

Sistema de monitoreo remoto de signos vitales basado en la placa ESP32

L. A. Blas, Margarita Galindo y M. I. García

Mantenimiento Industrial

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez

Xicotepec de Juárez, Pue.; México

[luisangel.blas, margarita.galindo, melissa.garcia]@utxicotepec.edu.mx

Abstract— Limited access to medical services in rural areas hinders the monitoring of vital signs, increasing the risk of health complications due to a lack of infrastructure and specialized personnel. To address this problem, a remote monitoring system based on the Internet of Things (IoT) is proposed. This system acquires, transmits, and stores data on body temperature, heart rate, and oxygen saturation. The system uses MLX90614 and MAX30100 sensors connected to an ESP32 board, which acquires and sends the data to the Firebase Realtime Database. The developed web application allows for real-time visualization of vital sign measurements via graphs on a laptop computer. This solution offers a low-cost alternative for remote monitoring.

Keyword— *Vital signs, ESP32, IoT, Firebase, remote monitoring.*

Resumen— El limitado acceso a servicios médicos en zonas rurales dificulta el monitoreo de signos vitales lo que aumenta el riesgo de complicaciones en la salud, debido a la falta de infraestructura y personal especializado. Para atender esta problemática se propone un sistema de monitoreo remoto basado en Internet de las Cosas (IoT) que adquiere, transmite y almacena datos de temperatura corporal, frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno. El sistema utiliza los sensores MLX90614 y MAX30100 conectados a una tarjeta ESP32, la cual adquiere y envía los datos a la base de datos de Firebase Realtime Database. La aplicación web desarrollada permitió visualizar en tiempo real las mediciones de los signos vitales mediante gráficas en una computadora portátil. Esta solución ofrece una alternativa de bajo costo para el monitoreo remoto.

Palabras claves— *Signos vitales, ESP32, IoT, Firebase, monitoreo remoto.*

I. INTRODUCCIÓN

El acceso oportuno a los servicios de salud en zonas rurales o de difícil alcance sigue siendo un desafío crítico, debido a la escasez de infraestructura médica y personal especializado [1]. Las barreras financieras y geográficas dificultan la cobertura de servicios médicos, aumentando el riesgo de complicaciones en la salud en las poblaciones pobres y más desfavorecidas [2]. Además, la falta de sistemas de monitoreo continuo obliga a los pacientes a desplazarse para recibir atención médica, lo que representa una barrera significativa para el seguimiento clínico.

El avance en las tecnologías de la información y comunicaciones ha contribuido a la creación del Internet de las Cosas (IoT), lo que ha permitido que numerosos dispositivos, sensores inalámbricos, electrodomésticos y equipos eléctricos se conectan a Internet mediante diferentes protocolos, tecnologías y arquitecturas [3]. Diferentes sectores como el agrícola [4], automovilístico [5], doméstico [6] y el cuidado de la salud [7] utilizan el IoT en alguna medida. Ante este panorama, las tecnologías del Internet de las Cosas se presentan como una alternativa para mejorar el acceso a servicios de salud mediante soluciones de monitoreo remoto [8, 9, 10, 11, 12]. Investigaciones recientes han demostrado que los sistemas IoT aplicados a la telemedicina permiten recopilar, enviar, almacenar y analizar en tiempo real parámetros fisiológicos críticos sin necesidad de interacción entre personas, facilitando la detección temprana de anomalías y la intervención médica oportuna [13, 14].

La integración de sensores para la medición de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre (SpO_2) y temperatura corporal, con microcontroladores dotados de conectividad inalámbrica como la tarjeta ESP32, permite la adquisición y transmisión de datos signos vitales hacia plataformas en la nube [15, 16, 17, 18]. Algunos estudios han desarrollado y validado sistemas de monitoreo en el que la ESP32, junto con los servicios que ofrece Firebase Realtime Database, permiten la recopilación, análisis de datos y monitoreo en tiempo real del estado de salud [19]. La visualización de los datos mediante una aplicación web mejora la capacidad de los profesionales de la salud para supervisar el estado de los pacientes a través de gráficas e indicadores en tiempo real [9, 10, 12, 19].

Las soluciones IoT pueden ayudar en el monitoreo remoto y reducir las brechas en atención en zonas rurales. Investigaciones y prototipos han validado el uso del sensor el MAX30102 para medir frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno en la sangre, y el sensor infrarrojo sin contacto MLX90614 para medir la temperatura corporal, en arquitecturas IoT que usan ESP32 y plataformas en la nube para la visualización en tiempo real en dispositivos portátiles de bajo costo [19, 20].

En zonas rurales o de difícil acceso, la falta de infraestructura médica y personal especializado dificulta la atención oportuna de la salud. Esta limitación provoca que enfermedades o alteraciones en los signos vitales no sean detectadas a tiempo, lo que aumenta el riesgo de complicaciones. La ausencia de un sistema de monitoreo continuo agrava la situación, ya que los pacientes deben desplazarse largas distancias para recibir atención médica básica. Es por ello que este artículo aborda el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de signos vitales (temperatura corporal, frecuencia cardíaca y nivel de oxígeno en la sangre) de bajo costo basado en el Internet de las Cosas, que permita adquirir, enviar y almacenar datos de los signos vitales en tiempo real para que los profesionales de la salud los visualicen en una aplicación web. Para adquirir datos de los signos vitales se utilizan dos sensores, el sensor infrarrojo MLX90614 se usa para medir la temperatura corporal y el sensor MAX30100 mide la frecuencia cardíaca y el nivel de saturación de oxígeno en la sangre. Estos sensores se conectan al cerebro del sistema de monitoreo, la tarjeta ESP32, elegida por las características técnicas como la conectividad Wi-Fi y Bluetooth. La placa ESP32 obtiene mediciones de los signos vitales mediante un código de programación desarrollado en Arduino IDE, el mismo código se encarga de enviar los datos a la plataforma Realtime Database de Firebase. En esta plataforma debe crearse una base de datos para el almacenamiento de datos de los signos vitales. Para que el sistema funcione la placa ESP32 debe estar conectada vía Wi-Fi a un router o algún dispositivo con conexión a internet. La visualización de los signos vitales se logra mediante el desarrollo de una aplicación web, para dispositivos móviles o una computadora portátil que presenta los datos a través de gráficas y etiquetas. En conjunto, esta propuesta representa una solución accesible para el seguimiento médico continuo, ofreciendo una alternativa para poblaciones con limitaciones geográficas y de infraestructura.

II. REVISIÓN TEÓRICA

A. Signos vitales

Los signos vitales son mediciones que permiten evaluar las funciones fisiológicas fundamentales del paciente. Para valorar el estado del paciente, además de la observación y del examen físico, se deben medir los datos objetivos relacionados con una serie de parámetros, que constituyen los denominados signos o constantes vitales: ritmo cardíaco, temperatura corporal, frecuencia respiratoria, presión arterial y también se considera la oximetría de pulso. En condiciones normales y de salud, cada una de las constantes vitales se mantiene en un intervalo de valores que se consideran normales o estandarizados. Estos valores pueden modificarse debido a una serie de factores fisiológicos, ambientales, psicológicos y patológicos. Cualquier alteración de los valores normales, orienta hacia un mal funcionamiento orgánico y por ende se debe sospechar de enfermedad. La mayor utilidad de las constantes vitales reside en su

observación continua y sus tendencias a lo largo del tiempo. El detrimento de los signos vitales es un indicador importante de un estado fisiológico comprometido, y la mejora de los valores confirma que el paciente podría estar respondiendo al tratamiento. En algunas circunstancias clínicas, es recomendable monitorizar los signos vitales continuamente [21].

B. Frecuencia cardíaca

La medición de la frecuencia cardíaca es un signo vital que proporciona información importante sobre el estado de salud de una persona. Es una medida fundamental en la medicina, se refiere al número de latidos del corazón por minuto y varía de una persona a otra. También se llama pulso y nos ayuda a detectar un ritmo cardíaco anormal.

Cuando se habla del corazón, es imposible no pensar en su función primordial: bombear sangre a todo el cuerpo. Las partes del corazón laten en una secuencia ordenada: la contracción (sístole) del órgano para impulsar sangre y su relajación (diástole), que permite se llene de sangre nuevamente [22]. La frecuencia con la que late el corazón varía en función de diversos factores, en reposo la frecuencia cardíaca en mujeres es más rápida que en hombres.

Durante el ejercicio físico, el ritmo cardíaco aumenta para satisfacer las demandas de oxígeno de los músculos en actividad. Además, el entorno en que se vive, emociones, como el miedo o la excitación, también pueden aumentar la frecuencia cardíaca [23]. Es importante destacar que el ritmo cardíaco no es constante a lo largo del día. Durante el sueño disminuye, mientras que, con la actividad física o el estrés, tiende a aumentar. La frecuencia cardíaca también depende de otros factores, como la edad, la condición física, medicamentos, sobrepeso, etc. Una frecuencia cardíaca anormalmente alta (taquicardia) o baja (bradicardia) puede ser indicativo de enfermedades cardíacas, desequilibrios electrolíticos, alteraciones del sistema endocrino, fiebre, entre otros [24].

Existen varias formas de monitorear o calcular la frecuencia cardíaca de una persona, desde los médicos que cuentan el número de pulsos en el brazo para calcular los latidos del corazón hasta la fotopletimografía (PPG) que es el método más utilizado en la mayoría de las pulseras de actividad física que monitorean diversas señales vitales, incluyendo el latido del corazón [25, 26]. La frecuencia cardíaca aceptada como normal oscila entre 60 y 100 latidos por minuto.

C. Temperatura corporal

La temperatura corporal es otro de los signos vitales importantes en la valoración clínica, que nos va a indicar el equilibrio entre la producción de calor del cuerpo que es principalmente uno de los productos intermedios más importantes del metabolismo celular, y su pérdida de calor hacia la atmósfera y el entorno [27]. La temperatura corporal normal del cuerpo humano no es un valor único, varía según la persona y dependiendo de diferentes factores como la edad, la actividad física, la hora del día, el ciclo menstrual en las mujeres, en qué parte del cuerpo se toma la medición y el estado de conciencia. La temperatura corporal se ve afectada en gran medida por varios factores tales como la circulación del aire, la temperatura ambiente, humedad, etc. [28]

Se distinguen dos tipos de temperatura en el organismo, la temperatura corporal central y la periférica (cutánea). La temperatura de los tejidos profundos del organismo o temperatura central suele permanecer muy constante, mientras que la temperatura de la piel aumenta y desciende con la temperatura del entorno [27].

Los lugares más comunes para medir la temperatura corporal son la cavidad bucal, la axila, el recto, el canal auditivo y la piel, cada una de estas partes tiene un rango de temperatura normal [29].

Considerando el tipo de contacto entre el termómetro y el objeto, los métodos pueden ser de contacto que son aquellos en los que el sensor de temperatura está en contacto directo con el objeto. Sin contacto, que se basan en el hecho de que todos los objetos emiten radiación térmica que puede ser detectada y medida por un sensor alejado de la superficie emisora. Para determinar la temperatura corporal se emplean diferentes dispositivos como el tradicional termómetro de mercurio, debido a los avances tecnológicos se pueden emplear otros dispositivos como el termómetro electrónico, el termómetro infrarrojo y el termómetro de oído. Numerosos investigadores han desarrollado diversos dispositivos portátiles para medir la temperatura corporal [30, 31, 32, 33]. La temperatura corporal normal puede variar entre 36.5 Celsius y 37.2 Celsius para un adulto sano.

D. Saturación de oxígeno en sangre (SpO_2)

En la atención al paciente es un parámetro que nos da los niveles de saturación de oxígeno en la sangre, esto es, mide la proporción de hemoglobina unida al oxígeno en comparación con la que permanece libre. La valoración de la oxigenación se realiza por métodos no penetrantes con un oxímetro de pulsos que se coloca fácilmente en la yema de un dedo o el lóbulo de la oreja.

El principio de funcionamiento de la oximetría de pulso se basa en la ley de Beer-Lambert. Esta ley mide la transmisión de la luz roja (longitud de onda de 600 a 750 nm) e infrarroja (longitud de onda de 850 a 1000 nm) a través de los lechos tisulares pulsátiles, lo que posteriormente determina las características de absorción de luz de la hemoglobina (Hb) oxigenada y desoxigenada. De acuerdo a la ley de Beer-Lambert, la intensidad de la luz transmitida disminuye exponencialmente a medida que aumentan tanto la concentración de la sustancia (debido a la absorción) como la distancia recorrida a través de ella. La Hb oxigenada absorbe más luz infrarroja y deja pasar más luz roja, por lo que se ve de color rojo brillante a simple vista. Por el contrario, la Hb desoxigenada (o reducida) absorbe más luz roja y deja pasar más luz infrarroja, por lo que se ve azul o cianótica [34]. Este cambio en la absorción de luz durante la pulsación arterial es la base de las determinaciones oximétricas. El rango normal debe estar entre el 95 y 100%.

E. Componentes Hardware y Software

- Tarjeta ESP32

La placa de desarrollo DevKit V1 NodeMCU-32 permite realizar prototipos de proyectos de dispositivos móviles, dispositivos electrónicos portátiles y aplicaciones del Internet de las Cosas, Figura 1. Integra en una placa el sistema en módulo (SoM) ESP-WROOM-32 fabricado por Espressif Systems, el cual es un potente módulo microcontrolador (MCU) genérico Wi-Fi + Bluetooth LE, diseñado para una amplia variedad de aplicaciones, desde redes de sensores de bajo consumo hasta las tareas más exigentes y tiene como base al sistema en un chip (SoC) ESP32 de Espressif Systems.

En el núcleo del módulo ESP32-WROOM-32 se encuentra el ESP32-D0WDQ6, un microprocesador Xtensa de doble núcleo de 32 bits LX7 que opera a una velocidad de hasta 240 MHz. El chip cuenta con memoria ROM de 448 KB, memoria SRAM de 520 KB, memoria SRAM en reloj en tiempo real (RTC) rápida de 8 KB y memoria SRAM en RTC lenta de 8 KB.

ESP32-WROOM-32 tiene 30 pines en total distribuidos en pines de señal de habilitación (EN) del módulo, para alimentar directamente el ESP32 (VIN), fuente de alimentación de 3.3V, tierra (GND) y pines de entrada/salida de propósito general (GPIO) a los que se les pueden asignar diversas funciones mediante la programación de los registros correspondientes. Los pines de entradas/salidas trabajan a 3.3V. El chip ESP32-D0WDQ6 integra un conjunto de periféricos digitales como SPI, I2C, I2S, UART, controlador de conteo de pulsos, PWM, etc. Y periféricos analógicos como ADC, DAC, sensor táctil, etc.

El chip integra comunicación Wi-Fi 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s) y comunicación Bluetooth v4.2 BR/EDR y Bluetooth Low Energy (BLE) [35].

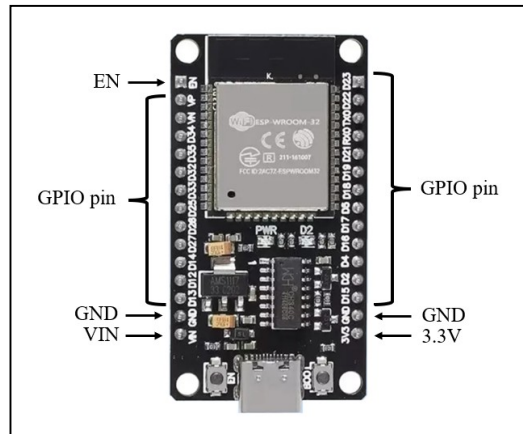


Fig. 1. Placa de desarrollo DevKit V1 NodeMCU-32.

- MAX30100

El sensor MAX30100 es un dispositivo que utiliza un método no invasivo para medir el nivel de saturación de oxígeno en sangre (SpO_2) y la frecuencia cardíaca en el cuerpo humano, Figura 2. El módulo cuenta con un LED (diodo emisor de luz) que emite luz roja con una longitud de onda de 660 nm y un led que emite luz infrarroja con una longitud de onda de 940 nm. La luz emitida incide sobre el dedo y es absorbida por la sangre oxigenada, la luz restante se refleja a través del dedo e incide en el detector, este se encarga de procesar la señal y emitir una salida. Es importante mencionar que la luz detectada por el sensor varía de acuerdo a la concentración de oxígeno en la sangre, la sangre oxigenada absorbe mayor cantidad de luz infrarroja, mientras que la sangre poco oxigenada absorbe mayor luz roja.

El MAX30100 funciona con fuentes de alimentación de 1.8 V y 3.3 V. Tiene siete pines VIN, SCL, SDA, INT, IRD, RD, y GND. Los pines SCL y SDA, se utilizan en el protocolo de comunicación serial I2C, se encargan de transportar los datos entre dispositivos y generar los pulsos de reloj para sincronizar la transferencia de datos respectivamente [36].

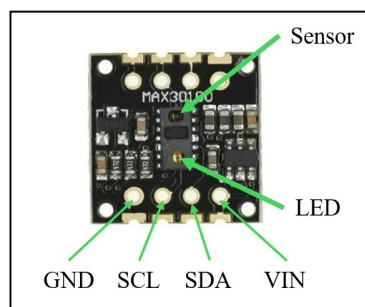


Fig. 2. Sensor MAX30100.

- Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614 (GY-906)

El sensor MLX90614 (MLX90614ESF-BAA), desarrollado por Melexis, permite medir la temperatura de un objeto a distancia sin necesidad de contacto físico. El módulo se compone de dos partes, el sensor de temperatura infrarroja y el circuito de procesamiento de señal. El sensor es un chip de silicio que cuenta con una membrana microelectromecánica sensible a la radiación infrarroja emitida por los objetos. En el interior hay una etapa de amplificación y conversión analógica-digital (ADC) que

procesa la señal originada por la membrana. El sensor produce una salida lineal y se compensa según las variaciones de la temperatura ambiental, la señal digital generada puede ser leída por un microcontrolador.

El sensor se distingue por su alta precisión en el rango de temperatura de -70°C a $+380^{\circ}\text{C}$, tiene una resolución de 0.02°C y un campo de visión de 90° . Dispone de una interfaz de comunicación digital SMBus compatible con el protocolo I2C. Este sensor también integra un filtro de ruido, un ADC de 17 bits de resolución y un procesador digital de señales (DSP). El voltaje de operación V_{IN} es de 3.3V a 5V, Figura 3 [37].

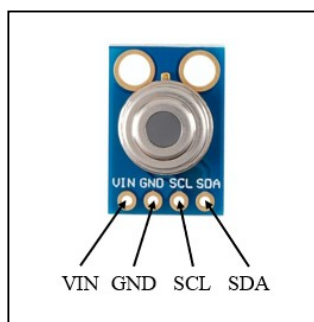


Fig. 3. Sensor MLX90614 (GY-906).

- Firebase

Es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles de Google que ayuda a crear, mejorar y hacer crecer la aplicación. Tiene muchos servicios que se utilizan para administrar datos desde cualquier dispositivo Android, iOS y web, por lo que Firebase es un conjunto completo de herramientas que incluye cosas como autenticación, base de datos, almacenamiento, etc. y todos esos servicios están alojados en la nube. Firebase pertenece a Google y permite no solo utilizar los recursos de bases de datos, es una plataforma que permite el desarrollo de Apps que ayudan a compilar y lanzar App para iOS, Android, Flutter, Unity, C++, etc. Es multiplataforma que ofrece servicios como verificación de aplicaciones, autenticación, conexión de datos, hosting, Realtime Database, etc. [38]

- Firebase Realtime Database

Es una base de datos alojada en la nube, los datos se almacenan en formato JSON y se sincronizan en tiempo real con cada cliente conectado. Firebase Realtime Database permite almacenar y sincronizar datos de distintos usuarios en tiempo real. Facilita el acceso a los datos para los usuarios desde cualquier dispositivo, web o móvil y nos ayuda a los usuarios a colaborar entre sí. Siempre que actualices los datos en la base de datos en tiempo real, se almacenan los datos en la nube y se notifica simultáneamente a los dispositivos interesados en milisegundos. La base de datos en tiempo real también está optimizada para usarla sin conexión. Si el usuario pierde la conexión, el SDK de la base de datos usa una cache local en el dispositivo para procesar y almacenar los cambios. Cuando el usuario vuelva a conectarse, los datos locales se sincronizarán automáticamente. Permite usar un lenguaje de reglas basadas en expresiones, llamado reglas de seguridad de Firebase Realtime Database que define como debe estructurarse la base de datos y cuándo se pueden leer o escribir los datos. Cuando se integran en Firebase Authentication, se puede definir quién puede acceder a datos específicos y como acceder a ellos [38].

III. METODOLOGÍA

El monitoreo remoto de signos vitales requiere leer datos a través de sensores y el envío de estos datos a una base de datos en la nube, empleando como cerebro del sistema una tarjeta ESP32. Para almacenar los datos o mediciones de los signos vitales en una base de datos, se crea un proyecto de Firebase con Realtime Database para recibir los datos que son enviados desde la ESP32. Se construye el sistema físico de monitoreo que consiste de los sensores MLX90614 y MAX30100 conectados a una tarjeta ESP32. Se desarrolla el programa para adquirir las mediciones de los signos vitales como la temperatura corporal, frecuencia cardíaca y nivel de oxígeno en la sangre. Se crea una aplicación web para acceder a la base de datos desde cualquier parte en el mundo, siempre que exista conexión a internet, lo que permite llevar a cabo el monitoreo remoto de signos vitales mediante un dispositivo móvil o una computadora portátil. En la aplicación web los datos de los signos vitales se desplegarán de manera gráfica y en etiquetas, en la Figura 4 se muestra un diagrama general.

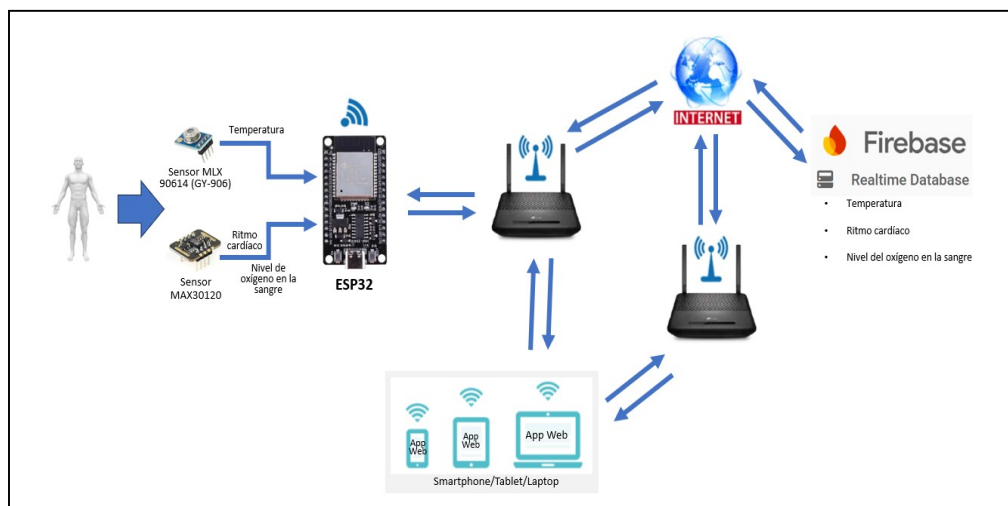


Fig. 4. Diagrama general del proyecto.

A. Crear proyecto en Firebase

La interfaz de Firebase es muy intuitiva y no es complicado seguir los pasos para lograr la configuración. Se debe acceder a Firebase desde cualquier navegador web, a continuación, se inicia sesión con una cuenta de Google (correo electrónico de gmail) y se crea un nuevo proyecto, Figura 5. Al comenzar con un proyecto de Firebase se debe asignar un nombre al proyecto y aceptar las condiciones. También está la opción de habilitar la asistencia de IA Gemini en el proyecto.

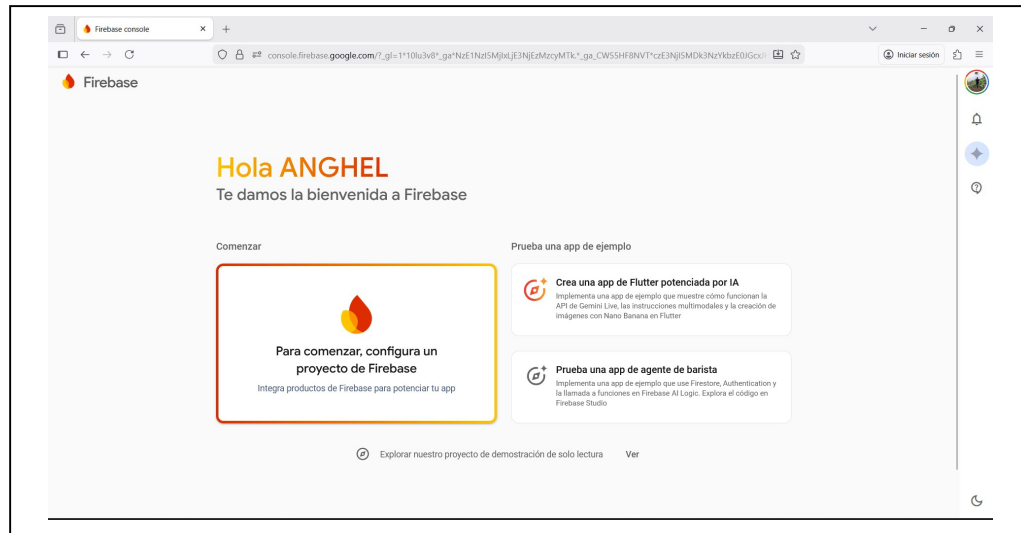


Fig. 5. Crear proyecto en Firebase.

B. Establecer método de autenticación

La configuración del método de autenticación se encarga verificar la identidad de un usuario o dispositivo de una aplicación, antes de permitirle el acceso a un servicio o recurso, Figura 6. La autenticación permite proteger los datos, comunicaciones y sistemas contra accesos no autorizados. Conocer la identidad de un usuario permite que una aplicación guarde de forma segura los datos del usuario en la nube. En particular, la ESP32 se autentica como usuario y el método empleado es correo electrónico y contraseña que se declaran en el código de programación desarrollado en Arduino IDE, este método de autenticación debe configurarse en Firebase. Para configurar el método de autenticación en Firebase existen varios proveedores de inicio de sesión, entre los que se pueden elegir está el correo electrónico y contraseña, teléfono, cuenta de Google, cuenta de Facebook, etc. Para fines de prueba se selecciona el inicio de sesión anónimo.

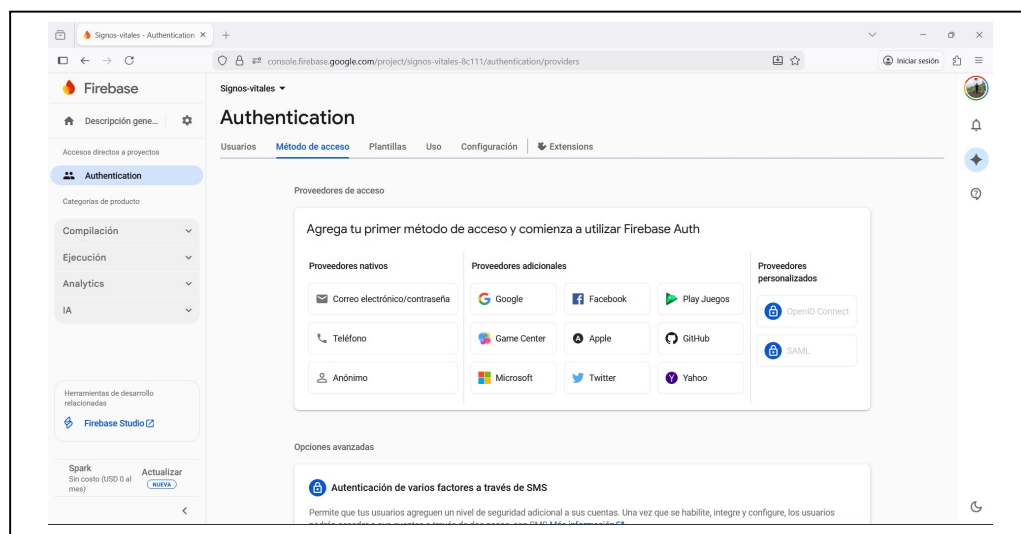


Fig. 6. Métodos de acceso a Firebase.

C. Configurar una base de datos en tiempo real

Para crear una base de datos en tiempo real, en la barra lateral izquierda de la interfaz se busca Realtime Database y dar clic en Crear una base de datos, Figura 7. En las opciones de base de datos se elige el servidor que se encuentre más cerca a nuestra ubicación que es donde se almacenarán los datos. En las reglas de seguridad para la base de datos se realiza una configuración rápida, se selecciona la opción Comenzar en modo de prueba y con esto nuestros datos se abre de forma predeterminada.

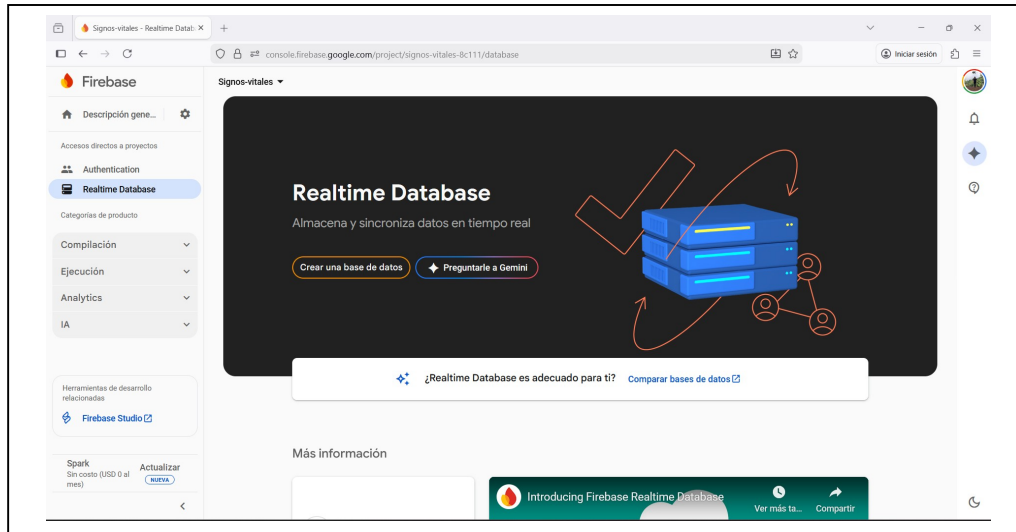


Fig. 7. Crear base de datos.

Una vez que la base de datos en tiempo real se ha creado, es importante copiar y guardar la URL de la base de datos, debido a que se utiliza en el código de programación de la ESP32, Figura 8. Cuando se haga la conexión con la tarjeta ESP32, los datos pueden ser utilizados en aplicaciones o en un sitio web junto con los servicios de Firebase para poder visualizarlos.

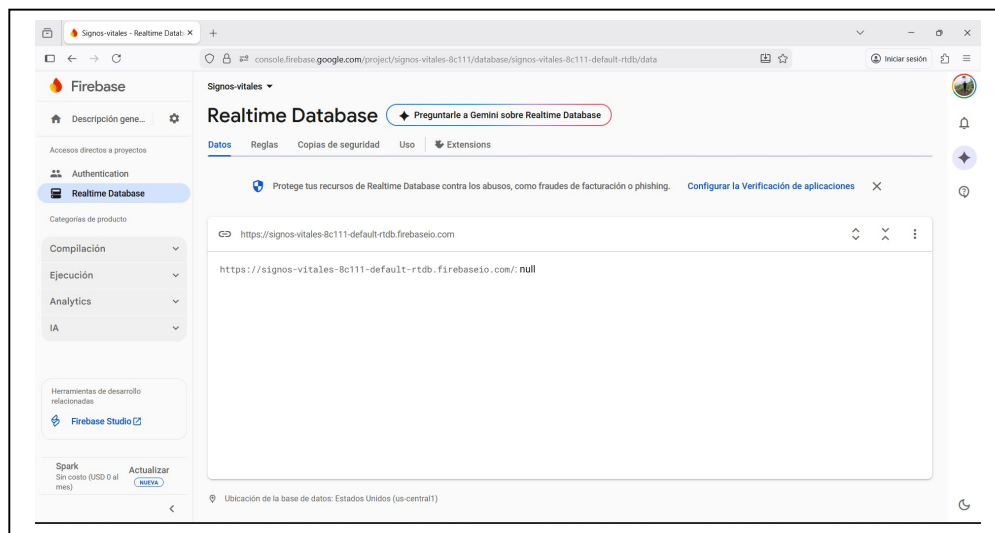


Fig. 8. Base de datos en tiempo real configurada para desplegar datos.

D. Obtener la clave API del proyecto

Se necesita obtener la clave API del proyecto para interactuar con el proyecto creado en Firebase usando la ESP32, para esto, dar clic en el icono de engrane en la barra lateral izquierda y seleccionar Configuración de proyecto, Figura 9. En la pestaña General se mostrará la información sobre el proyecto y la Clave de API web, se copia y guarda para utilizarla en el código de programación de la ESP32. Con este último paso se finaliza el proyecto en Firebase y estamos listos para conectar esta base de datos en tiempo real con la ESP32.

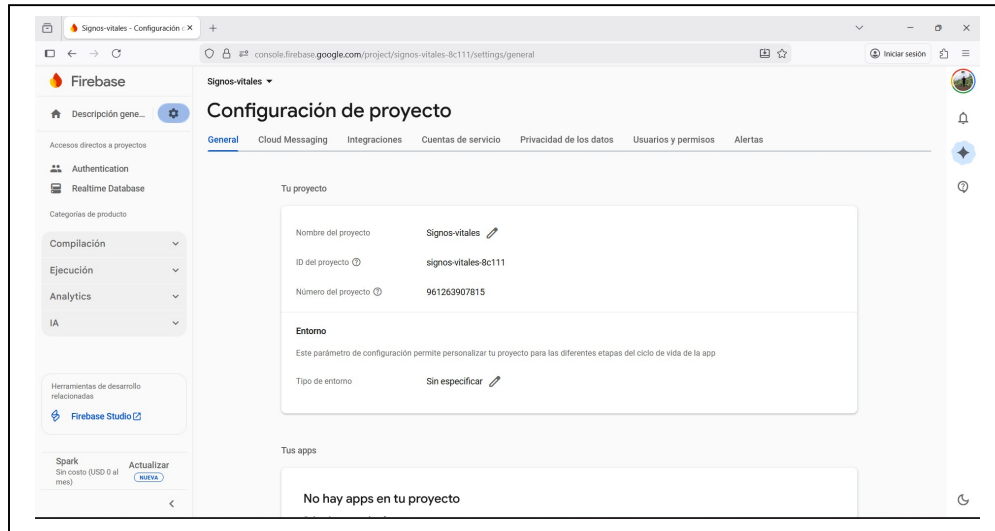


Fig. 9. Configuración para obtener la clave API del proyecto.

E. Diagrama de conexión

Para medir la temperatura corporal se emplea el sensor infrarrojo MLX90614, la medición de la frecuencia cardíaca y el nivel de saturación de oxígeno en sangre se obtiene mediante el sensor MAX30100.

El diagrama de conexión de los sensores y la placa ESP32 se presenta en la Figura 10, donde se muestra que el sensor MAX30100 se energiza con 3.3V, esto significa que los pines VIN y GND se conectan a los pines 3.3V y GND de la ESP32. Los pines SCL y SDA del sensor se conectan a los pines GPIO21 y GPIO22 de la placa ESP32, estos son los pines predeterminados para el protocolo de comunicación I2C. Para el correcto funcionamiento del sensor infrarrojo MLX90614, este se alimenta con 3.3V, esto es, los pines VIN y GND se conectan a los pines 3.3V y GND de la ESP32, para la comunicación mediante el protocolo I2C los pines SCL y SDA del sensor se conectan a los pines GPIO16 y GPIO17 de la placa ESP32.

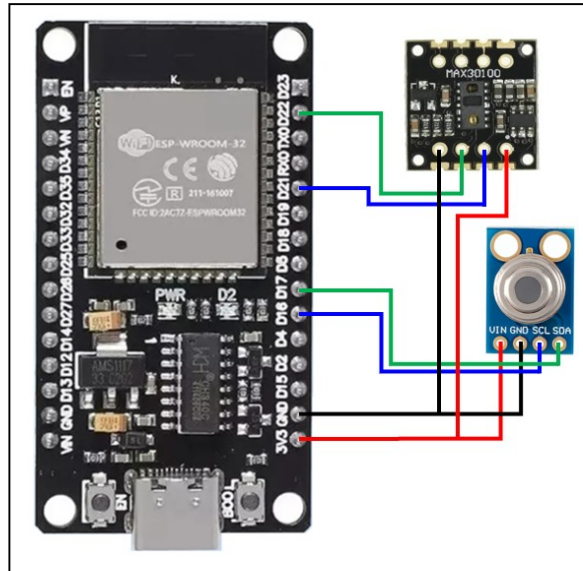


Fig. 10. Diagrama de conexión.

F. Instalación de bibliotecas y desarrollo del programa

Antes de empezar con el desarrollo del programa para obtener datos de los sensores, es importante mencionar que la aplicación Arduino IDE estándar no tiene incluida la tarjeta ESP32. La solución es agregar en la configuración del IDE la URL del gestor de placas, esto permitirá programar la placa ESP32 y otras placas basadas en el Sistema en Chip (SoC, del inglés system on a chip).

Para el correcto funcionamiento de los sensores, conectividad de la tarjeta y el envío de datos a la nube, se necesita la instalación de bibliotecas desde el gestor de bibliotecas, esto es, Sketch > Incluir biblioteca > Gestionar bibliotecas, se buscan los nombres de las bibliotecas y se instalan. El sensor MAX30100 requiere la instalación de la biblioteca MAX30100lib de Oxullo Intersecans y el sensor MLX90614 necesita la biblioteca Adafruit MLX90614 library. Para utilizar Firebase y poder enviarle datos, se debe instalar la biblioteca Firebase Arduino Client Library. La biblioteca Wi-Fi se instala de manera automática al instalar el complemento de la ESP32 en Arduino IDE, en el encabezado del código se debe incluir la biblioteca WiFi.h para poder utilizar las funciones del Wi-Fi de la ESP32.

Una vez instaladas las principales bibliotecas se inicia con el desarrollo del programa cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 11. El programa inicia con la configuración del hardware, donde se inicializan los sensores MAX30100 y MLX90614 para la obtención de signos vitales. Posteriormente, la ESP32 establece la conexión Wi-Fi y se autentica en Firebase. El sistema realiza lecturas continuas: el MLX90614 mide la temperatura corporal sin contacto, mientras que el MAX30100 actualiza de manera constante los valores de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno. Cada dos segundos se genera un objeto JSON con los valores de los signos vitales mencionados y se envía a Firebase Realtime Database para el monitoreo remoto. El proceso se repite de forma indefinida, permitiendo monitoreo en tiempo real.

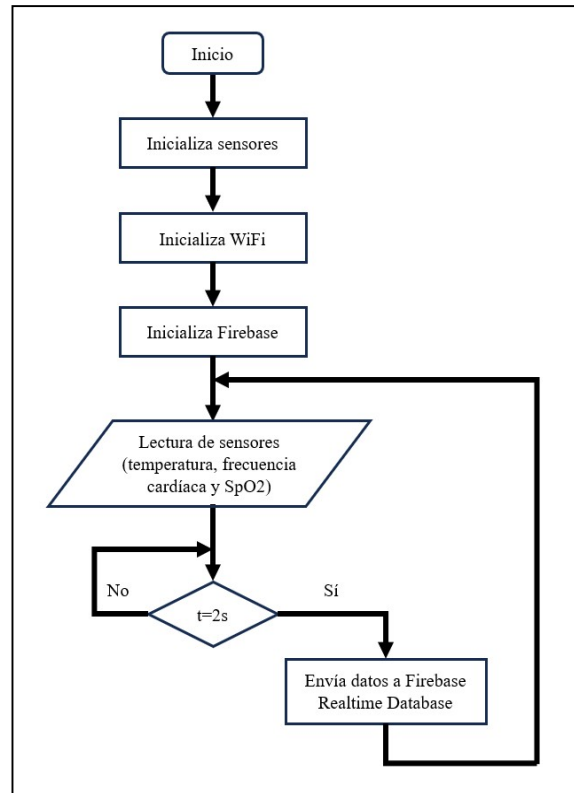


Fig. 11. Diagrama de flujo.

Los datos enviados a Firebase Realtime Database se visualizan en una aplicación web instalada en un dispositivo móvil o en computadora portátil como se muestra en el diagrama en la Figura 4.

IV. RESULTADOS

En la Figura 12 se presenta el montaje electrónico basado en la tarjeta ESP32, actuando como unidad principal de procesamiento y comunicación. A la ESP32 se conecta el sensor MLX90614 mediante I2C para la medición de temperatura sin contacto y el sensor MAX30100, cuyo LED rojo indica funcionamiento mientras envía datos de ritmo cardíaco y oxigenación también mediante I2C. Se incluyen resistencias para el sensor MAX30100, cuyo objetivo es estabilizar o asegurar el funcionamiento del bus. El circuito permite que la ESP32 procese las señales captadas por ambos sensores y las utilice para llevar a cabo el monitoreo de los signos vitales. Este montaje constituye la base para enviar los datos adquiridos hacia servicios en la nube como Firebase. El sensor MAX30100 se fija al dedo mediante una liga y el sensor MXL90614 se puede ajustar para que quede fijo con la ayuda de los cables utilizados para su conexión.

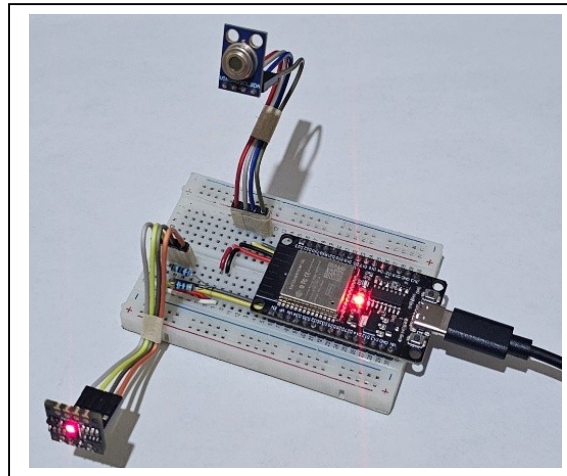


Fig. 12. Circuito del sistema de monitoreo.

En el desarrollo de la aplicación web se utiliza HTML + CSS + JavaScript, lo que resulta en una interfaz gráfica diseñada para visualizar en tiempo real los datos de los signos vitales adquiridos mediante los sensores MAX30100 y MLX90614, ver Figura 13. La interfaz está organizada en tres secciones principales, cada una dedicada a un parámetro fisiológico: temperatura corporal, ritmo cardíaco y saturación de oxígeno. Cada sección combina dos elementos: un gráfico temporal situado a la izquierda y un indicador numérico a la derecha. Los gráficos presentan el comportamiento de los valores a lo largo del tiempo, con escalas etiquetadas en los ejes y una línea base que permitirá observar tendencias o variaciones conforme se reciban nuevas lecturas. A la derecha de cada gráfico se muestra el valor numérico más reciente obtenido desde la base de datos. Estos indicadores están diseñados para ofrecer una lectura rápida y simplificada del estado actual del paciente.



Fig. 13. Interfaz de monitoreo para la visualización de signos vitales.

En Realtime Database se están recibiendo las mediciones de los tres signos vitales: temperatura corporal, ritmo cardíaco y nivel de saturación de oxígeno en la sangre. Cuando el dato leído por el

sensor cambia, se actualiza la medición en Realtime Database esto puede notarse en la Figura 14 porque la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal están dentro en un rectángulo color naranja. Estos datos se envían a la aplicación web para mostrarse en gráficas.

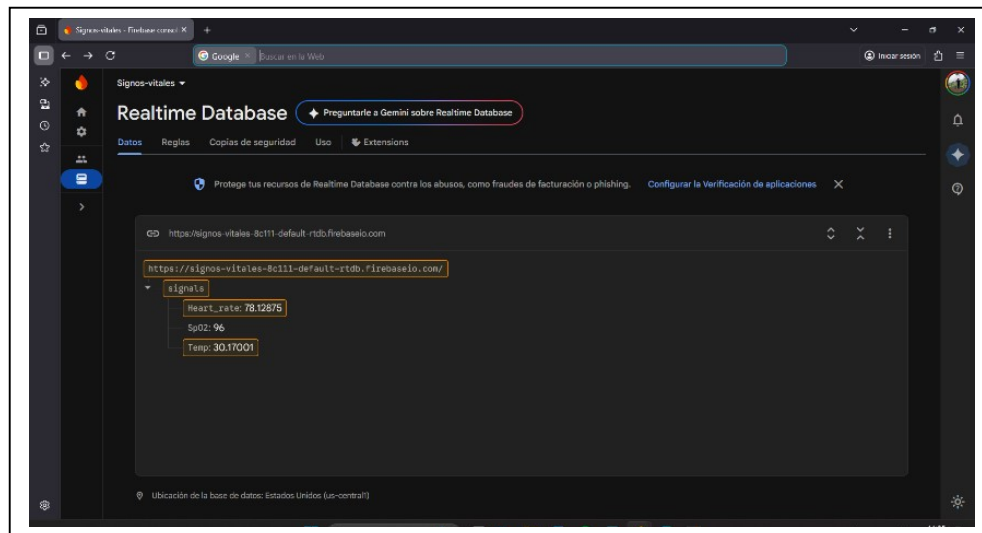


Fig. 14. Datos recibidos en Realtime Database.

Se realizaron mediciones para corroborar el funcionamiento del sistema de monitoreo remoto. En la Figura 15 se muestran mediciones de tres signos vitales, puede notarse que en la primera gráfica en $t = 20s$ hay un ligero aumento de la temperatura, esto se debe a que la persona se movió y el sensor tomó mediciones de una parte diferente a la zona en la que estaba sensando. En la segunda gráfica se muestra la frecuencia cardíaca, puede notarse que la medición es muy sensible si el dedo se mueve del sensor, es por eso por lo que en $t = 12s$ la frecuencia cardíaca aumentó y posteriormente disminuyó, finalmente en $t = 18s$ se estabilizó. Y la gráfica del nivel de oxígeno en la sangre permanece constante durante el monitoreo.

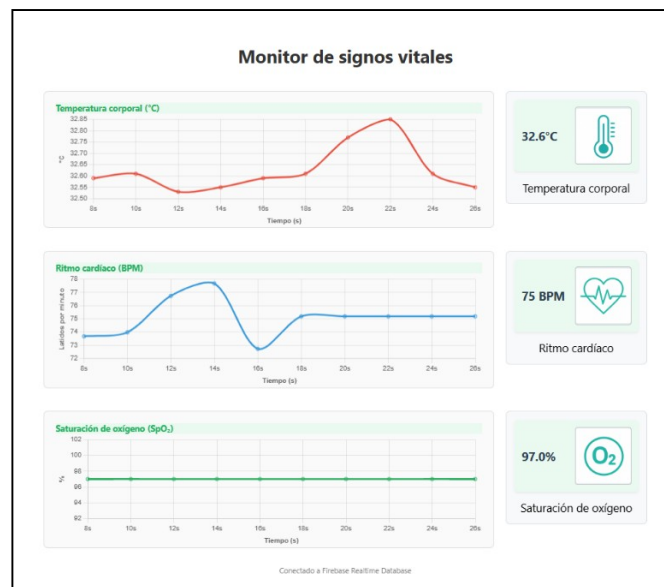


Fig. 15. Interfaz de monitoreo para la temperatura corporal, ritmo cardíaco y saturación de oxígeno.

V. CONCLUSIONES

El sistema físico de monitoreo demostró ser funcional para el monitoreo remoto de tres signos vitales, la integración de los sensores MAX30100 y MLX90614 con la tarjeta ESP32 permitió obtener mediciones de temperatura corporal, frecuencia cardíaca y nivel de oxígeno en la sangre. El programa desarrollado para la ESP32 cumplió adecuadamente con la adquisición y el envío de datos de forma continua a la base de datos de Firebase Realtime Database. La integración con Firebase permite el almacenamiento y actualización continua de los valores de los signos vitales.

La aplicación web desarrollada demostró ser una herramienta efectiva para la visualización de los signos vitales, ya que al conectarse con Firebase Realtime Database se logró graficar los datos en tiempo real, esto facilita el monitoreo remoto desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

El sistema en su conjunto confirma la viabilidad de implementar soluciones de monitoreo utilizando hardware de bajo costo, demostrando que tecnologías como la ESP32, sensores, conectividad inalámbrica y servicios en la nube pueden emplearse para monitorear signos vitales en tiempo real, incluso en entornos con recursos limitados.

REFERENCIAS

- [1] Mohammadzadeh, N., Rezayi, S., & Saeedi, S. (2023). Telemedicine for patient management in remote areas and underserved populations. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 17, e167.
- [2] World health statistics 2021: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [3] Mansour, M., Gamal, A., Ahmed, A. I., Said, L. A., Elbaz, A., Herencsar, N., & Soltan, A. (2023). Internet of things: A comprehensive overview on protocols, architectures, technologies, simulation tools, and future directions. *Energies*, 16(8), 3465.
- [4] Zeng, H., Dhiman, G., Sharma, A., Sharma, A., & Tselykh, A. (2023). An IoT and Blockchain - based approach for the smart water management system in agriculture. *Expert Systems*, 40(4), e12892.
- [5] Kumar, N., Acharya, D., & Lohani, D. (2020). An IoT-based vehicle accident detection and classification system using sensor fusion. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(2), 869-880.
- [6] Magara, T., & Zhou, Y. (2024). Internet of things (IoT) of smart homes: privacy and security. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2024(1), 7716956.
- [7] Alshammari, H. H. (2023). The internet of things healthcare monitoring system based on MQTT protocol. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 275-287.
- [8] Durán-Vega, L. A., Santana-Mancilla, P. C., Buenrostro-Mariscal, R., Contreras-Castillo, J., Anido-Rifón, L. E., García-Ruiz, M. A., & Estrada-González, F. (2019). An IoT system for remote health monitoring in elderly adults through a wearable device and mobile application. *Geriatrics*, 4(2), 34.
- [9] Mohammed, B. G., & Hasan, D. S. (2023). Smart Healthcare Monitoring System Using IoT. *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, 17(1), 141-152.
- [10] Acharya, A. D., & Patil, S. N. (2020, March). IoT based health care monitoring kit. In 2020 Fourth international conference on computing methodologies and communication (ICCMC) (pp. 363-368). IEEE.
- [11] Yew, H. T., Ng, M. F., Ping, S. Z., Chung, S. K., Chekima, A., & Dargham, J. A. (2020, February). Iot based real-time remote patient monitoring system. In 2020 16th IEEE international colloquium on signal processing & its applications (CSPA) (pp. 176-179). IEEE.
- [12] Biswas, S., Chowdhury, C., Acharya, B., & Liu, C. M. (2022). Internet of Things Based Smart Healthcare.

- [13] Dang, L. M., Piran, M. J., Han, D., Min, K., & Moon, H. (2019). A survey on internet of things and cloud computing for healthcare. *Electronics*, 8(7), 768.
- [14] Kelly, J. T., Campbell, K. L., Gong, E., & Scuffham, P. (2020). The Internet of Things: Impact and implications for health care delivery. *Journal of medical Internet research*, 22(11), e20135.
- [15] Gunawan, R., Andang, A., & Ridwan, M. (2023). Performance comparison for hearth rate signal detection for different location in fingertip and wrist using sensor max30102. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, 59, 131-143.
- [16] Sangeethalakshmi, K., Preethi, U., Pavithra, S., & Shanmuga Priya, V. (2023). Patient health monitoring system using IoT. *Materials Today: Proceedings*, 80, 2228-2231.
- [17] KK, M. R., Zidan, R., Alsarraj, I., & Hasan, B. (2023, December). Iot-based wireless patient monitor using esp32 microcontroller. In *2023 24th International Arab Conference on Information Technology (ACIT)* (pp. 1-6). IEEE.
- [18] Sujitha, V., Aishwarya, B., & Vishnu Sanjana, V. (2022, March). IoT based healthcare monitoring and tracking system for soldiers using ESP32. In *2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)* (pp. 377-381). IEEE.
- [19] Efendi, A., Ammarullah, M. I., Isa, I. G. T., Sari, M. P., Izza, J. N., Nugroho, Y. S., ... & Alfian, D. (2025). IoT - Based Elderly Health Monitoring System Using Firebase Cloud Computing. *Health Science Reports*, 8(3), e70498.
- [20] Umiatin, U., Laut, T. N., Ifa, R. P. N., & Faisal, M. R. (2024, October). Development Of Smart Band For Vital Signs Monitoring System Based On Internet Of Things. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2866, No. 1, p. 012043). IOP Publishing.
- [21] Roberts, J. R. (2019). Roberts and Hedges' Clinical Procedures in Emergency Medicine and Acute Care. Elsevier Health Sciences.
- [22] Guyton, A. C., & Hall, J. (2006). *Tratado de Fisiología Medica* Guyton. Elsevier 2021.
- [23] Reena Tiwari, Ravindra Kumar, Sujata Malik, Tilak Raj, Punit Kumar, Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability, *Current Cardiology Reviews*; Volume 17, Issue 5, Year 2021, e160721189770.
- [24] Chávez, R. I. (2012). *Manual de urgencias cardiovasculares*. Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, 4a. McGraw Hill Mexico.
- [25] Sadek, I., & Biswas, J. (2019). Nonintrusive heart rate measurement using ballistocardiogram signals: A comparative study. *Signal, Image and Video Processing*, 13(3), 475–482.
- [26] Charlton, P. H., Kyriacou, P., Mant, J., & Alastruey, J. (2020). Acquiring wearable photoplethysmography data in daily life: The PPG diary pilot study. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2(1), 80.
- [27] Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. Elsevier.
- [28] Gaura, E., Kemp, J., & Brusey, J. (2013). Leveraging knowledge from physiological data: On-body heat stress risk prediction with sensor networks. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 7(6), 861–870.
- [29] Roberts, J. R. (2017). Roberts and Hedges' Clinical Procedures in Emergency Medicine and Acute Care E-Book: Roberts and Hedges' Clinical Procedures in Emergency Medicine and Acute Care E-Book. Elsevier Health Sciences.
- [30] Popovic, Z., Momenroodaki, P., & Scheeler, R. (2014). Toward wearable wireless thermometers for internal body temperature measurements. *IEEE Communications Magazine*, 52(10), 118–125.
- [31] Miozzi, C., Amendola, S., Bergamini, A., & Marrocco, G. (2017). Reliability of a re-usable wireless epidermal temperature sensor in real conditions. In *2017 IEEE 14th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*. IEEE.

- [32] Looney, D. P., Buller, M. J., Gribok, A. V., Leger, J. L., Potter, A. W., Rumpler, W. V., et al. (2018). Estimating resting core temperature using heart rate. *Journal for the Measurement of Physical Behaviour*, 1(2), 79–86.
- [33] ASTM E1965 - 98(2016) “Standard Specification for Infrared Thermometers for Intermittent Determination of Patient Temperature”.
- [34] Vacanti, C., Segal, S., Sikka, P., & Urman, R. (Eds.). (2011). *Essential clinical anesthesia*. Cambridge University Press.
- [35] Espressif Systems. (2025). ESP32-WROOM-32 Datasheet Version 3.6 [En línea]. Disponible en: https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf
- [36] Maxim Integrated Products, Inc. (2014). Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health, MAX30100 [En línea]. Disponible en: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/max30100.pdf>
- [37] Melexis. (2025). Datasheet for MLX90614 rev. 020 [En línea]. Disponible en: <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>
- [38] Firebase. (s.f.). Firebase developer documentation. Firebase Realtime Database. Recuperado el 06 de octubre de 2025 de <https://firebase.google.com/docs/database>