

SISTEMA EMBEBIDO PORTABLE PARA EL MONITOREO DE SIGNOS VITALES DE FORMA REMOTA EN LA APLICACIÓN BIOMÉDICA HOSPITALARIA

Morán-Solano, María Guadalupe*; Reyes-Sánchez, Iris Azucena; Gómez-Jordán, Claudia
Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, Cerro de Coatepec S/N, Colonia
Universidad, C.P. 50110, Toluca, México

mgmorans@uamex.mx, ireyes140@alumno.uaemex.mx, claudia_gomezjordan@yahoo.com.mx

RESUMEN

En los servicios de hospitales, clínicas de salud, cruz roja y específicamente en el servicio de urgencias (SU), llegan pacientes con gran variedad de cuadros clínicos, y es de suma importancia la determinación de los signos vitales (SV) que indican el estado funcional del paciente. Los signos vitales son indicadores que reflejan el estado fisiológico de los órganos vitales. Por esto, se presenta el sistema embebido para el monitoreo de signos vitales de forma remota en la aplicación biomédica hospitalaria. El sistema consta de un microcontrolador ESP32 quien facilitará el monitoreo de signos vitales de la temperatura, la oxigenación y la frecuencia cardíaca del paciente en tiempo real. Los datos recopilados por el sistema son enviados a la plataforma Arduino donde son visualizados por la enfermera o el médico, tanto en la computadora como en la pantalla LCD, obteniendo los signos vitales de los pacientes y una atención médica personalizada.

Palabras Clave: Sistema embebido, Signos Vitales, ESP32

ABSTRACT

In hospital services, health clinics, red cross and specifically the emergency department (ED), patients arrive with a wide variety of clinical pictures, and the determination of the patient's vital signs that indicate it is functional state is of utmost importance. Vital signs are indicators that reflect the physiological state of the patient. Hereby, it is presented the embedded system to monitor vital signs remotely in hospital biomedical application. The system consists of an ESP32 microcontroller that will facilitate vital signs monitoring such as temperature, oxygenation and the patient's heart rate in real time. The data collected by the system are sent to the Arduino platform where it is visualized by the nurse or doctor, whether in a computer or the LCD screen, for gathering of patients' vital signs and personalized medical attention.

Keywords: Embedded System, Vital Signs, ESP32

1. INTRODUCCIÓN

La salud es un estado complementario de suma importancia para una persona, así como también para la población mundial y local. [1]. El sistema de salud a nivel mundial se caracteriza por su cobertura universal, calidad de servicios y eficiencia. A nivel nacional prioriza aumentar la calidad en la atención médica, modernizar e integrar el sector salud en uno solo sistema. A nivel estatal, Jalisco en su Programa Sectorial de Salud, menciona disponer de un sistema único, público gratuito y equitativo de

salud que garantice el acceso efectivo de todos los mexicanos a servicios de salud de calidad. [2]

A nivel local, hay 2 servicios de salud, la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) o Unidad de Terapia Intensiva (UTI). Es el área del hospital, en la que se encuentran médicos y enfermeras especializados y entrenados, que cuenta con equipo de monitoreo, diagnóstico, tratamiento y otros elementos necesarios para la adecuada atención de pacientes en estado agudo crítico que ameritan atención inmediata e intensiva con posibilidades razonables de recuperación. También se menciona en el apéndice M (normativo) UCI equipo, M.1.2.2 Monitor de signos vitales: con ECG (Electrocardiógrafo) de dos canales para presión invasiva, presión no invasiva, temperatura y oximetría de pulso. En el apéndice Q (Normativo) SU, no se cuenta con un monitor de signos vitales, tienen termómetro, estetoscopio, medidor de oxigenación de forma independiente y estuche de diagnóstico completo (que contiene instrumentos médicos oftalmoscopio, otoscopio y faringoscopio). [3]

El Servicio de Urgencias (SU), es el conjunto de áreas, equipos, y personal profesional y técnico del área de la salud, ubicados dentro de un establecimiento público, social o privado, destinados a la atención inmediata de una urgencia médica. [4]

La urgencia clínica (UC) es definida como aquella situación que requiere atención sanitaria especializada inmediata. La Unidad de Urgencias (UU) es uno de los servicios de los hospitales en los cuales la presión asistencial se ha visto aumentada constantemente por parte de la población a la que asiste. El profesional de enfermería de urgencias es el encargado de proporcionar cuidados a personas enfermas con problemas de salud en situación crítica, principalmente tomando información de los SV. [5]

De ahí la importancia de mencionar que una de las políticas para admisión y atención al paciente en SU (enfermería), {menciona: 8. la atención a todas las constantes vitales del enfermo}. [6]. Lo que conlleva a tomar los SV de todos los pacientes que lleguen a consulta. Esta medición de SV la realizan de forma independiente y de manera manual, lo que provoca pérdida de tiempo en esta actividad. Se han desarrollado sistemas y dispositivos utilizando diferentes aplicaciones biomédicas en la medición de SV para que sea práctica, rápida y efectiva.

Debido a la necesidad de equipos médicos en el 2020 y 2021 [1] implementaron un prototipo basado en un monitor multiparamétrico remoto para almacenar datos de SV. Utilizaron una tarjeta Raspberry módulo de wifi, sensores de medición de saturación de oxígeno en la sangre (SOP2) frecuencia respiratoria, temperatura, la electrografía y la presión no invasiva. Todos los datos fueron tomados en una base de datos que se enviaron por la red wifi.

El acceso al servicio de salud para personas que viven en zonas rurales es más difícil que para personas que viven en la ciudad, debido a las distancias entre los centros de salud y este sector las personas no se realizan exámenes y evaluaciones de rutina, por lo cual presentan problemas más serios al momento de obtener un diagnóstico médico. Debido a esto, implementaron un dispositivo electrónico portable para la supervisión de signos vitales de personas alejadas a los servicios de salud con un microcontrolador Arduino Nano para el procesamiento de datos, un sensor de pulso cardíaco XD-58C, sensor de temperatura MLX90614 y sensor de presión cardíaca MPX500P, además utilizaron wifi para comunicarse y enviar datos hacia una herramienta informática online para ser visualizados y analizados por el personal médico encargado. [7]

En [8] presentan el diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de signos vitales dirigido a pacientes con atención domiciliaria con un enfoque especial en zonas rurales o de difícil acceso. Mide variables fisiológicas frecuencia cardíaca, oxigenación en la sangre, temperatura corporal y presión arterial utilizando 2 microcontroladores ESP32, utilizaron tecnología LoRa para la comunicación entre los módulos.

La información relacionada a la monitorización de parámetros biomédicos (temperatura corporal, saturación de oxígeno y pulso) en un paciente, se pueden leer de forma remota. Ellos utilizaron una tarjeta Raspberry Pi 4 para la monitorización, un microcontrolador ESP 32, un sensor de pulsaciones por minuto y porcentaje de oxígeno en sangre MAX30102, un sensor de temperatura MAX30205, un sensor de luz ambiente y comunicación wifi. [9]

En la pandemia de COVID-19 surgió la necesidad crítica de soluciones de monitoreo médico innovadoras que se adaptaran a situaciones de aislamiento, así como la limitación de los contactos físicos, lo que provocó una demanda de sistemas de monitoreo remoto capaces de mantener una vigilancia constante sobre los pacientes. De ahí la propuesta del monitoreo de signos vitales (oximetría, presión arterial y temperatura corporal) utilizando un microcontrolador PIC 18F4550 y Arduino nano que se comunican con una Raspberry Pi para su conexión a internet, sólo se realizaron mediciones. [10]

Este trabajo presenta el sistema embebido portable para el monitoreo de SV de forma remota en la aplicación biomédica hospitalaria. Específicamente en unidades clínicas, servicios de urgencias, en casas particulares y zonas rurales para la medición de los SV. Se utiliza un controlador ESP32, un sensor MAX30102 para medir la oxigenación en la sangre y la frecuencia cardíaca, un sensor MLX90614 para medir

temperatura corporal, una pantalla LCD (Pantalla de Cristal Líquido), el IDE (entorno de desarrollo integrado) de Arduino y la comunicación I2C para comunicarse con la computadora

2. APLICACIONES BIOMÉDICAS HOSPITALARIAS

Las aplicaciones biomédicas en hospitales abarcan una amplia gama de tecnologías y dispositivos diseñados para mejorar el diagnóstico, tratamiento y monitoreo de pacientes.

Específicamente, las aplicaciones biomédicas en los servicios de urgencias han evolucionado con el uso de nuevas tecnologías para mejorar la atención y el diagnóstico de pacientes.

2.1. Ejemplos

Se muestran algunos ejemplos de aplicaciones biomédicas utilizadas en hospitales:

1.- Monitorización remota de pacientes: dispositivos portátiles que permiten el seguimiento en tiempo real de SV como la presión arterial y la frecuencia cardíaca.

2.- Impresión 3D para prótesis y modelos anatómicos: se usa para crear prótesis personalizadas y modelos anatómicos que ayudan en la planificación quirúrgica.

3.- Nano tecnología aplicada a dispositivos médicos: se emplea en sensores avanzados para mejorar diagnósticos y tratamientos de enfermedades.

4.- Realidad aumentada y virtual en cirugía: facilita la planificación de procedimientos quirúrgicos y la formación médica mediante simulaciones interactivas.

5.- Dispositivos wearables para enfermedades cardiovasculares: tecnología portátil que monitorea en tiempo real a pacientes con insuficiencia cardíaca.

La mayoría de estas aplicaciones se utilizan en hospitales que disponen de tecnologías avanzadas que les permiten monitorizar a un paciente de manera completa o realizarle todas las pruebas médicas que necesite in situ. Pero si un médico tiene que desplazarse al domicilio de un paciente, o a SU para realizarle alguna prueba médica. o un usuario que no es médico quiere monitorizar su estado, no dispondrán de la misma tecnología, ya que los sistemas de medición de SV que se utilizan en los hospitales son insuficientes y no están hechos para ser usados fuera de ellos.

3. SISTEMA EMBEBIDO PORTABLE

Un sistema embebido portable tiene varios elementos esenciales que le permiten funcionar de manera eficiente y cumplir con el propósito específico.

3.1. Estructura del sistema embebido

Los elementos principales que conforman el sistema embebido para el monitoreo de los signos vitales se muestran en la Figura 1. A través de un diagrama a bloques. Lo esencial es medir los signos vitales del paciente que son: temperatura corporal (Tc), frecuencia cardíaca (Fc) y oxigenación (Ox).

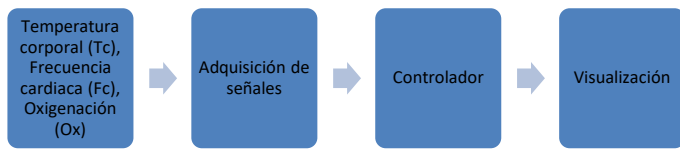


Figura 1. Diagrama del Sistema embebido.

1.- Adquisición de señales. Teniendo los signos vitales que se van a medir. La adquisición de SV se realiza con los siguientes sensores biométricos MLX90614 y MAX30102. En la Figura 2, se muestran las representaciones de cada uno de los sensores. El MLX90614 es un sensor de temperatura infrarrojo que detecta la Tc del paciente a cierta distancia de su cuerpo. Es un módulo que tiene 4 pines que son: Vin (3Vcd), GND (tierra), líneas de reloj de señal (SCL), líneas de datos de señales (SDA), éstas últimas se conectan directamente al controlador ESP32. El sensor recoge la radiación y su salida es una señal eléctrica proporcional a la temperatura. [11]

El MAX30102 es un sensor óptico con luz roja e infrarroja que basa su funcionamiento en el distinto comportamiento que la sangre tiene hacia la luz, en función de su grado de saturación de oxígeno. La sangre oxigenada absorbe mayor cantidad de luz infrarroja, mientras que la sangre poco oxigenada, absorbe mayor luz roja. El sensor se coloca sobre el dedo índice o la muñeca, detecta la luz reflejada y determina el grado de saturación. Es un sensor de frecuencia cardiaca (BPM) y oxigenación en sangre (SpO2). Tiene 4 pines que son: VIN (3Vcd), GND (tierra), líneas de reloj de señal (SCL), líneas de datos de señales (SDA), éstas últimas se conectan directamente al controlador ESP32. Ambos sensores realizan la comunicación a través de bus I2C. [12]

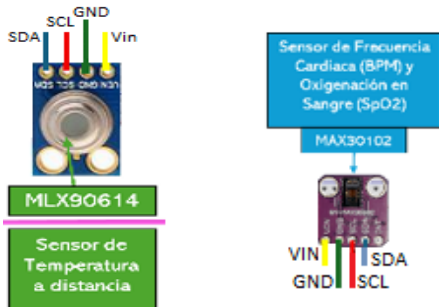


Figura 2. Sensores biométricos MLX90614 y MAX30102.

La conexión de los sensores con el controlador y a la PC (computadora personal) para caracterizarlos se muestra en la Figura 3.

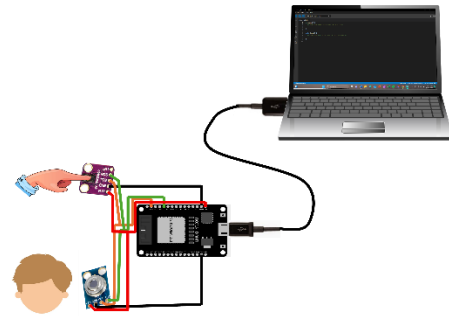


Figura 3. Conexión de los sensores al ESP32 y a la PC.

El sensor MLX90614 se caracterizó para comprobar su funcionamiento, se realizaron 20 mediciones de temperatura a un paciente, se visualizó una variación de 1°C como se muestra en la Figura 4, y la curva característica se muestra en la Figura 5.

Temperatura del paciente: 33.1 °C
Temperatura del paciente: 33.0 °C
Temperatura del paciente: 33.2 °C
Temperatura del paciente: 33.2 °C
Temperatura del paciente: 33.1 °C
Temperatura del paciente: 33.2 °C
Temperatura del paciente: 33.3 °C
Temperatura del paciente: 33.5 °C
Temperatura del paciente: 33.4 °C
Temperatura del paciente: 33.4 °C
Temperatura del paciente: 33.6 °C
Temperatura del paciente: 33.5 °C
Temperatura del paciente: 33.5 °C
Temperatura del paciente: 33.6 °C
Temperatura del paciente: 33.6 °C
Temperatura del paciente: 33.7 °C
Temperatura del paciente: 33.8 °C
Temperatura del paciente: 33.8 °C
Temperatura del paciente: 33.9 °C
Temperatura del paciente: 34.0 °C

Figura 4. Mediciones de temperatura en un paciente.

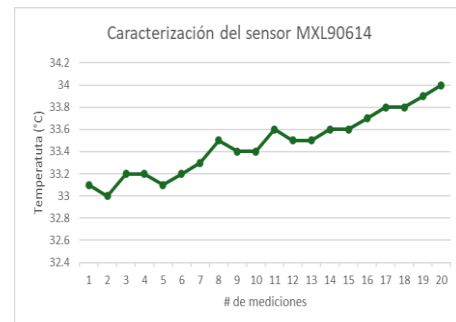


Figura 5. Curva característica del sensor MLX90614.

También se caracterizó el sensor MAX30102, para verificar su funcionamiento en cuanto a la oxigenación y frecuencia cardiaca. Se realizaron 11 mediciones de oxigenación en la sangre a un paciente, se visualizó una variación de 4.3% como se muestra en la Figura 6 y la curva característica se muestra en la Figura 7.

Red: 184687	IR: 195411	Estimación SpO ₂ : 86.4 %
Red: 201773	IR: 232814	Estimación SpO ₂ : 88.3 %
Red: 180957	IR: 232714	Estimación SpO ₂ : 90.6 %
Red: 200757	IR: 233544	Estimación SpO ₂ : 88.5 %
Red: 200445	IR: 233825	Estimación SpO ₂ : 88.6 %
Red: 178905	IR: 231995	Estimación SpO ₂ : 90.7 %
Red: 178995	IR: 232273	Estimación SpO ₂ : 90.7 %
Red: 194359	IR: 215344	Estimación SpO ₂ : 87.4 %
Red: 99867	IR: 102783	Estimación SpO ₂ : 85.7 %
Red: 174210	IR: 228115	Estimación SpO ₂ : 90.9 %

Figura 6. Mediciones de oxigenación en la sangre en un paciente.

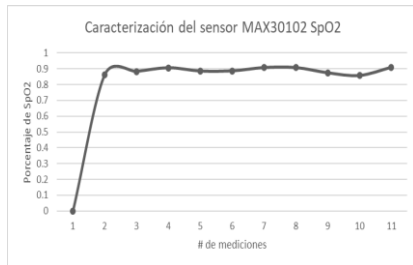


Figura 7. Curva característica del sensor MAX30102 SpO₂.

Para verificar el funcionamiento del sensor de frecuencia cardiaca, se realizaron 20 mediciones a un paciente, se visualizó una variación de 10 BMP como se muestra en la Figura 8. La curva característica se muestra en la Figura 9.

Latido detectado! BPM: 78.33	Promedio: 82
Latido detectado! BPM: 85.71	Promedio: 82
Latido detectado! BPM: 80.86	Promedio: 80
Latido detectado! BPM: 78.12	Promedio: 80
Latido detectado! BPM: 80.86	Promedio: 80
Latido detectado! BPM: 80.65	Promedio: 79
Latido detectado! BPM: 83.10	Promedio: 80
Latido detectado! BPM: 88.50	Promedio: 82
Latido detectado! BPM: 83.10	Promedio: 83
Latido detectado! BPM: 85.71	Promedio: 84
Latido detectado! BPM: 80.86	Promedio: 84
Latido detectado! BPM: 94.34	Promedio: 85
Latido detectado! BPM: 78.33	Promedio: 84
Latido detectado! BPM: 85.96	Promedio: 84
Latido detectado! BPM: 78.12	Promedio: 83
Latido detectado! BPM: 88.50	Promedio: 82
Latido detectado! BPM: 83.33	Promedio: 83
Latido detectado! BPM: 80.86	Promedio: 82
Latido detectado! BPM: 80.86	Promedio: 82
Latido detectado! BPM: 88.50	Promedio: 82

Figura 8. Mediciones de frecuencia cardiaca en un paciente.

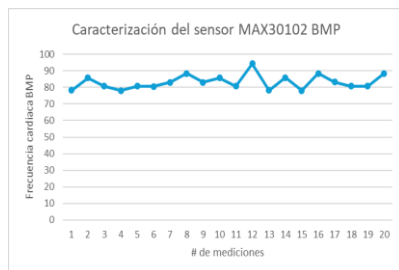


Figura 9. Curva característica del sensor MAX30102 BMP.

2.- Controlador. Para la realización del procesamiento de los datos se utiliza un microcontrolador ESP32 [13] que se muestra en la Figura 10, tiene la función de procesar y convertir los datos que le lleguen de los sensores. Su alimentación es de 3.7Vcd con una batería de litio. Es el cerebro del sistema, ejecuta

instrucciones y gestiona recursos. Los datos recopilados por el sensor son enviados al ESP32 donde son visualizados por la enfermera o médico en la LCD o PC a través de un conector micro USB que se conecta a la computadora y se programa con el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Arduino, ya que reconoce al ESP32. Esto lo realiza en tiempo real. El ESP32 se comunica por wifi, bluetooth, I2C o interfaces de comunicaciones para conectar con otros dispositivos.

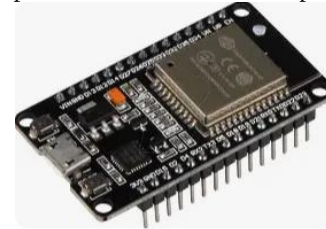


Figura 10. Microcontrolador ESP32.

3.- Visualización. Las señales que recibe la LCD de 4 líneas como se muestra en la Figura 11, son los datos de SV que serán visualizados de la Tc, Fc y Ox de cada uno de los pacientes.



Figura 11. Pantalla LCD.

4. MONITOREO DE SIGNOS VITALES

4.1. Monitoreo

Para el desarrollo del sistema de monitoreo de SV se toma en cuenta el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 12, donde indica el funcionamiento del sensor MAX30102.

Primero hay que conectar el sensor MAX30102 al ESP32 y alimentarlo, después inicializarlo. Empezar a leer los SV del paciente y si los datos son correctos almacenarlos y mostrarlos. En caso contrario marcará un error en la LCD.

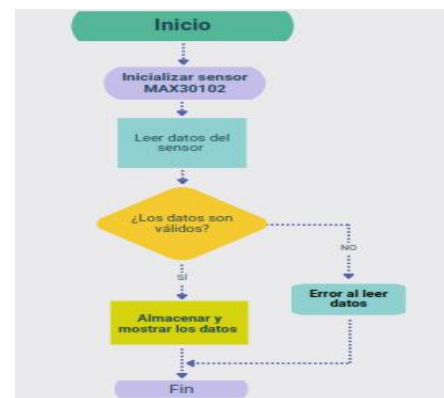


Figura 12. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor MAX30102 (diseño propio).

Para que el controlador ESP32 reconozca los valores del sensor, se realizó un programa en el entorno IDE de Arduino Figura 13, que reconoce al sensor MAX30102 en la librería, que detecta la frecuencia cardiaca y oxigenación, así como la detección e inicialización del sensor.

```
#include <Wire.h>
#include "MAX30105.h"
#include "heartRate.h"
#include <Adafruit_MLX90614.h>

// Objetos de sensores
MAX30105 particleSensor;
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

// Variables de ritmo cardiaco
const byte RATE_SIZE = 4;
byte rates[RATE_SIZE];
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0;
float beatsPerMinute;
int beatAvg;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    delay(1000); // Esperar al inicio del monitor serial

    Serial.println("Inicializando sensores...");

    // Iniciar sensor MAX30102
```

Figura 13. Programación del sensor MAX30102 (diseño propio).

La programación para el sensor MLX90614, se realizó en el IDE de Arduino Figura 14, que muestra la detección del sensor, que marca error si no lo detecta e inicializarlo para comenzar a medir.

```
67 // MLX90614
68 if (!mlx.begin()) {
69     Serial.println("X MLX90614 no detectado.");
70     line.setCursor(0, 2);
71     lcd.print("MLX90614: ERROR");
72     while (true);
73 }
74
75 lcd.clear();
76 lcd.setCursor(0, 0);
77 lcd.print("Sensores listos");
78 Serial.println("Sensores listos.");
79 delay(1500);
80
81 void loop() {
82     // ----- BPM -----
83     long sValue = particleSensor.getSP();
84     if (sValue > 0) {
```

Figura 14. Programación del sensor MLX90614

4.2. Pruebas

En la Figura 15 se muestra el sistema embebido completo para realizar las pruebas de las mediciones de SV a pacientes.

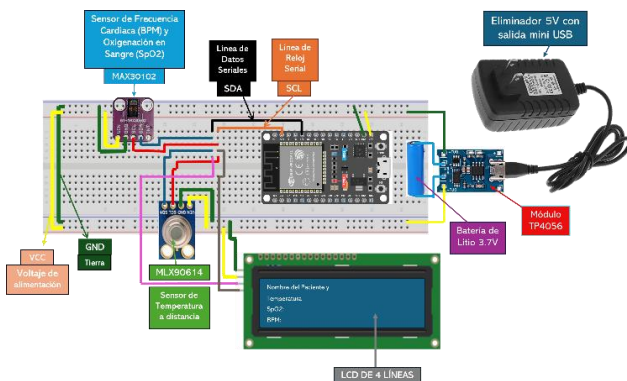


Figura 15. Sistema embebido (diseño propio).

Las primeras pruebas de medición de temperatura se realizaron a 4 tipos de pacientes diferentes, bebé, niña, adulto joven y adulto, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Mediciones de temperatura de 4 pacientes.

Paciente	Temperatura (°C)
Bebé	32.35
Bebé	31.77
Bebé	32.41
Niña	33.05
Niña	33.21
Niña	33.55
Adulto joven	32.31
Adulto joven	32.19
Adulto joven	32.25
Adulto	34.33
Adulto	33.93
Adulto	33.73

La Figura 16 muestra la prueba física de la medición de temperatura a un paciente (adulto joven). Se ve que el sensor está a cierta distancia del paciente y no hace contacto con él.



Figura 16. Medición de temperatura a un paciente.

Para las pruebas de medición de la frecuencia cardiaca y la oxigenación en sangre, el paciente debe poner su dedo sobre el sensor como en la Figura 17, los datos que se obtienen se visualizan en la PC.



Figura 17. Medición de frecuencia cardiaca a paciente.

El sistema embebido portable quedó de la siguiente forma como en la Figura 18 y se coloca en el brazo del paciente. La pantalla LCD muestra: nombre del paciente y los valores medidos de SV de frecuencia cardiaca BMP, Temperatura y oxigenación en la sangre SpO2.

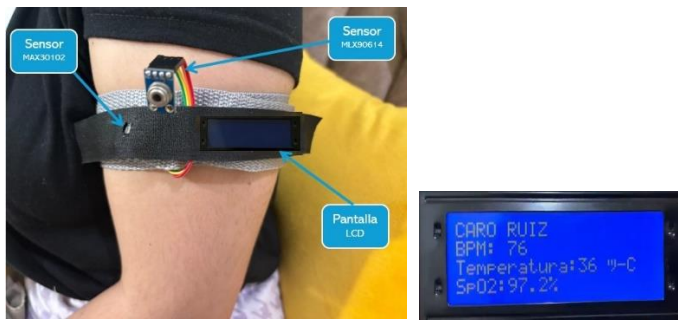


Figura 18. Sistema embebido portable mostrando valores medidos de SV a paciente (diseño propio).

La tabla 2 muestra la comparación de proyectos de algunos autores que muestran características similares al proyecto propuesto. Cabe resaltar la comunicación a través de I2C y la portabilidad del proyecto en el brazo que no afecta al paciente y que necesita una monitorización constante, así como el lugar de la aplicación debido a las necesidades en los centros de salud, servicio de urgencias, unidades clínicas, pacientes en casa de ciudad y de zona rurales.

Tabla 2. Comparación de proyectos.

Proyecto	Controlador	Sensores	Aplicación
Sistema multiparamétrico mediante IoT para medir y monitorizar SV	Tarjeta Raspberry Pi Módulo wifi	Saturación de oxígeno en la sangre. Frecuencia respiratoria Temperatura	Pacientes con necesidad de vigilancia remota
Dispositivo electrónico portable para la supervisión de SV	µC Arduino nano wifi	Pulso cardíaco Temperatura Presión cardíaca	Personas alejadas a los servicios de salud
Sistema de monitoreo de SV de forma remota	2 µC ESP32 Módulos de comunicación	Frecuencia cardíaca Oxigenación en la sangre Temperatura corporal Presión arterial	Atención domiciliar de pacientes en zonas rurales
Monitorización de parámetros biomédicos y ambientales	Raspberry Pi 4 µC ESP 32 wifi	Temperatura corporal Saturación de oxígeno y pulso De luz ambiente	Paciente en aislamiento y con movilidad reducida en una habitación
Monitoreo de SV	µC PIC 18F4550 Raspberry Pi Arduino nano	Oximetría Presión arterial Temperatura corporal	La vigilancia constante de paciente
Sistema embebido portable para el monitoreo de SV de forma remota	µC ESP32 I2C para comunicación IDE Arduino	Temperatura corporal Frecuencia cardíaca Oximetría	Pacientes que asisten a centro de salud, urgencias, unidades clínicas. Pacientes en casa ciudad Pacientes en casa zona rural

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo es parte de un proyecto de investigación de apoyo médico para doctores, enfermeras y familiares de pacientes, ya que debido a la falta de instrumentos y material médico dentro de hospitales y servicios de urgencias se tarda en realizar la medición de los SV de los pacientes.

El uso de sensores biométricos ayuda de manera sencilla a la enfermera o al familiar para la medición de los signos vitales y visualizar los valores de manera directa.

La respuesta de los sensores al realizar las mediciones es rápida, por lo que se pueden hacer otras mediciones de signos vitales a otros pacientes.

Hay que prestar atención en las librerías que se necesitan extras para que la medición se vea como en un reloj inteligente o un instrumento médico convencional.

Es importante resaltar la distancia a la cual se pone el sensor de temperatura (5cm) para que detecte bien y realice la medición.

El sistema embebido portable mejora la obtención de signos vitales de forma directa, en tiempo real y sin tocar al paciente.

Por el momento, la visualización de los datos se obtiene en la LCD y el sistema embebido se coloca en el brazo del paciente para su monitorización continua.

En la actualidad solo las personas de mayor nivel socioeconómico tienen mayor probabilidad de beneficiarse con las tecnologías innovadoras de salud, pero con este proyecto personas de bajos recursos tendrán la posibilidad de usarlos y sean beneficiados en su salud.

Innovaciones digitales de salud se han incrementado, se ha visto la aplicación a la atención médica, pero sus costos son elevados.

El siguiente trabajo es crear la App biomédica hospitalaria en la atención médica de pacientes para que las mediciones de los signos vitales se visualicen a través de un teléfono celular usando la comunicación I2C del controlador ESP32.

6. REFERENCIAS

- [1] J.R. Hinostroza, Diseño e implementación de un sistema multiparamétrico mediante internet de las cosas para la medición y monitoreo de signos vitales en pacientes con necesidad de vigilancia remota, Universidad de Ciencias y Humanidades, Perú, (2022), disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.12872/747>, sitio visitado julio 2025.
- [2] Secretaría de Salud, “Programa Sectorial de Salud 2019-2024”, 2025, 76 pps.
- [3] Diario oficial, “Norma Oficial Mexicana NOM-016-SSA3-2012” 2025, 73 pps.
- [4] Comisión Nacional de los Derechos Humanos, “Norma Oficial Mexicana NOM-206-SSA1-2002, 2025. 10 pps.
- [5] D.M. Barajas, “La ingeniería biomédica desde una perspectiva clínica y hospitalaria en hospitales del grupo ángeles”, 117 pps, 2006.
- [6] R.M. Jiménez, “Procedimientos para Admisión y Atención al Paciente en Sala de Urgencias”, 2014, 10 pps.
- [7] D.I. Macas, “Construcción de un dispositivo electrónico portable para la supervisión de signos vitales de personas alejadas a los servicios de salud”, Ecuador, 2020.
- [8] J.J. Campo, “Sistema de Monitoreo de Signos Vitales de forma remota mediante una aplicación IOT para atención domiciliar de Pacientes”, 2024, Universidad de Popayan-Cauca, Colombia, 104 pps.
- [9] R. González, “Monitorización de parámetros biomédicos y ambientales de un paciente en aislamiento y con movilidad reducida en una habitación”, Escuela Superior de ingeniería y Tecnología, Universidad de la Laguna, 79 pps, 2021.
- [10] J.A. Cagua, “Implementación de un prototipo para realizar el monitoreo de signos vitales y visualizarlo en un dashboard de Node-red utilizando un PIC18F4550 Y Raspberry PI”, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 113 pps, 2023.
- [11] L. Llamas, “Arduino y el termómetro infrarrojo a distancias MLX90614”, [en línea], disponible: <https://www.luisllamas.es/arduino-y-el-termometro-infrarrojo-a-distancia-mlx90614/> sitio visitado 11 de julio de 2025.
- [12] L. Llamas, “Pulsímetro y oxímetro con Arduino y MAX30102”, [en línea], disponible: <https://www.luisllamas.es/pulsimetro-y-oximetro-con-arduino-y-max30102/> sitio visitado 11 de julio de 2025.
- [13] Todo sobre circuitos, “ESP32 - Especificaciones y diseños”, [en línea], disponible: <https://www.circuitos-electricos.com/esp32-especificaciones-y-disenos/> sitio visitado 17 de julio de 2025.