

IoT node prototype for health monitoring of body temperature, heart rate, and oxygen saturation

Prototipo de nodo IoT para monitoreo de salud de temperatura corporal, ritmo cardíaco y saturación de oxígeno

Diego E. Guerrero-Ávila¹, Víktor I. Rodríguez-Abdalá^{*1}, Salvador Ibarra-Delgado¹, Remberto Sandoval-Aréchiga¹, and José R. Gómez-Rodríguez¹

¹ Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica,
Posgrado en Ingeniería para la Innovación Tecnológica,

Campus Siglo XXI Carretera Zacatecas - Guadalajara Kilómetro 6, Ejido la Escondida, Zacatecas, Zac., México, 98160.

{diegoguavi, abdala,sibarra,rsandoval,jrgrodri}@uaz.edu.mx

Abstract

The Internet of Things (IoT) is a technology available in a wide variety of areas, including the health sector, it is known as Internet of Medical Things (IoMT). This allows the development of IoT nodes for vital signs monitoring purposes with Internet connectivity, this would facilitate the monitoring of patients outside of healthcare facilities, such as home and work. In the present work, a prototype node for monitoring blood oxygen saturation, heart rate and body temperature was developed with the MAXREFDES117 and Feverclick sensors, respectively, connected to ESP32 microcontroller. The collected information is stored on a Thingsboard server for data visualization and future data processing.

Keywords— IoT, SpO₂, health monitoring

Resumen

El Internet de las Cosas es una tecnología que está presente en una gran variedad de áreas, entre ellas la medicina, en lo que se conoce como el Internet de las Cosas Médicas. Esto permite el desarrollo de nodos IoT con fines de monitoreo de signos vitales con conectividad a Internet, lo que facilita el seguimiento de pacientes fuera de las instalaciones médicas, tal como el hogar y trabajo. En el presente trabajo se desarrolló un prototipo de nodo para el monitoreo de la saturación de oxígeno en la sangre, ritmo cardíaco y temperatura corporal con

los sensores MAXREFDES117 y Feverclick respectivamente, conectados al microcontrolador ESP32. La información recolectada se almacena en un servidor Thingsboard para la visualización de los datos y futuro procesamiento de los mismos.

Palabras clave— IoT, SpO₂, Monitoreo de Salud

I. Introducción

Hoy en día, el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) ha permitido integrar procesos y actividades de tal modo que a través de plataformas digitales se puede procesar la información recolectada para determinar patrones y agilizar la toma de decisiones de una manera simple.

La incursión de IoT en diversas áreas ha permitido que estas se integren en una sola plataforma e interactúen entre ellas, brindando nuevas oportunidades de investigación y desarrollo con un alto impacto en costos y alcances, de tal modo que la implementación de un sistema de monitoreo en la nube no requiere de que el usuario cuente con una infraestructura propia con una alta capacidad de cómputo. Así mismo, la complejidad de los nodos es baja, lo que simplifica tanto su tamaño como su consumo de recursos, ya que el procesamiento de la información se realiza en la nube.

Un área que ha presentado importantes avances para el desarrollo de IoT es la médica, lo que se conoce como Internet de las Cosas Médicas (IoMT, por sus siglas en inglés). El objetivo de IoMT es el desarrollo de tecnologías que permitan el seguimiento de enfermedades y

* Autor de correspondencia

monitoreo de salud a través de nodos IoT para detección temprana tanto a gran escala como individual en tiempo real. Este monitoreo podría tener la capacidad de detectar alteraciones en la fisiología antes de la presentación de síntomas, esto a través de alteraciones en el ritmo cardíaco, el número de pasos diarios y variaciones en el sueño de las personas [1].

Actualmente, los métodos utilizados tienen una baja probabilidad para detectar portadores pre-sintomáticos, lo que constituye un desafío para la detección temprana de la propagación de algún virus o enfermedad [1].

Por ejemplo, el COVID-19 ha tenido un impacto significativo en la sociedad tanto en términos de casos positivos como de muertes [2]. En México, durante el período de enero a junio de 2021, fue una de las principales causas de mortalidad (145,159; 13.35%) [3]. En respuesta, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha propuesto mejorar la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades transmisibles, así como la atención primaria de salud de manera equitativa e integral [4].

Ante esto, la implementación de sistemas inteligentes que permitan la detección y monitoreo tanto de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, podría ofrecer una alternativa para la detección conveniente e identificación de enfermedades. El monitoreo en tiempo real asistido con nodos inteligentes permitiría la detección temprana de alguna enfermedad con los datos recopilados combinados con los síntomas autoinformados por el usuario [1, 5, 6, 7, 8].

Este tipo de monitoreo permitiría detectar cambios en la biometrías de pacientes, identificando sutilezas que indiquen que se está contrayendo algún tipo de enfermedad. En [5, 6, 7, 8] reportan que las personas infectadas con COVID-19 presentan alteraciones físicas 9 días antes de la aparición de los primeros síntomas, así como casos en los que se detectarán hasta 14 días antes. Esto utilizando dispositivos como oxímetros de pulso y relojes inteligentes.

En [9, 10] reportan que el monitoreo de la saturación de oxígeno (SpO₂) es importante para determinar e informar a los pacientes asintomáticos con COVID-19 el momento adecuado para buscar servicios médicos, ya que este parámetro evoluciona gravemente sin que el paciente lo note.

Como resultado se desarrolló un prototipo de nodo IoT capaz de medir diferentes signos vitales, tales como: la temperatura corporal, el ritmo cardíaco y la saturación de oxígeno en la sangre. Este prototipo podría ser utilizado para monitorear el estado de salud de una persona de manera remota, permitiendo la detección temprana de algún problema de salud y así tomar decisiones de manera oportuna para su tratamiento.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: la Sección II describe los elementos del nodo IoT con los

sensores para el monitoreo de la temperatura corporal, ritmo cardíaco y saturación de oxígeno. En la Sección III se detallan las pruebas realizadas y en la Sección IV se presentan los resultados obtenidos. En la Sección V se analiza el uso del dispositivo como auxiliar en el ámbito médico, finalmente, en la Sección VI se discuten las conclusiones, beneficios y alcances del nodo IoT desarrollado.

II. Diseño e implementación del nodo IoT

II.1. Diseño propuesto

Para llevar a cabo el desarrollo del nodo IoT para el monitoreo de signos vitales, se utilizó el kit de desarrollo ESP32-PICO-D4. Este dispositivo es un módulo System-in-Package (SiP, por sus siglas en inglés) basado en ESP32, que ofrece una funcionalidad completa de Wi-Fi y Bluetooth, además de interfaces como: ADC, DAC, sensor táctil, controlador Host SD/SDIO/MMC, SPI, controlador esclavo SDIO/SPI, EMAC, LED, PWM, UART, I2C, I2S, controlador remoto infrarrojo, GPIO, contador de pulsos y TWAI (compatible con ISO 11898-1, por ejemplo la especificación CAN 2.0). Por otro lado, los sensores utilizados para el monitoreo de signos vitales son el sensor Feverclick de temperatura corporal y el MAXREFDES117 de ritmo cardíaco y saturación de oxígeno en la sangre, ambos con interfaz I2C.

El ESP32 procesa los datos recolectados por los sensores mediante la interfaz I2C y los almacena en un servidor Thingsboard para su visualización, como se muestra en la Figura 1. Para conectar los sensores al ESP32, el nodo IoT utiliza el protocolo I2C a través de los pines SDA y SCL, como se puede observar en la Figura 2. Además, se utiliza el protocolo Message Queuing Telemetry Transport (MQTT, por sus siglas en inglés) para la comunicación entre el nodo IoT y el servidor, permitiendo una transmisión de los datos recolectados con un ancho de banda reducido y bajo consumo de energía.

La plataforma Thingsboard es una solución de IoT de código abierto que permite recolectar, analizar y visualizar datos de dispositivos conectados a partir de la telemetría del nodo. El protocolo de comunicación MQTT es un protocolo ligero de mensajería de IoT que proporciona una comunicación confiable y eficiente entre dispositivos y servidores en tiempo real. Una de las principales ventajas de utilizar Thingsboard es que brinda una experiencia de usuario intuitiva y fácil de usar para la visualización de datos, lo que puede facilitar la toma de decisiones y la identificación de problemas en tiempo real. Además, ofrece una amplia gama de herramientas de análisis y monitoreo de dispositivos para la gestión de la infraestructura de IoT. Thingsboard es una plataforma de código abierto y gratuita. Sin embargo, también ofrece una versión de pago llamada Thingsboard Professional Edition,

que ofrece características adicionales y soporte técnico.

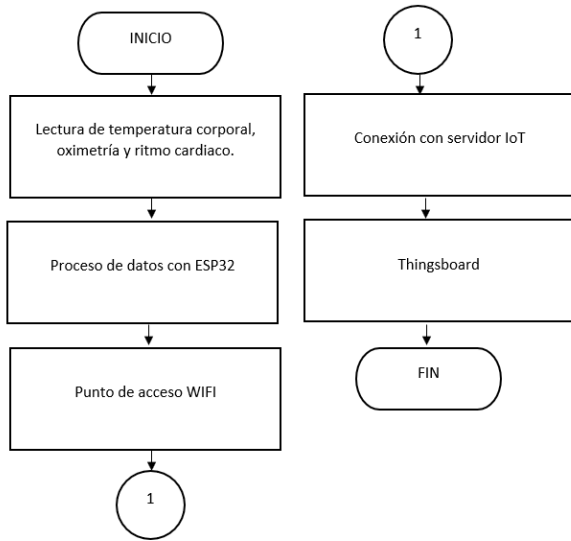


Figura 1: Diagrama de bloques del flujo de datos entre el nodo IoT y el servidor

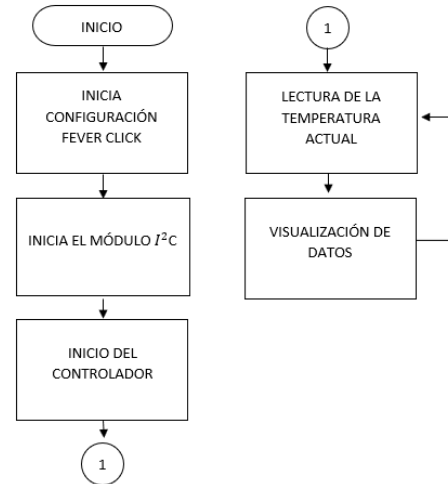


Figura 3: Diagrama de flujo del sensor Fever click

sensor, luego inicia un ciclo donde despliega los datos después de un segundo y regresa a la lectura de la temperatura, hasta que esta se estabiliza. En la Tabla 1 se listan las características del sensor.

Tabla 1: Características del sensor Fever click

Parámetro	Valor
Interfaz	I ² C
Voltaje	2.7V a 3.3V
Precisión	0.1°C (37°C a 39°C)
Resolución	16-Bit (0.00390625°C)
Corriente de entrada	5mA
Tamaño	42.9 x 25.4 mm

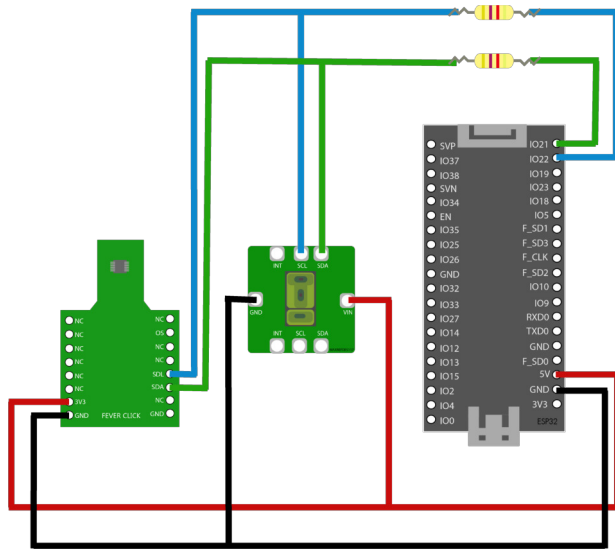


Figura 2: Circuito del prototipo de nodo IoT

II.2. Módulo del sensor de temperatura Fever Click

El sensor de temperatura corporal Fever click envía la temperatura al ESP32 a través de la interfaz I2C. El diagrama de flujo del funcionamiento del sensor Fever click se observa en la Figura 3.

La configuración por defecto del fabricante del sensor Fever click es el siguiente: primero inicia el módulo con el protocolo I2C para que el controlador del sistema comience la lectura de la temperatura del estado actual del

II.3. Módulo del sensor de ritmo cardiaco y SpO2 MAXREFDES117

El sensor MAXREFDES117 realiza las mediciones de la saturación de oxígeno en la sangre y el ritmo cardiaco. Su configuración es la siguiente: al iniciar ejecuta la configuración predeterminada por el fabricante, donde en tres segundos recolecta 100 muestras de datos de las variables a sensor, luego inicia un ciclo donde el algoritmo para calcular la saturación de oxígeno en la sangre y el ritmo cardiaco se realiza cada segundo y almacena 4 segundos de muestras a una tasa de 25 muestras por segundo, para ir actualizando los datos recolectados remueve el segundo mas viejo que se tenía guardado y lo sustituye con un nuevo segundo de medición, para así tener 4 segundos de muestras o 100 muestras. Esto se puede observar en el diagrama de la Figura 4. Las características principales del sensor se listan en la Tabla 2.

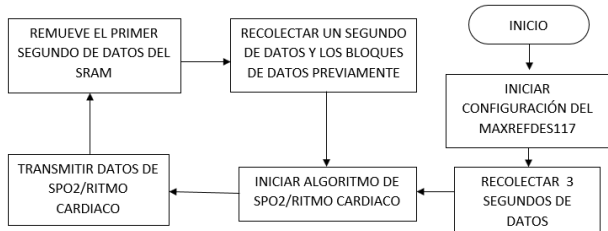


Figura 4: Diagrama de Flujo del sensor MAXREFDES117

Tabla 2: Características del sensor MAXREFDES117

Parámetro	Valor
Tipo de producto	SpO2/RC
Interfaz	I ² C
Fuente de poder	2V a 5.5V
Corriente de entrada	1.5mA
Tamaño	12.7mm x 12.7mm

II.4. Integración de los sensores con ESP32

En la Figura 5 se muestra la visualización de los datos recopilados por este nodo, estos se ordenan en columnas de izquierda a derecha: las dos primeras muestran los datos del LED rojo e infrarrojo; las tercera y cuarta muestran los valores calculados para la frecuencia cardíaca, siendo la tercera el valor del ritmo cardíaco y la cuarta la validación de la medición; las quinta y sexta muestran la validez de los cálculos de la SpO2, siendo la quinta el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre y la sexta la validación de la medición. Finalmente, la séptima muestra el valor de la temperatura.

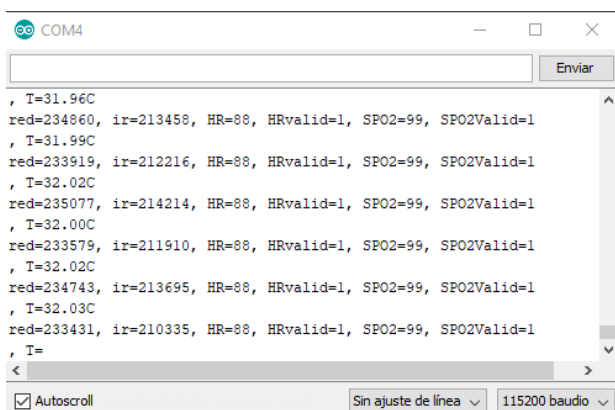


Figura 5: Telemetría del nodo IoT a través del puerto UART

El nodo IoT se conecta a un servidor Thingsboard a donde envía los datos recolectados como parte de la telemetría del nodo junto con la fecha y hora a la que fue recibida la información del nodo, esto se muestra en

la Figura 6. Esta figura corresponde a la terminal de la plataforma de Thingsboard, donde se puede observar el flujo de datos en tiempo real.

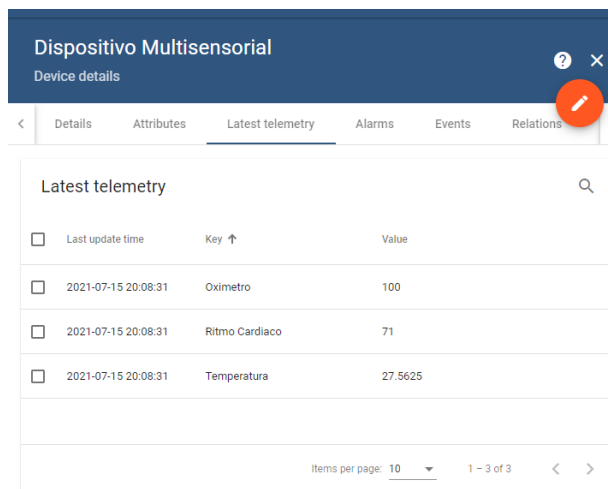


Figura 6: Telemetría del nodo IoT en el servidor Thingsboard

III. Pruebas y mediciones del nodo IoT

Se realizaron pruebas para medir el consumo de corriente y voltaje, los tiempos de medición de los sensores y el correcto funcionamiento del nodo IoT. El procedimiento de las pruebas fue el siguiente:

1. Se seleccionó un lugar cerrado.
2. Se utilizó como sujeto de prueba a un adulto joven sano, en reposo y sentado.
3. Se colocó la mano del sujeto sobre los sensores del nodo.
4. Para medir el ritmo cardíaco y la saturación de oxígeno se colocó el dedo índice sobre el sensor MAXREFDES117, cubriendo completamente los LED y ejerciendo una leve presión de acuerdo con la recomendación del fabricante.
5. Para medir la temperatura corporal se colocó el dedo anular sobre el sensor Fever click, ejerciendo una presión moderada, aunque no es la ubicación correcta para realizar la medición corporal.

Es importante destacar que se llevó a cabo tanto una medición exhaustiva como una evaluación del correcto funcionamiento de los sensores del nodo IoT durante la realización de las pruebas. Se implementaron periodos de descanso entre 1 y 2 minutos con el fin de evitar la fatiga del sujeto de prueba y, de esta manera, prevenir posibles errores en la medición.

III.1. Modo de operación del nodo

Una vez que se coloca el nodo IoT en el sujeto de prueba, se enciende y se verifica su estado en línea en el servidor. Después de 10 segundos, el nodo comienza a enviar la telemetría y se indica al usuario que ejerza una presión constante sobre los sensores del nodo. Si se observa un valor fuera de lo normal o mediciones iguales a cero, se adecua el sensor al dedo del usuario para una nueva medición.

Para el correcto funcionamiento del nodo IoT se debe tener en cuenta diversas consideraciones. Estas se listan a continuación:

1. El diseño inicial presentó dificultades al momento de colocar los sensores de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes, lo que resultaba en variaciones en los datos recolectados. Por lo tanto, se realizó una reubicación de los sensores para evitar dichas fluctuaciones causadas por el usuario.
2. La implementación en el protoboard hace que el prototipo sea poco manejable e inestable. El diseño del sensor MAXREFDES117 no permite fijarlo por lo que la mano del usuario no descansa y provoca movimientos que genera errores en la lectura.
3. El sensor Fever click requiere de un tiempo prolongado para sensar y estabilizar la temperatura, por ello se incrementó el tiempo de medición.

IV. Resultados

En las pruebas realizadas se mantuvo la mano del usuario en una posición fija aproximadamente 10 segundos antes de observar si era necesario modificar dicha posición, en este tiempo es factible determinar la estabilidad de la medición o irregularidades debido a movimientos del sensor o del propio usuario.

La cantidad de tiempo que el nodo tarda en obtener los valores de medición se puede estimar utilizando la Tabla 3 y la cantidad de datos a partir de los valores presentados en la Tabla 4.

Tabla 3: Muestras por tiempo

Muestras	Tiempo
25	1 segundo
90, 000	1 hora

Se observó en las primeras mediciones que la saturación de oxígeno en la sangre se mantuvo en valores constantes y normales, oscilando entre 98 % y 100 %. Por otro lado, las mediciones de ritmo cardiaco que se miden en latidos por minuto (BPM, por sus siglas en inglés) presentaron variaciones atípicas con picos de hasta 200

Tabla 4: Cantidad de datos por tiempo

Datos	Tiempo
60	1 minuto
3,600	1 hora

BPM, lo cual es considerado una medición errónea en una persona en reposo. Se determinó que esto se debió al movimiento del usuario, y se procedió a justar la posición de la mano del usuario para obtener mediciones más precisas y acordes a lo esperado.

El sensor Fever click funciona mediante conducción de calor, lo que requiere un tiempo significativo de estabilización para medir con precisión la temperatura del usuario. Además, después de cada medición, el sensor tarda en volver a la temperatura ambiente antes de poder realizar una nueva medición. Como resultado, puede haber intervalos durante los cuales las mediciones pueden estar alteradas al usar el sensor con diferentes usuarios en un corto período de tiempo.

Este nodo podría utilizarse para monitoreo continuo y realizar mediciones en intervalos de tiempo predeterminadas en pacientes en reposo o podría usarse para una consulta médica, para ello, la autonomía del nodo se puede determinar a partir de la Tabla 5.

Tabla 5: Alimentación del nodo

Parámetro	UART	Wi-Fi
Voltaje	3.15V - 3.20	3.15V - 3.30V
Corriente	5.20mA - 6mA	5.20mA - 6.30mA

En la Figura 7 se pueden identificar diferentes elementos de la interfaz gráfica de usuario de la plataforma, entre ellos el widget de temperatura en la parte superior izquierda. En el centro se encuentra la gráfica de ritmo cardiaco en tono azul, mientras que en el costado derecho se observa la saturación de oxígeno en la sangre en tono rojo. Por último, en la parte inferior se encuentra el registro histórico de las mediciones. Como se ilustra hay variaciones negativas las cuales suceden al no tener un usuario al que estar sensando.

En la Figura 8 se muestra el ritmo cardiaco con un promedio de 83 BPM. Se puede observar que el ritmo cardiaco se mantiene estable con las mediciones, en la línea que da valores negativos se debe a que el usuario aun no tenía una correcta posición del oxímetro y el programa sensa continuamente haciendo una diferencia para calcular el resultado, por lo que muestra datos negativos.

En la Figura 9 se muestra el porcentaje de la saturación de oxígeno en la sangre, que va de 0 % a 100 %, se puede observar que la medición marca un valor de 100 %.

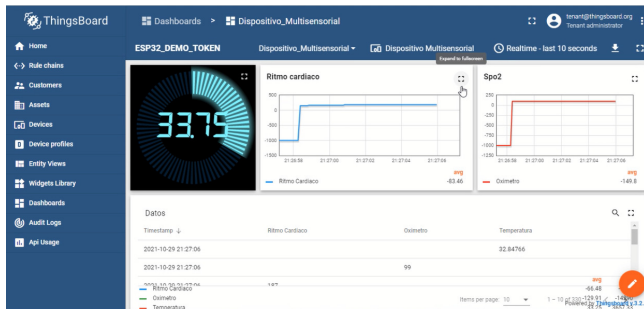


Figura 7: Visualización de Thingsboard



Figura 10: Temperatura corporal



Figura 8: Ritmo cardiaco

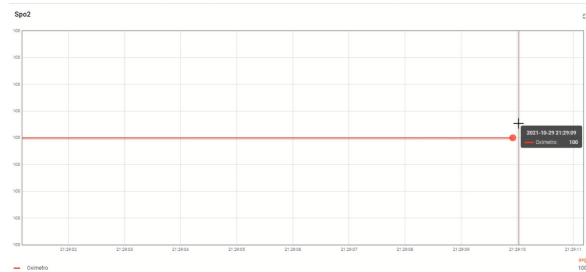


Figura 9: Saturación de oxígeno en la sangre

En la Figura 10 se puede observar el widget de temperatura corporal el cual muestra el valor de 33.87°C , este valor se mide de una falange de la mano, por esto el valor es mas bajo que el normal de un cuerpo, lo cual hace que no se identifique correctamente la temperatura corporal como se haría en un termómetro convencional en un área mas adecuada.

V. Uso médico de sensores

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), “los oxímetros de pulso de uso no médico podrían ser una herramienta particularmente útil en el monitoreo remoto de pacientes con enfermedades respiratorias porque permitirían detectar tempranamente a pacientes con “hipoxemia silente” y potencialmente evitar su deterioro

clínico”.

Actualmente, los relojes inteligentes no han sido aprobados por los diversos organismos reguladores debido a la falta de estudios de validación para su uso médico. Es necesario contar con estudios más fiables que validen estas tecnologías, ya que los existentes solo disponen de datos viables y confiables en ciertos dispositivos pero bajo circunstancias y parámetros muy controlados. Además, aunque existen dispositivos similares, no se catalogan como dispositivos de medición de signos vitales [10].

Existen estudios clínicos y de laboratorio que muestran que los oxímetros de pulso de uso médico en comparación con los oxímetros de pulso no indicados para uso médico tienen una semejanza en mediciones arriba del 90 % de saturación de oxígeno. No existen diferencias significativas en los resultados mostrados para uso médico para el rango de saturación de oxígeno, en cambio los oxímetros de pulso no indicados para uso médico presentan alteraciones en una saturación menor a 93 % y en niveles más bajos de oxígeno su precisión es inadecuada.

Pocos estudios revelan como la evaluación de los oxímetros de uso no médico pueden ser alterados por distintas patologías afectando así la mediciones. Además de que los estudios son realizados por profesionales de la salud y esto no asegura que los resultados no variarán si estas pruebas fueran realizadas por los mismos pacientes o personas sin la capacitación adecuada.

Un estudio realizado por la agencia Canadiense para Drogas y Tecnologías Sanitarias (CADTH, por sus siglas en inglés) concluye y afirma que la oximetría entre los diferentes dispositivos tanto de uso médico como no médico tienen una precisión comparable entre si para la detección de pacientes con hipoxia. Con esta información se afirma que los oxímetros de pulso no médicos pueden ser útiles para descartar una hipoxemia más no son adecuados para evaluar la gravedad de esta [10, 11].

La oximetría de pulso resulta ser beneficioso para la toma de decisiones clínicas, pero resalta no ser un sustituto de una evaluación clínica ni suficiente para un diagnóstico, esto según el comité médico de Londres [11].

La Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA, por sus siglas en inglés), es la institución encargada de

regular los oxímetros con intención de uso público o uso exclusivo de actividades deportivas o aviación para la población en general, además de varios dispositivos en el mercado cuya indicación no es para uso médico. Este grupo de oxímetros no se encuentran regulados por la FDA y en ambos casos, tanto de uso médico como de uso no médico, el fabricante es quien determina la intención de uso.

VI. Conclusiones

Se diseñó y desarrolló un prototipo de nodo IoT con el propósito de medir diferentes signos vitales, incluyendo la temperatura corporal mediante el uso del sensor Fever click, y el ritmo cardíaco y la saturación de oxígeno en la sangre con el sensor MAXREFDES117, utilizando una tarjeta de desarrollo ESP32.

El envío de los datos recolectados se realizó a través de Wi-Fi utilizando el protocolo MQTT, el cual permitió transmitir la información del monitoreo de los signos vitales del paciente a un servidor de Thingsboard. Esta plataforma de IoT fue elegida por su capacidad para gestionar, administrar, almacenar y visualizar de manera eficiente información recolectada en tiempo real, lo que permitió un monitoreo constante y en tiempo real del estado de salud del paciente.

Se logró mejorar la medición del sensor MAXREFDES117 al sujetarlo en el dedo mediante el uso de una banda de goma u otro accesorio que mantuviera una presión constante. Al presionar el dedo contra el sensor se evitó el flujo sanguíneo errático que se presenta al mover la mano, mejorando así la medición.

El servidor Thingsboard mostró limitaciones en cuanto a las funciones necesarias para el monitoreo de signos vitales en tiempo real, por lo que no se recomienda su uso para los sistemas de salud.

Agradecimientos

Gracias al Posgrado en Ingeniería para la Innovación Tecnológica de la UAZ y a los investigadores asociados por el apoyo a la realización de este proyecto.

Referencias

- [1] Mishra T., Wang M., Metwally A.A. et al. «Pre-symptomatic detection of COVID-19 from smartwatch data.» En: *Nature Biomedical Engineering* 4 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41551-020-00640-6>, págs. 1208-1220.
- [2] WHO. *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. URL: <https://covid19.who.int/> (visitado 08-08-2021).
- [3] INEGI. *ESTADÍSTICA DE DEFUNCIONES REGISTRADAS DE ENERO A JUNIO DE 2021 (PRELIMINAR)*. Comunicado de prensa NÚM. 24/22. 2022. URL: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/dr/dr2021.pdf>.
- [4] Andrei Muchnik. *La OMS revela las principales causas de muerte y discapacidad en el mundo: 2000-2019*. Comunicado de prensa. OMS, 2020.
- [5] Zhu T., Watkinson P. y Clifton D.A. «Smartwatch data help detect COVID-19.» En: *Nature Biomedical Engineering* 4 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41551-020-00659-9>, págs. 1125-1127.
- [6] Tejaswini Mishra et al. «Early Detection Of COVID-19 Using A Smartwatch.» En: *medRxiv* (2020). <https://doi.org/10.1101/2020.07.06.20147512>.
- [7] Quer G., Radin J.M. and Gadaleta M. et al. «Wearable sensor data and self-reported symptoms for COVID-19 detection.» En: *Nat Med* 27 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1123-x>, págs. 73-77.
- [8] Jennifer Abbasi. «Using Smartwatch Data to Detect COVID-19 Cases Early.» En: *JAMA* 324.22 (2020). <https://doi.org/10.1001/jama.2020.23696>, págs. 2247-2247. DOI: 10.1001/jama.2020.23696. URL: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.23696>.
- [9] Gattinoni L, Coppola S., Cressoni M. et al. «COVID-19 Does Not Lead to a “Typical” Acute Respiratory Distress Syndrome.» En: *ATS Journals* (2020).
- [10] Barros et al. «Smartwatch, oxygen saturation, and COVID-19: Trustworthy?» En: *ABCS Health Sci.* (2021). <https://doi.org/10.7322/abcshs.2020228.1681>, págs. 1-2.
- [11] Organización Panamericana de la Salud. *Aspectos técnicos y regulatorios sobre el uso de oxímetros de pulso en el monitoreo de pacientes con COVID-19*. 2020. URL: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52551/OPSHSSMTCOVID-19200029_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y.