. (2022). Iot orchestration centered on highly managed medical devices for patients of chronic respiratory diseases. In *2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)* (p. 235-238). doi: 10.1109/GCCE56475.2022.10014221

APÉNDICES

A Código del microcontrolador

En esta sección se muestra el código creado para el proyecto. Puedes encontrar el código completo en el siguiente enlace: <https://github.com/eeestupi/Monitoreo.git>.

B Manual de usuario - Parte 1: Uso del dispositivo de monitoreo de salud

B.1 Introducción

Bienvenido al manual de usuario del dispositivo de monitoreo de salud. Este dispositivo le permite realizar un seguimiento de sus indicadores de salud de manera sencilla y conveniente. En esta guía, aprenderá cómo utilizar el dispositivo correctamente para obtener mediciones precisas.

B.2 Encendiendo el dispositivo

Para encender el dispositivo, siga estos pasos:

1. Localice el interruptor de encendido/apagado en el dispositivo.
2. Deslice el interruptor hacia la posición “Encendido” (ON).

La pantalla se iluminará y mostrará un mensaje que dice “Coloque su dedo por 15 segundos”.

B.3 Realizando una medición

Una vez que el dispositivo esté encendido y muestre el mensaje “Coloque su dedo por 15 segundos”, siga estos pasos para realizar una medición:

1. Coloque su dedo índice suavemente en el sensor de oxígeno en el dispositivo, como se muestra en la Figura1.
2. Mantenga el dedo en su lugar durante 15 segundos mientras el dispositivo recopila los datos de salud.



Figura 1: Ejemplificación del funcionamiento

B.4 Visualizando los resultados

Después de los 15 segundos de medición, los resultados de sus indicadores de salud se mostrarán en la pantalla del dispositivo durante 10 segundos, como se muestra en la pantalla de la Figura1. Asegúrese de anotar o recordar estos resultados si es necesario.

B.5 Apagando el dispositivo

Si desea tomar otra medición, puede repetir los pasos 2 y 3. Si ha terminado de usar el dispositivo, siga estos pasos para apagarlo:

1. Deslice el interruptor de encendido/apagado en el dispositivo hacia la posición "Apagado" (OFF).

La pantalla se apagará, indicando que el dispositivo está apagado.

B.6 Preguntas frecuentes

- **¿Qué indicadores de salud se miden con este dispositivo?** Este dispositivo mide la saturación de oxígeno en la sangre, pulsos por minuto, temperatura corporal y ambiental.
- **¿Cómo interpreto los resultados?** Consulte con su médico o profesional de la salud para interpretar los resultados y obtener orientación adecuada. Pero dentro de la plataforma saldrán alertas si son valores que superen los umbrales especificados, además que las letras cambiarán a rojo.
- **¿Con qué frecuencia debo realizar mediciones con el dispositivo?** La frecuencia recomendada de las mediciones puede variar según su situación de salud individual. Generalmente, consulte con su médico para determinar la frecuencia adecuada de las mediciones.
- **¿Cómo limpio y mantengo el dispositivo?** Para mantener el dispositivo en buenas condiciones, límpielo con un paño suave y seco. Evite el contacto con líquidos y asegúrese de almacenarlo en un lugar seco y seguro cuando no esté en uso.
- **¿Puedo usar el dispositivo en cualquier momento del día?** Sí, puede usar el dispositivo en cualquier momento del día. Sin embargo, se recomienda realizar mediciones a la misma hora todos los días para obtener resultados más consistentes.
- **¿Qué debo hacer si los resultados son anormales o preocupantes?** Si obtiene resultados inusuales o preocupantes, le recomendamos que se comunique con su médico de inmediato. No tome decisiones médicas basadas únicamente en los resultados del dispositivo.

C Parte 2: Uso de la plataforma web

C.1 Accediendo a la plataforma web

Para acceder a la plataforma web y visualizar los datos de salud recopilados, siga estos pasos:

1. Abra su navegador web preferido en su dispositivo (computadora, tableta o teléfono inteligente).
2. En la barra de direcciones del navegador, escriba la siguiente URL:

`http://200.126.14.234:8086`

3. Presione “Enter” o haga clic en la opción de “Ir” en su navegador.

C.2 Iniciando sesión

Una vez que haya accedido a la plataforma web, será redirigido a la página de inicio de sesión, como el de la Figura2. Para iniciar sesión en su cuenta, siga estos pasos:

1. Ingrese su nombre de usuario en el campo “username”.
2. Ingrese su contraseña en el campo “password”.
3. Haga clic en el botón “Sign In”

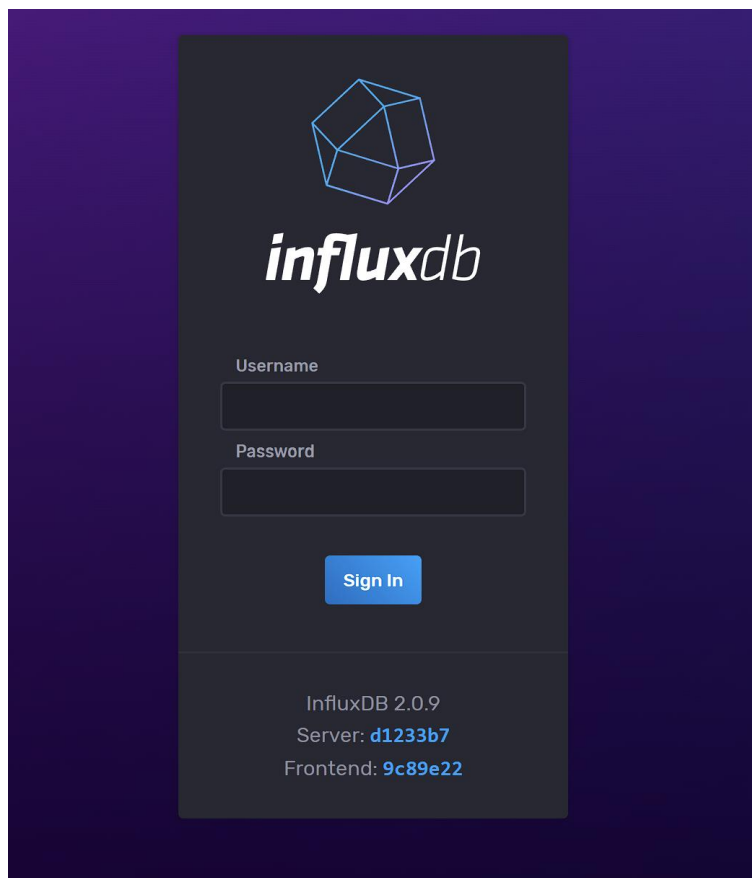


Figura 2: Inicio sesión

C.3 Visualizando los datos de salud

Una vez que haya iniciado sesión con éxito, será llevado al panel principal de la plataforma web. Aquí, puede ver los datos de salud recopilados por su dispositivo de monitoreo. Los datos se presentarán en forma de “dashboards” o tableros de control que muestran información clara y accesible, tal como se muestran en la Figura3.

Para ver los detalles de sus indicadores de salud, siga estos pasos:

1. En la página principal, verá en la parte derecha la opción de “boards”.
2. Haga clic en el “dashboard” correspondiente al indicador que desea ver.
3. Se le llevará a una página detallada que muestra gráficos y datos relacionados con ese indicador de salud específico.
4. Puede explorar los datos y gráficos para obtener una visión clara de su salud a lo largo del tiempo.

5. Para regresar al panel principal o explorar otros indicadores, utilice la navegación en la parte superior de la página.



Figura 3: Representación de los dashboards

C.4 Cerrar sesión

Cuando haya terminado de revisar sus datos de salud, asegúrese de cerrar sesión en su cuenta por razones de seguridad. Para cerrar sesión, siga estos pasos:

1. Haga clic en su nombre de usuario en la esquina superior izquierda de la pantalla.
2. En el menú desplegable, seleccione la opción “Logout”, como se muestra en la figura4.

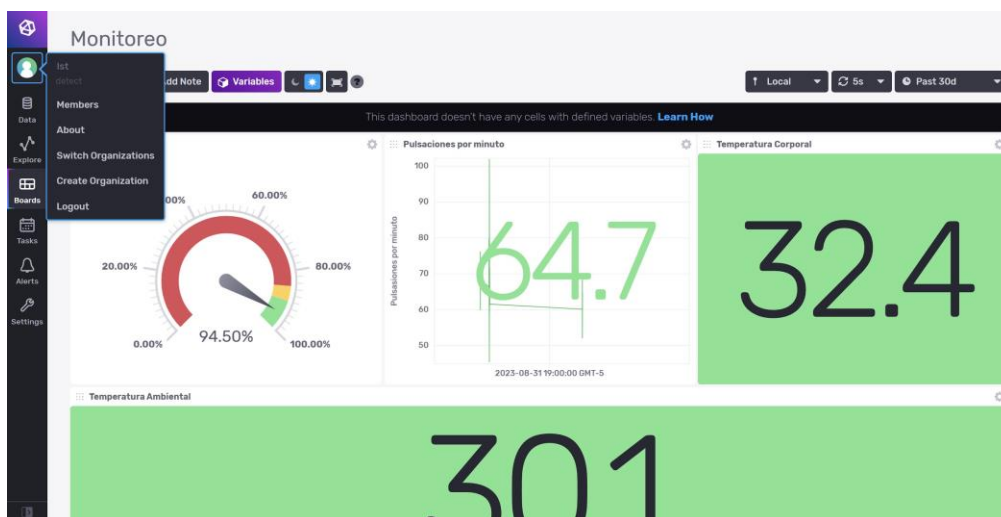


Figura 4: Cierre de sesión

C.5 Preguntas frecuentes

- **¿Qué hago si olvidé mi nombre de usuario o contraseña?** Puede utilizar la opción de “Recuperar Contraseña” en la página de inicio de sesión para restablecer su contraseña. Si olvidó su nombre de usuario, comuníquese con el soporte técnico.
- **¿Qué hago si no puedo ver mis datos de salud?** Si tiene problemas para ver sus datos de salud, asegúrese de que su dispositivo esté conectado y transmitiendo datos correctamente. También, verifique su conexión a internet. Si el problema persiste, comuníquese con el soporte técnico.
- **¿Es seguro almacenar mis datos de salud en la plataforma web?** Sí, la plataforma utiliza medidas de seguridad avanzadas para proteger sus datos de salud. Sin embargo, es importante mantener su nombre de usuario y contraseña seguros y no compartirlos con otros.
- **¿Puedo acceder a la plataforma web desde cualquier dispositivo?** Sí, la plataforma web es accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet y un navegador web compatible. Puede acceder desde una computadora, tableta o teléfono inteligente

C.6 Información de contacto

Si tiene preguntas o necesita asistencia relacionada con la plataforma web, no dude en ponerse en contacto con el equipo de soporte técnico:

- Teléfono: [0960521772]
- Correo electrónico: [eeestupi@espol.edu.ec]