



Artículo de investigación



Sistema de transferencia de datos biomédicos con protocolos de comunicación de bajo consumo

Biomedical data transfer system with low consumption communication protocols

Víctor Becerra Tapia , Victoria Téllez Victoria , José Mariano Ramos Medina , Guillermo Rey Peñaloza Mendoza , Mario Salvador Castro Zenil 

TecNM – Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Av. Tecnológico #1, Zurumutaro, Pátzcuaro, Michoacán, México

Autor de correspondencia: Guillermo Rey Peñaloza Mendoza, TecNM - Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro. E-mail: grey@itspa.edu.mx. ORCID: 0000-0003-2795-670X.

Enviado: 15 de Agosto del 2023

Aceptado: 26 de Octubre del 2023

Publicado: 9 de Noviembre 2023

Resumen. - En la atención médica dentro de un hospital son múltiples los eventos que se presentan a diario, en donde el manejo de datos biomédicos es compartido en todas las áreas, lo que se torna complicado y no en todas las instituciones se tienen métodos adecuados para la gestión de estos datos, lo que provoca una disminución en la eficiencia de la atención. Además de los datos personales, las constantes fisiológicas son datos que deben llevar un monitoreo constante de lo contrario es un problema al tener signos cambiantes, estos datos se obtienen de diferentes instrumentos y se lleva el registro de una sola lectura sin ser constante. Debido a esto se desarrolla un sistema basado en el internet de las cosas, en el cual la obtención de las constantes fisiológicas y otros datos se realiza a través de sensores conectados a tarjetas ESP32 que están en constante comunicación. Para la adquisición de datos, se diseña un prototipo el cual se coloca en la muñeca con los sensores incluidos para la toma de 3 constantes fisiológicas. Se emplea el sensor de pulso MAX30102 que permite obtener la oxigenación de la sangre y la frecuencia cardiaca, para obtener la lectura del pulso y/o ritmo cardiaco se coloca el dispositivo en los dedos, lóbulo o muñeca. Además, se cuenta con el sensor MLX90614 para la adquisición de la temperatura. El manejo de datos se realiza por medio de una tarjeta ESP32 que adquiere la información de los sensores y la envía para su utilización. Se utilizan protocolos de comunicación que permite la lectura de múltiples sensores para la lectura paralela de más de un paciente, esto no se ha tratado en los sistemas actuales de atención prehospitalaria. El constante monitoreo independiente de las constantes fisiológicas se comunica a una central por medio de una configuración esclavos maestro, en donde cada esclavo obtiene la información de cada módulo en el paciente y es enviada a una tarjeta maestra, todos los datos son encriptados en cada envío, estos dispositivos pueden ser utilizados en atención prehospitalaria y dentro de los hospitales portados por el propio paciente. La concentración de los datos es recabada en una ESP32 maestra la cual se conecta de forma serial a la consola principal que es una Raspberry Pi 4, a través del protocolo MQTT, una vez que se tienen los datos en MQTT broker se pueden visualizar en diferentes dispositivos para la trazabilidad de estos datos. Los datos son registrados en una base de datos en tiempo real usando los servicios de Google en Firebase.

Palabras clave: IOT; Protocolo MQTT; ESP-NOW; Raspberry Pi; Constantes fisiológicas.

Abstract. - In the field of medical care, hospitals face numerous challenges in effectively managing biomedical data. This can lead to a decrease in the efficiency of care, as not all institutions have efficient methods for managing such data. In addition to personal data, physiological constants, such as heart rate and oxygen levels, need to be constantly monitored in order to detect any changes. However, obtaining this data from different instruments and ensuring its constant recording can be problematic. To address these challenges, a system based on the Internet of Things (IoT) has been developed. This system utilizes sensors connected to ESP32 cards, which are in constant communication, to obtain physiological constants and other relevant data. A prototype has been designed, which includes sensors placed on the wrist to measure three physiological constants. The MAX30102 pulse sensor is used to measure blood oxygenation and heart rate. This sensor can be placed on the fingers, lobe, or wrist to obtain accurate readings. Additionally, the MLX90614 sensor is used for temperature acquisition. All the data collected by these sensors is managed by an ESP32 card, which acquires the information and sends it for further use. They employ communication protocols that enable the simultaneous reading of multiple sensors for the parallel monitoring of more than one patient, a capability not addressed in current prehospital care systems. To ensure constant monitoring of physiological constants, a master-slave configuration is utilized. Each slave module collects information from individual patients and sends it to a master card. The data is encrypted during transmission. These devices can be used in various healthcare settings, including prehospital care, and can be carried by the patients themselves. The collected data is then transmitted to a central system using the MQTT protocol. A master ESP32, connected to a Raspberry Pi 4, acts as the main console, where the data is centralized. Once the data is in the MQTT broker, it can be accessed and analyzed from various devices for traceability purposes. Real-time data recording is achieved by utilizing Google services, specifically Firebase, which stores the data in a database.

Keywords: IoT; MQTT protocol; ESP-NOW; Raspberry Pi; Physiological constants.



1. Introducción

En el ámbito de la atención médica, la gestión y monitoreo de datos biomédicos juegan un papel crucial para brindar una atención adecuada y eficiente a los pacientes [1-3]. En un entorno hospitalario, se enfrentan diariamente a diversos eventos que requieren compartir información biomédica en todas las áreas, lo que puede resultar complicado y poco eficiente debido a la falta de métodos adecuados para su gestión en muchas instituciones. Esto, a su vez, puede afectar negativamente la calidad del manejo y la atención brindada a los pacientes [4].

Una de las áreas críticas que requiere un monitoreo constante es el seguimiento de las constantes fisiológicas, ya que cualquier cambio no detectado puede ser problemático, especialmente en situaciones de urgencia o prehospitalarias [3]. Sin embargo, actualmente, la obtención de estos datos suele ser limitada y se registra solo una lectura puntual en lugar de un monitoreo continuo.

Para abordar esta problemática, se ha desarrollado un sistema basado en el Internet de las Cosas (IoT) que ofrece una solución innovadora. Este sistema se centra en la tarjeta ESP32, la cual actúa como un nodo esencial para adquirir datos biomédicos, incluyendo las constantes fisiológicas, mediante la conexión de sensores específicos.

En el contexto de la atención médica, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar un sistema basado en el Internet de las cosas (IoT) que permita adquirir, gestionar y visualizar de manera eficiente y en tiempo real los datos biomédicos, especialmente las constantes fisiológicas, con un enfoque en la monitorización continua. Este sistema tiene como finalidad mejorar la toma de decisiones clínicas, proporcionando información oportuna al personal de salud, tanto en entornos hospitalarios como en situaciones de urgencia o

prehospitalarias. Además, se busca garantizar la trazabilidad y seguridad de los datos biomédicos para brindar una atención médica más efectiva y segura.

En este trabajo, se presenta un prototipo portátil diseñado utilizando el software Fusión360, que se ajusta cómodamente a la muñeca y está equipado con sensores para tomar tres constantes fisiológicas clave. Uno de estos sensores es el MAX30102, un pulsioxímetro y monitor de frecuencia cardíaca que utiliza tecnología infrarroja, detectores fotoeléctricos y circuitos electrónicos para obtener mediciones precisas, suprimiendo la interferencia de la luz ambiental.

El dispositivo es compatible con una interfaz de comunicación I2C, lo que facilita la transmisión de información a otros dispositivos como Arduino, KL25Z u otros microcontroladores. El sistema permite un monitoreo constante y en tiempo real de las constantes fisiológicas, gracias a la comunicación entre las tarjetas ESP32 dispuestas en una configuración esclavo-maestro.

Cada esclavo obtiene los datos y los envía a una tarjeta maestra, asegurando la encriptación de la información en cada envío. Además, debido al tamaño portátil de los sensores, el sistema puede ser utilizado tanto en áreas de atención prehospitalaria como dentro de los hospitales, siendo llevado por el propio paciente.

La concentración de datos es recopilada por una tarjeta ESP32 maestra, que se conecta de forma serial a una consola principal basada en una Raspberry Pi 4, utilizando el protocolo MQTT para la transmisión de información. Los datos son registrados en tiempo real en una base de datos utilizando los servicios de Google en Firebase, lo que facilita su acceso y visualización en diferentes dispositivos, garantizando la trazabilidad de la información.



Las pruebas de funcionamiento las cuales se realizaron en 3 diferentes entornos que se detallan en la tabla 1, han demostrado que este

sistema de adquisición de constantes fisiológicas proporciona información oportuna al personal de salud para una atención pronta y efectiva.

Tabla 1. Pruebas de Funcionamiento del Sistema de Adquisición de Constantes Fisiológicas:

PRUEBA	ENTORNO	CONDICIONES DEL ENTORNO	DISTANCIA DE COMUNICACIÓN	TIEMPO DE RETRASO
PRUEBA 1	Hospital	Edificio de un piso con muros de concreto	47 metros entre muros	<5 segundos
PRUEBA 2	Área de Urgencias	Edificio con la arquitectura similar de área de urgencias	40 metros entre muros	< 2 segundos
PRUEBA 3	Ambulancia en Movimiento	Vehículo en movimiento	1.5 metros en movimiento	<1 segundo

La accesibilidad y gestión de los datos en las diversas áreas del hospital contribuyen a mejorar la eficiencia y los tiempos de atención, brindando una atención médica más efectiva y segura. Además, el uso de tecnologías IoT en el campo de la salud ha experimentado un crecimiento

2. Marco de referencia

En áreas de atención médica, la gestión eficiente de datos biomédicos y el monitoreo constante de las constantes fisiológicas son aspectos fundamentales para brindar una atención médica de calidad y oportuna [1, 2]. Los hospitales enfrentan diariamente una gran cantidad de eventos y situaciones en las que es vital compartir y analizar datos en todas las áreas de atención. Sin embargo, en muchas instituciones, la gestión de estos datos puede resultar complicada debido a la falta de métodos eficientes, falta de equipo para esta actividad y hasta falta de personal, lo que a su vez puede afectar la calidad de la atención y la toma de decisiones clínicas [4].

La falta de monitoreo continuo de las constantes fisiológicas también ha sido una limitación en la atención médica. Especialmente en áreas de urgencias o prehospitalarias, donde el personal puede no ser capaz de detectar signos cambiantes

exponencial en los últimos años, especialmente con dispositivos que permiten detectar y registrar diversas variables biomédicas, lo que abre un amplio abanico de posibilidades para el monitoreo y la atención médica personalizada.

en tiempo real, lo que puede tener consecuencias negativas para los pacientes [4].

Con el crecimiento exponencial de dispositivos conectados a IoT en los últimos años, se han explorado diversas aplicaciones en el campo de la salud [5-7]. Sin embargo, en el contexto específico de la adquisición de datos biomédicos y el monitoreo constante de constantes fisiológicas, aún se requiere una solución más efectiva y accesible [6-9]. Es aquí donde surge la necesidad de desarrollar un sistema basado en IoT que permita obtener, gestionar y visualizar de manera eficiente y en tiempo real los datos biomédicos, especialmente las constantes fisiológicas [9].

El IoT es una tecnología que permite la interconexión de objetos cotidianos a través de internet, lo que facilita la comunicación y la transferencia de datos entre dispositivos. En el contexto de la atención médica, el IoT ofrece un amplio potencial para la optimización de procesos, el seguimiento de pacientes y la



obtención de datos biomédicos en tiempo real. El uso de dispositivos inalámbricos equipados con sensores para la detección de diferentes variables biomédicas, como pulso, presión arterial, temperatura, entre otras, ha demostrado ser efectivo en el monitoreo continuo y no invasivo de pacientes [6, 10].

El monitoreo de constantes fisiológicas es una práctica esencial en la atención médica, ya que permite detectar cambios en la salud del paciente, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones médicas. Los avances en tecnología han facilitado el desarrollo de sensores cada vez más precisos y portables que permiten obtener mediciones confiables de variables como el ritmo cardíaco, la saturación de oxígeno y la temperatura corporal [11-14].

Se han desarrollado diversos sistemas y dispositivos para el monitoreo de constantes fisiológicas mediante IoT. Algunos enfoques utilizan sensores integrados en dispositivos inalámbricos, como relojes inteligentes, pulseras o parches adheribles, que permiten la obtención continua y no invasiva de datos biomédicos [13, 15]. Además, se han investigado soluciones que utilizan tarjetas de desarrollo, como la ESP32, para la adquisición y transmisión de datos biomédicos en tiempo real. Estas tarjetas ofrecen una amplia capacidad de conectividad y son capaces de interactuar con diversos sensores, lo que las hace ideales para aplicaciones médicas [16, 17].

El uso de plataformas de computación en la nube y bases de datos en tiempo real, como Firebase, ha permitido gestionar y almacenar grandes cantidades de datos biomédicos, facilitando el acceso y análisis por parte del personal médico [18]. Sin embargo, aunque existen avances significativos en este campo, todavía hay retos por superar, como la implementación de sistemas de encriptación robustos para garantizar la

seguridad y privacidad de los datos biomédicos, en hasta ahora alcanzado, se abordó la cuestión de la seguridad y privacidad de los datos biomédicos transmitidos a través del protocolo ESP-NOW. Se implementó una capa de encriptación de extremo a extremo en el protocolo ESP-NOW, lo que garantiza que los datos biomédicos estén protegidos durante la transmisión. Esta medida de seguridad se diseñó para prevenir cualquier acceso no autorizado o interceptación de los datos, lo que es fundamental para cumplir con los estándares de privacidad y seguridad requeridos en aplicaciones biomédicas. También se busca mejorar la interoperabilidad entre diferentes dispositivos y sistemas de monitoreo para una gestión más integrada y efectiva de la información médica [19, 20].

3. Metodología

El diagrama de la Figura 1 muestra un esquema general de la metodología que se emplea para la construcción y comunicación del sistema. Se eligen los sensores MAX30102 y el termistor MLX90614 adecuado para medir las constantes fisiológicas de interés, como el ritmo cardíaco y la temperatura corporal, respectivamente [21]. Se adquiere una tarjeta ESP32 compatible con ESP-NOW para la comunicación con otros nodos y MQTT para la transmisión de datos a la Raspberry Pi. Posteriormente se realiza el diseño del circuito electrónico para conectar los sensores MAX30102 y el termistor MLX90614 a la tarjeta ESP32, asegurando una conexión segura y eficiente, esto se hace de manera serial manteniendo un diseño físico conveniente para que el termistor pueda ser colocado en el área axilar del paciente [14, 22, 23]. Se construye un prototipo físico del sistema de adquisición, verificando la correcta conexión de los componentes y la funcionalidad de los sensores tal como se muestra en la Figura 2.

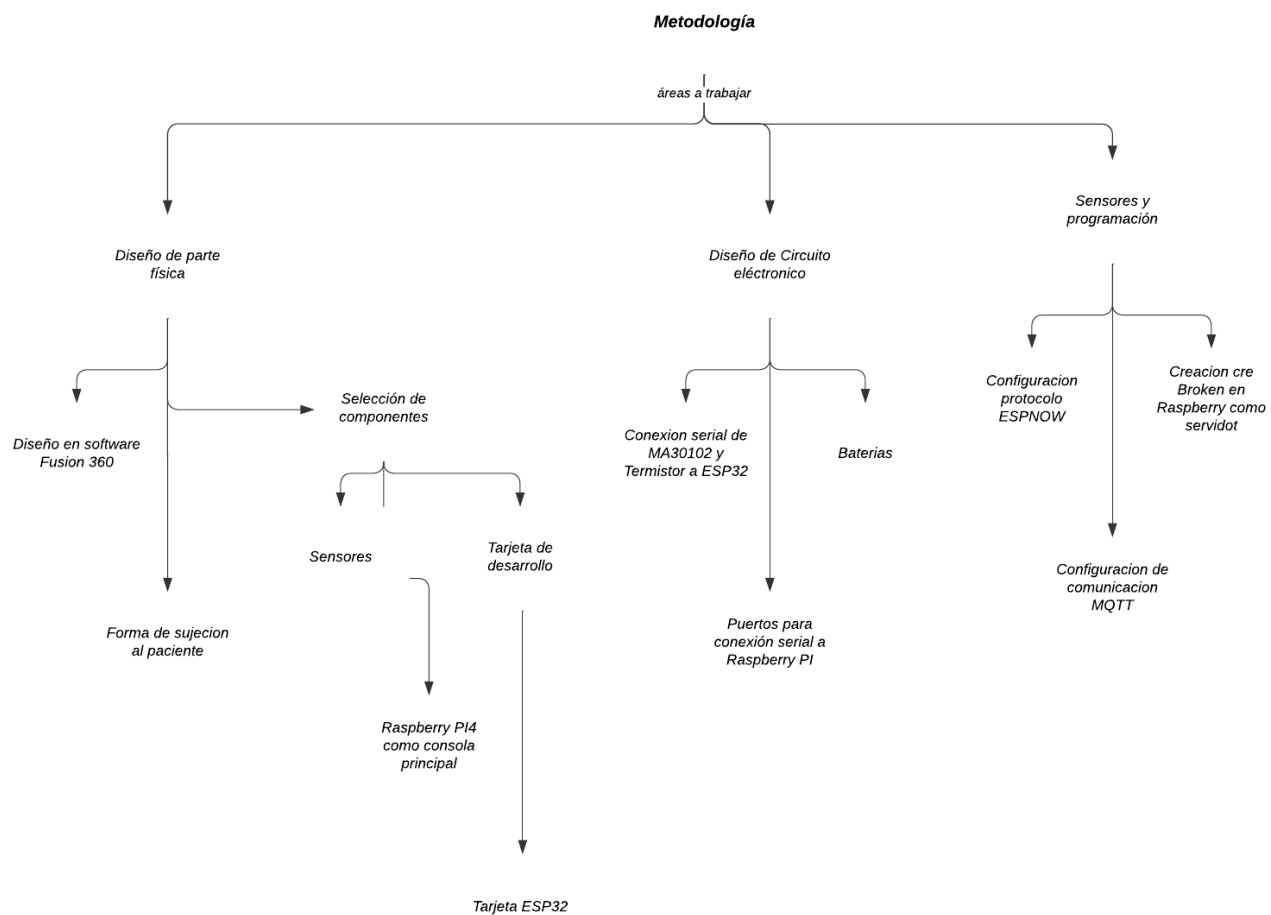


Figura 1. Diagrama de la metodología

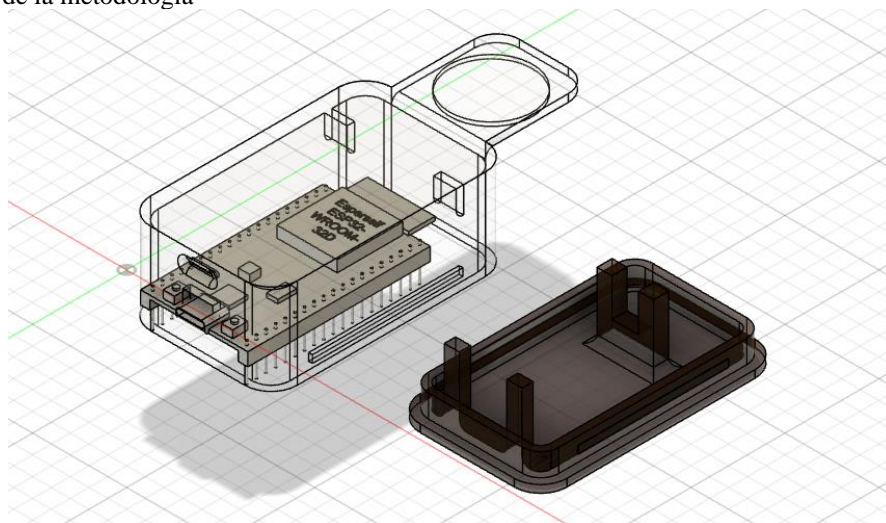


Figura 2. Diseño 3D de la terminal inalámbrica



3.1 Programación y configuración de sensores

Para iniciar se programa la ESP32 y configurar los sensores MAX30102 y MLX90614, permitiendo la lectura precisa de las constantes fisiológicas. Con la lectura de estos sensores y la

calibración del termistor, se logra obtener la lectura de la oxigenación, la frecuencia cardiaca y la temperatura corporal, ejemplo de la conexión realizada se observa en la Figura 3, donde se realiza la conexión del MAX30102 con la ESP32 [12, 14].

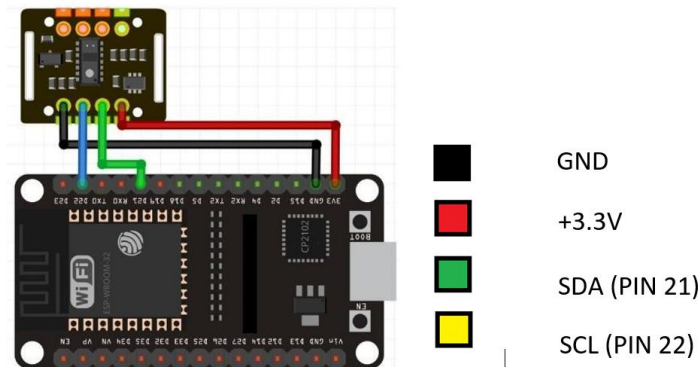


Figura 3. Conexión MAX30102 a ESP32

El siguiente paso es la implementación de Comunicación ESP-NOW, para esto se desarrolla el código que permitirá la comunicación entre las diferentes tarjetas ESP32 mediante ESP-NOW, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real entre los nodos [24]. Esto con la finalidad de poder conectar varios nodos de obtención de datos y concentrarlos en un nodo

central que será el que hace el envío de estos por MQTT a la consola principal que es la raspberry PI 4 [25, 26]. Para establecer una conexión MQTT con la Raspberry Pi se inicia definiendo los tópicos y el formato de los mensajes para el envío de datos, se debe de realizar la conexión a un modem para hacer la transferencia de datos tal como se observa en la Figura 4 [27-29].

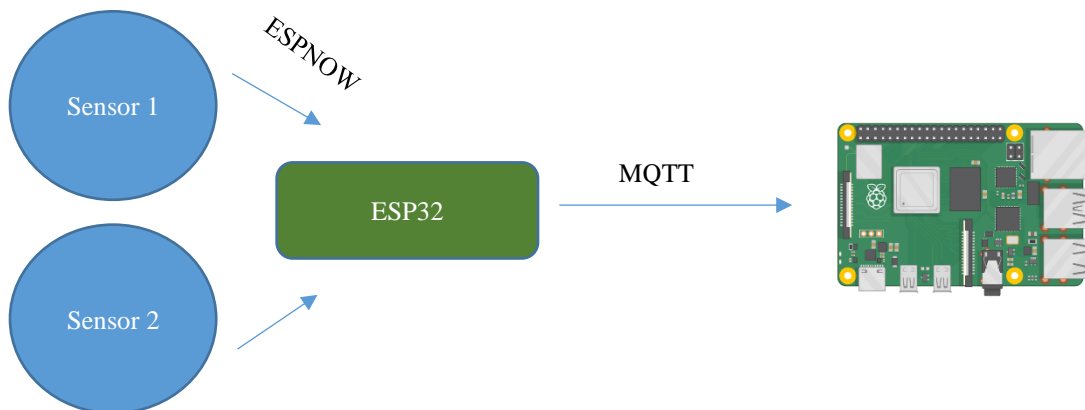


Figura 4. Esquema general del sistema de adquisición y transferencia de datos.



Se instaló un broker MQTT en la Raspberry Pi, que actúa como intermediario para recibir los datos de las tarjetas ESP32 [25, 28]. Se configura la interfaz para suscribirse a los tópicos MQTT correspondientes y recibir los datos enviados desde las ESP32. Se realizaron pruebas para asegurar el correcto funcionamiento de los sensores y la comunicación entre las ESP32, en las cuales se realizaron ajustes ya que físicamente el sensor MAX30102 debe encontrarse cubierto de manera que no se encuentre expuesto a la luz directamente ya que esto influye en las lecturas dando un error considerable, la ESP32 envía los datos a la Raspberry Pi a través de MQTT y que estos datos son almacenados adecuadamente en Firebase. Se implementa la lógica para enviar los datos recopilados a Firebase en tiempo real, utilizando los servicios de Google para el almacenamiento y gestión de la base de datos. Es muy importante realizar una comparación entre las mediciones obtenidas por el sistema y mediciones de referencia para evaluar la precisión del sistema, por lo cual las pruebas con un monitor de signos vitales comercial para, además se mide la velocidad de transmisión de los datos entre las ESP32 y la Raspberry Pi para evaluar la eficiencia del sistema [30, 31].

4. Resultados

Los resultados del estudio se basan en la adquisición precisa de constantes fisiológicas utilizando terminales inalámbricas que emplean tarjetas ESP32 y sensores especializados. Para garantizar la precisión de estas lecturas, se llevaron a cabo pruebas, incluyendo la calibración de los sensores y la evaluación de las condiciones ambientales. Las mediciones se realizaron en tiempo real, permitiendo un monitoreo constante de variables clave como la oxigenación, temperatura corporal, frecuencia cardíaca y presión arterial.

Para asegurar la trazabilidad de los datos, se implementaron medidas de seguridad y control de calidad a lo largo de todo el proceso, desde la adquisición inicial hasta el almacenamiento en una base de datos en la nube mediante el protocolo MQTT. Esto mejora la integridad y autenticidad de los datos, proporcionando una fuente confiable de información biomédica para su acceso y análisis.

La lectura en menor tiempo, puede contribuir en la toma de decisiones más oportunas de parte del profesional de la salud, se llevó a cabo un estudio detallado que demostró cómo el sistema contribuye significativamente a la toma de decisiones más eficaces y valiosas por parte del personal médico. El análisis se centró en casos de pacientes que fueron monitoreados con el sistema y se compararon las decisiones clínicas tomadas con y sin la información proporcionada por el sistema IoT. Los resultados mostraron una mejora significativa en la precisión y rapidez de las decisiones clínicas, lo que refuerza la utilidad y relevancia de esta tecnología en el entorno de la atención médica.

4.1 Características del sistema

Lecturas Precisas de Constantes Fisiológicas:

Las tarjetas ESP32, equipadas con sensores MAX30102 y termistores, demostraron un alto nivel de precisión y confiabilidad en la obtención de datos biomédicos. La combinación de estos sensores permitió la medición continua y no invasiva de parámetros críticos para el seguimiento de la salud del paciente, en la Tabla 2 se muestra la variabilidad de las mediciones realizadas con el dispositivo creado comparándola con las medidas realizadas por equipo médico certificado.



Tabla 2. Variación máxima en las mediciones.

PARÁMETRO	VARIACIÓN MÁXIMA
TEMPERATURA	±0.2°C
OXIGENACIÓN	±1%
RITMO CARDIACO	±2 lpm

Comunicación Inalámbrica y Trazabilidad de

Datos: La implementación de la comunicación inalámbrica mediante el protocolo MQTT y ESP-NOW permitió la transferencia eficiente y segura de los datos recolectados por las terminales inalámbricas a la Raspberry Pi respecto a las pruebas realizadas en diferentes medios de trabajo y a diferentes distancias de comunicación tal como se detallan en la Tabla 3, esta

información posteriormente se manda a Firebase [32]. Este enfoque demostró la transferencia y el almacenamiento seguro de los datos biomédicos en tiempo real, facilitando su acceso desde diferentes dispositivos en áreas específicas del hospital [33]. En la Figura 5 se muestra la recepción de datos obtenido mediante Firebase cerrando el ciclo de la comunicación.

Tabla 3. Pruebas de Funcionamiento del Sistema de Adquisición de Constantes Fisiológicas

PRUEBA	ENTORNO	CONDICIONES DEL ENTORNO	DISTANCIA DE COMUNICACIÓN	TIEMPO DE RETRASO
PRUEBA 1	Hospital	Edificio de un piso con muros de concreto	47metros entre muros	<5 segundos
PRUEBA 2	Área de Urgencias	Edificio con la arquitectura similar de área de urgencias	40 metros entre muros	< 2 segundos
PRUEBA 3	Ambulancia en Movimiento	Vehículo en movimiento con dispositivo radiofrecuencia en funcionamiento	1.5 metros en movimiento	<1 segundo
PRUEBA 4	Hogar del Paciente	Casa habitación	42 metros en diferente nivel	<3 segundos
PRUEBA 5	Instalaciones Deportivas	Espacio con aparatos de gimnasio con muros delgados.	54 metros	<6 segundos
PRUEBA 6	Instalaciones industriales	Espacio con maquinaria pesada y ruidosa en funcionamiento	48 metros	<5 segundos
PRUEBA 7	Zona Rural	Zona rural sin acceso a red móvil	32 metros	<2 segundos
PRUEBA 8	Área con condiciones extremas	Durante lluvia en carretera sin muros de por medio	43 metros	<2 segundos
PRUEBA 9	Bajo tierra	Aljibe 3.2 metros bajo el nivel del suelo	17 metros	<4segundos

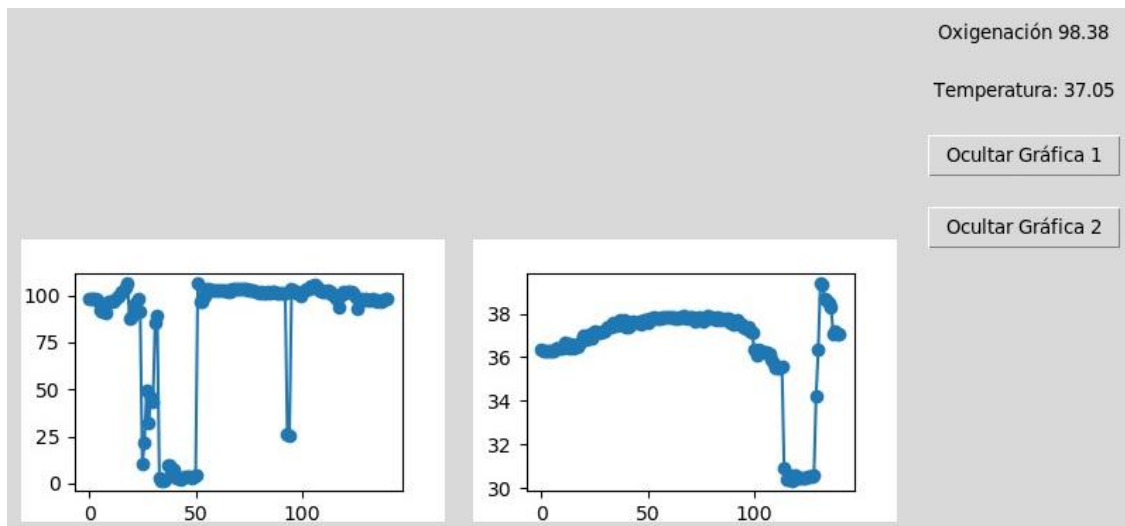


Figura 5. Datos recibidos en la Raspberry vía MQTT

Diseño Ergonómico y Portable: Se logró desarrollar un diseño ergonómico y portable para las terminales inalámbricas que se muestra en la Figura 6, permitiendo que los pacientes lleven consigo el dispositivo de monitoreo de

constantes fisiológicas cómodamente. La portabilidad y facilidad de uso del dispositivo fomentan la adherencia del paciente al monitoreo constante, lo que resulta fundamental para una atención médica efectiva y oportuna.



Figura 6. Primer prototipo impreso de la terminal inalámbrica

Alarmas de Audio: Se incorporaron alarmas de audio en el dispositivo, que alertan al paciente y al personal médico ante situaciones críticas o cambios significativos en las constantes fisiológicas. Estas alarmas contribuyen a una detección temprana de eventos médicos relevantes y permiten una respuesta rápida por parte del personal de salud.

Trazabilidad y Acceso desde Otras Áreas del Hospital: La arquitectura IoT implementada facilita el acceso a los datos biomédicos desde diferentes dispositivos en otras áreas del hospital. El personal médico puede consultar y seguir la evolución de las constantes fisiológicas del paciente desde cualquier ubicación dentro del



entorno hospitalario, mejorando la coordinación y el trabajo en equipo [34].

El sistema desarrollado tiene amplias aplicaciones en el ámbito de la atención médica, especialmente en hospitales y áreas de urgencias. Como la optimización del monitoreo constante de pacientes, el sistema permite una vigilancia continua y en tiempo real de las constantes fisiológicas, facilitando la detección temprana de cambios y eventos médicos relevantes.

Mejora en la toma de decisiones clínicas, los datos recopilados y visualizados mediante el sistema ofrecen información valiosa para el personal médico, lo que les permite tomar decisiones más fundamentadas y acertadas en la atención del paciente.

Mayor eficiencia en la atención médica, la trazabilidad de datos y la posibilidad de acceder a ellos desde otras áreas del hospital optimiza la coordinación y flujo de trabajo, lo que contribuye a una atención más eficiente y oportuna [35].

5. Conclusiones

El desarrollo del sistema de adquisición inalámbrica de constantes fisiológicas basado en tarjetas ESP32 y sensores MAX30102 y termistor ha arrojado resultados sumamente prometedores y significativos. A través de un proceso de investigación y desarrollo, se trata un área de gran importancia en el campo del monitoreo biomédico, abriendo la puerta a una serie de aplicaciones innovadoras que pueden revolucionar la atención médica y mejorar sustancialmente el cuidado del paciente.

En primer lugar, la eficiencia y precisión del Monitoreo constante proporcionado por nuestro sistema son grandes cualidades. La capacidad de obtener y transmitir datos biomédicos en tiempo real permite un monitoreo continuo de las

constantes fisiológicas de los pacientes, lo que es fundamental para una atención médica de calidad. Las mediciones precisas y confiables de parámetros críticos, como la oxigenación, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y la presión arterial, son esenciales para tomar decisiones médicas precisas y oportunas.

La implementación de la comunicación inalámbrica a través de protocolos como ESP-NOW y MQTT ha sido un pilar fundamental en nuestro sistema. Esta tecnología ha garantizado una transmisión eficiente de los datos entre las terminales ESP32 y la Raspberry Pi, lo que se traduce en una trazabilidad óptima de los datos biomédicos. Además, esta arquitectura de comunicación brinda un acceso rápido y seguro a la información desde diferentes dispositivos y áreas del hospital, mejorando la coordinación y la atención al paciente.

El diseño ergonómico y portátil del dispositivo de monitoreo ha sido cuidadosamente concebido para ofrecer una experiencia cómoda tanto para los pacientes como para el personal médico. Esta comodidad promueve la adherencia del paciente al monitoreo constante de sus constantes fisiológicas, lo que es esencial para un seguimiento efectivo de su salud. La portabilidad del dispositivo permite a los pacientes mantener su rutina diaria sin restricciones significativas, y las alarmas de audio garantizan que las situaciones críticas sean detectadas y abordadas de manera oportuna, aumentando la seguridad y la calidad de la atención.

Este sistema que hemos desarrollado tiene aplicaciones potenciales en una amplia gama de entornos de atención médica, desde hospitales hasta situaciones de urgencia y prehospitalarias. La capacidad de llevar a cabo un monitoreo continuo y no invasivo de las constantes fisiológicas lo convierte en una herramienta valiosa para la detección temprana de cambios en



la salud del paciente. Por ejemplo, haciendo una comparativa entre los métodos convencionales para la lectura de 4 parámetros fisiológicos y el sistema desarrollado. En la Figura 7 se observa

que con el método convencional se demoran un aproximado de 4.5 minutos en tener los 4 datos, y con el sistema desarrollado se tienen los mismos 4 en 1 minuto y con lecturas constantes.

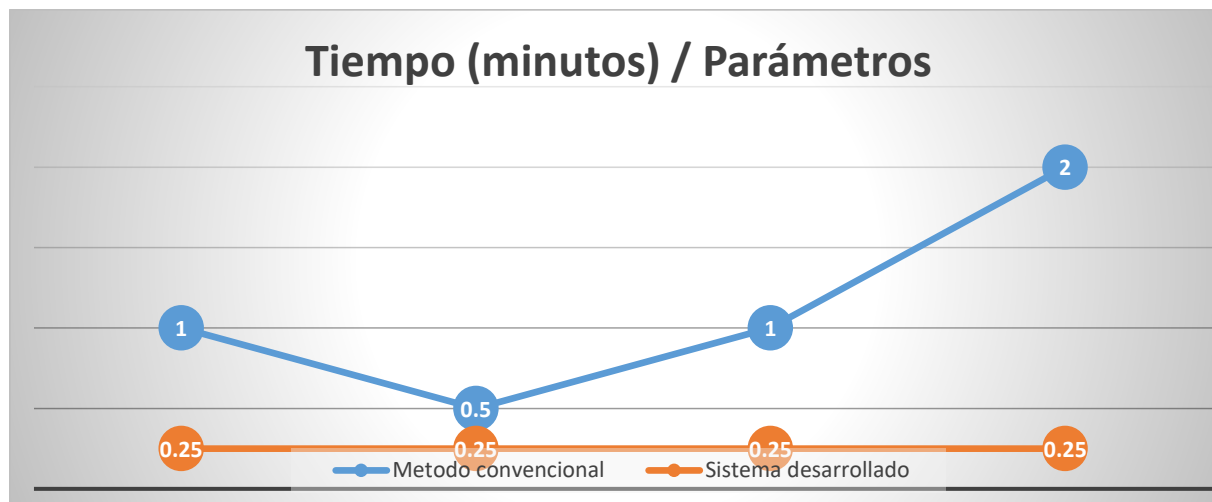


Figura 7. Comparación entre los tiempos de respuesta en el método convencional y con el sistema desarrollado.

Esto, a su vez, facilita la toma de decisiones médicas fundamentadas y la intervención oportuna, lo que puede marcar la diferencia en el pronóstico y la calidad de vida de los pacientes.

En resumen, nuestro sistema de adquisición inalámbrica de constantes fisiológicas representa un avance significativo en la atención médica y el monitoreo biomédico. Su capacidad para brindar mediciones precisas y continuas, su eficiencia en la transmisión de datos y su diseño ergonómico lo convierten en una herramienta valiosa con el potencial de transformar la forma en que se cuida a los pacientes y se toman decisiones médicas. Estamos entusiasmados por las perspectivas que este sistema ofrece y esperamos que su implementación contribuya de manera significativa al campo de la atención médica.

6. Agradecimiento de autoría

Víctor Becerra Tapia: Conceptualización; Metodología; Software; Validación; Análisis

formal; Escritura - Borrador original; Escritura - revisión y edición. *Victoria Téllez Victoria:* Conceptualización; Metodología; Validación; Investigación; Escritura - Borrador original; Visualización. *José Mariano Ramos Medina:* Recursos; Escritura - Borrador original. *Guillermo Rey Peñalosa Mendoza:* Conceptualización; Validación; Análisis formal; Escritura - revisión y edición; Supervisión. *Mario Salvador Castro Zenil:* Conceptualización; Software; Validación; Supervisión.

Referencias

- [1] B. V. N. Sousa, J. F. Teles y E. F. Oliveira. “Perfil, dificultades y particularidades en el trabajo de los profesionales de atención prehospitalaria móvil: una revisión integradora”. *Revista Electrónica Enfermería Actual en Costa Rica*, no. 38, pp. 17, 2020. ISSN 1409-4568. Disponible en: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/04/1090099/art17n38.pdf>
- [2] J. González-Robledo, F. Martín-González, M. Moreno-García, M. Sánchez-Barba y F. Sánchez-Hernández.



“Factores pronósticos relacionados con la mortalidad del paciente con trauma grave: desde la atención prehospitalaria hasta la Unidad de Cuidados Intensivos”. *Medicina Intensiva*, vol. 39, no 7, pp. 412-421, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.medin.2014.06.004>

[3] H. L. Ristori. “Respuesta prehospitalaria al evento con múltiples víctimas”. *Revista Médica Clínica Las Condes* vol. 22, no 5, pp. 556-565, 2011. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(11\)70466-7](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(11)70466-7)

[4] L. M. Pinet. “Atención prehospitalaria de urgencias en el Distrito Federal: las oportunidades del sistema de salud”. *Salud pública de México*, vol. 47, no 1, pp. 64-71. Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/spm/v47n1/a10v47n1.pdf>

[5] V. E. Balas, V. K. Solanki, R. Kumar and M. A. R. Ahad (ed.). “A handbook of internet of things in biomedical and cyber physical system”. Springer Nature Switzerland AG 2020. ISSN 1868-4394. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23983-1>

[6] Z. U. Ahmed, M. G. Mortuza, M. J. Uddin, M. H. Kabir, M. Mahiuddin and M. J. Hoque, "Internet of Things Based Patient Health Monitoring System Using Wearable Biomedical Device," 2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET), Dhaka, Bangladesh, 2018, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/CIET.2018.8660846>

[7] E. De Giovanni et al. “Intelligent Edge Biomedical Sensors in the Internet of Things (IoT) Era.” In: Aly, M.M.S., Chattopadhyay, A. (eds) *Emerging Computing: From Devices to Systems. Computer Architecture and Design Methodologies*. Springer, Singapore, pp. 407-433, Julio 2022. ISBN: 978-981-16-7487-7 https://doi.org/10.1007/978-981-16-7487-7_13

[8] A. Riley and E. Nica. “Internet of Things-based Smart Healthcare Systems and Wireless Biomedical Sensing Devices in Monitoring, Detection, and Prevention of COVID-19”. *American Journal of Medical Research*, vol. 8, no. 2, pp. 51-64, 2021. <https://doi.org/10.22381/ajmr8220214>

[9] S. Lewis. “Wearable Internet of Things healthcare systems: smart biomedical sensors, wireless connected devices, and real-time patient monitoring”. *American Journal of Medical Research*, vol. 7, no 1, pp. 55-60. <https://doi.org/10.22381/AJMR7120208>

[10] A.O. Putri, M. A. Ali, M. Saad and S. S. Hidayat. “Wearable sensor and internet of things technology for better medical science: A review”. *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 7, no 4, pp. 1-4, 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Sidiq-Syamsul-Hidayat/publication/328273211_Wearable_Sensor_and_Internet_of_Things_Technology_for_Better_Medical_Science_A_Review/links/5be00009299bf1124fbb89ef/Weara

[ble-Sensor-and-Internet-of-Things-Technology-for-Better-Medical-Science-A-Review.pdf](https://doi.org/10.1109/ENBENG.2013.6518413)

[11] C. Abreu and P. Mendes, "Wireless sensor networks for biomedical applications," *2013 IEEE 3rd Portuguese Meeting in Bioengineering (ENBENG)*, Braga, Portugal, 2013, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/ENBENG.2013.6518413>

[12] D. T. Harjono and A. S. Tamsir. “Biomedical sensor ECG, PPG, and spO2 based on Arduino Which Result from Comparison with Portable”. *Technical Report*, EasyChair: Manchester, UK, pp. 1-9 Julio 2020. Disponible en: <https://easychair.org/publications/preprint/QVVT>

[13] O. Gama, C. Figueiredo, P. Carvalho and P. M. Mendes, "Towards a Reconfigurable Wireless Sensor Network for Biomedical Applications," 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2007), Spain, 2007, pp. 490-495, <https://doi.org/10.1109/SENSORCOMM.2007.4394968>.

[14] G. A. Ramos-Leyva. “Sensor MAX30102 con Arduino para la detección de la oxigenación en la sangre”. *Revista Innova Ingeniería*, vol. 1, no. 6, pp. 54-61. Disponible en: <https://innovaingenieria.uagro.mx/innova/index.php/innova/article/view/79/40>

[15] M. Haghi, K. Thurow and R. Stoll. “Wearable devices in medical internet of things: scientific research and commercially available devices”. *Healthcare Informatics Research*, vol. 23, no. 1, pp. 4-15, Enero 2017. <https://doi.org/10.4258/hir.2017.23.1.4>

[16] A. Škraba, A. Koložvari, D. Kofjač, R. Stojanović, E. Semenkin and V. Stanovov, "Prototype of Group Heart Rate Monitoring with ESP32," *2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, Budva, Montenegro, 2019, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/MECO.2019.8760150>

[17] P. Bertoleti. *Proyectos con ESP32 y LoRa*. 1ra Edición. Sao Paulo Brasil: Editora Instituto NCB. 2019. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Doi0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=Proyectos+com+ESP32+y+LoRa.+&ots=mBqxDivKpk&sig=463N5y3XooURlEpJ86EAAbwLXA0&redir_esc=y#v=onepage&q=Proyectos%20com%20ESP32%20y%20LoRa.&f=false

[18] N. Chatterjee, S. Chakraborty, A. Decosta and A. Nath. “Real-time communication application based on android using Google firebase”. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, vol. 6, no. 4, pp. 74-79, Abril 2018. ISSN: 2321-7782. Disponible en:

https://www.researchgate.net/profile/Asoke-Nath-4/publication/324840628_Real-time_Communication_Application_Based_on_Android_Using_Google_Firebase/links/5ae721760f7e9b9793c82cb



[f/Real-time-Communication-Application-Based-on-Android-Using-Google-Firebase.pdf](#)

[19] G. T. Le, N. M. Tran and T. V. Tran. "IoT system for monitoring a large-area environment sensors and control actuators using real-time firebase database". *Intelligent Human Computer Interaction. Lecture Notes in Computer Science*, IHCI 2020, Daegu, South Korea, vol. 12616, pp. 3-20. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68452-5_1

[20] A. Al-Kababji et al., "IoT-Based Fall and ECG Monitoring System: Wireless Communication System Based Firebase Realtime Database," *2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)*, Leicester, UK, 2019, pp. 1480-1485, <https://doi.org/10.1109/SmartWorld-UIC-ATC-SCALCOM-IOP-SCI.2019.00267>

[21] D. P. Vélez. "Diseño de un dispositivo wearable para el monitoreo de la oxigenación y ritmo cardiaco". *Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica*, vol. 7, no. 1, pp. 485-492. Disponible en: <http://memoriascnib.mx/index.php/memorias/article/view/801>

[22] G. Jin, X. Zhang, W. Fan, Y. Liu and P. He. "Design of non-contact infra-red thermometer based on the sensor of MLX90614". *The Open Automation and Control Systems Journal*, vol. 7, no 1, pp. 8-20. Disponible en: <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOAUTOCJ/TOAUTOCJ-7-8.pdf>

[23] A. Sudianto, Z. Jamaludin, A. A. Abdul-Rahman, F. Muharrom and S. Novianto. "Smart temperature measurement system for milling process application based on mlx90614 infrared thermometer sensor with Arduino". *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, vol 72, no. 1, pp. 10-24, Agosto 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.37934/aram.72.1.1024>

[24] Q. N. Alsahi and A. F. Marhoon. "Design health care system using Raspberry pi and Esp32." *International Journal of Computer Applications*, vol. 177, no. 36, Febrero 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Qunoot-Alsahi/publication/363699075_Design_Health_care_system_using_Raspberry_Pi_and_ESP32/links/632ac74470cc936cd3236e76/Design-Health-care-system-using-Raspberry-Pi-and-ESP32.pdf

[25] Y. C. Tsao, F. J. Cheng, Y. H. Li and L. D. Liao. "An IoT-based smart system with an MQTT broker for individual patient vital sign monitoring in potential emergency or prehospital applications". *Emergency*

Medicine International, vol. 2022, Article ID 7245650, 13 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7245650>

[26] R. Rajeshwari, R. P. M, N. M. K and T. C, "Solitary Saline Monitoring with Alert and Control System Using IoT," *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, India, 2023, pp. 2129-2133, <https://doi.org/10.1109/ICACCS57279.2023.10112864>

[27] A. Hafid, S. Benouar, M. Kadir-Talha, F. Abtahi, M. Attari and F. Seoane, "Full Impedance Cardiography Measurement Device Using Raspberry Pi3 and System-on-Chip Biomedical Instrumentation Solutions," in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 22, no. 6, pp. 1883-1894, Nov. 2018, <https://doi.org/10.1109/JBHI.2017.2783949>

[28] K. Tejwani, J. Vadodariya and D. Panchal. "Biomedical Signal Detection using Raspberry Pi and Emotiv EPOC". In *Proceedings of the 3rd International Conference on Multidisciplinary Research & Practice (IJRSI)*, Ahmedabad Gujarat, India 2016, vol. 5, pp. 178-180. ISSN 2321-2705. Disponible en: <https://www.academia.edu/download/51127303/178-180.pdf>

[29] A. Zare and M. T. Iqbal, "Low-Cost ESP32, Raspberry Pi, Node-Red, and MQTT Protocol Based SCADA System," *2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, Vancouver, BC, Canada, 2020, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216412>

[30] J. A. Cabrera-Savinovich, D. S. Pérez-Sandoval and P. Chávez-Burbano. "Diseño y Simulación de Sistema de Videovigilancia para el Monitoreo de Cultivos y Control de Acceso del Personal". *Doctoral dissertation*, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2020. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/56321/1/T-112711-Cabrera_P%C3%A9rez.pdf

[31] F. Mahedero-Biot. "Desarrollo de una aplicación IoT para el envío de imágenes mediante el protocolo MQTT", *Doctoral dissertation*, Universitat Politècnica de València, 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/152408>

[32] J. Guasch-Llobera and M. Calleja Collado. "Monitorización de sensores con arduino utilizando el protocolo MQTT", *Bachelor's thesis*, Universitat Politècnica de Catalunya, 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/134193>

[33] J. Tardío-Rubio. "Diseño e implementación de trazabilidad y confianza de un sistema de donaciones y voluntariado con incentivos". *Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado*, E.T.S.I. Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Disponible en:



https://oa.upm.es/65447/9/TFG_JORGE_TARDIO_RUBI_O_1.pdf

[34] C. M. González Mejía and L. A. Rodríguez Sarmiento. “Diseño e implementación de una red de sensores para el monitoreo de señales biomédicas utilizando requerimientos de IoT con el grupo de investigación integra”, *Tesis de Licenciatura*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349>

</5893/GonzalezMejiaCristianManuel2017.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

[35] J. A. Canaviri-Torrez y J. C. Inca Flores. “Sistema inalámbrico de adquisición de señales biomédicas y monitoreo remoto de datos prehospitalarios mediante protocolo de red TCP/IP”, *Doctoral dissertation*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2015. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/9331>

Derechos de Autor (c) 2023 Víctor Becerra Tapia, Victoria Téllez Victoria, José Mariano Ramos Medina, Guillermo Rey Peñaloza Mendoza, Mario Salvador Castro Zenil



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)