

Prototipo para el monitoreo y registro de signos vitales como herramienta para el servicio médico de la Escuela Superior de Tizayuca (ESTi).

Prototype for the monitoring and recording of vital signs as a tool for the medical service of the Escuela Superior de Tizayuca (ESTi).

Jose A. Badillo-Olguin ^a, David A. Morales-Martinez ^b, Israel Acuña Galván ^c, Evangelina Lezama León ^d

Abstract:

In this work, a prototype for monitoring and recording vital signs is presented. It is specifically designed to monitor vital signs such as heart rate, respiratory rate, blood oxygenation and body temperature. The purpose of the prototype is to support Escuela Superior de Tizayuca (ESTi) medical service, reducing the time for assessing patients based on their vital signs, in such a way that these vital signs are taken together, and maintaining a record or clinical history of each one. person who goes to the medical service, this will make it easier for the information to be consulted quickly and efficiently through a database. The operation of this prototype is based on the use of IT and the need to improve technologies aimed at the medical area, through the implementation of devices that have intercommunication between databases, interfaces, applications, sensors and communication protocols.

Keywords:

Prototype, vital signs, web application, clinical history, medical care.

Resumen:

En el presente trabajo se expone un prototipo para el monitoreo y registro de signos vitales, este está diseñado específicamente para monitorear los signos vitales como lo son la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, oxigenación en la sangre y la temperatura corporal. El prototipo tiene la finalidad de apoyar al servicio médico de la Escuela Superior de Tizayuca (ESTi), reduciendo el tiempo de valoración de los pacientes en función de sus signos vitales, de tal manera que estos signos vitales se tomen en conjunto, y mantener un registro o historial clínico de cada persona que acuda al servicio médico, esto facilitará que la información pueda ser consultada con rapidez y eficiencia mediante una base de datos. El funcionamiento de este prototipo se basa en el uso de las TI y la necesidad de mejorar las tecnologías orientadas al área médica, mediante la implementación de dispositivos que cuenten con una intercomunicación entre bases de datos, interfaces, aplicaciones, sensores y protocolos de comunicación.

Palabras Clave:

Prototipo, signos vitales, aplicación web, historial clínico, atención médica.

Introducción

El monitoreo de signos vitales es una de las actividades más importantes y comunes que se realizan a diario en todos los centros médicos alrededor del mundo [1]. La importancia de la toma de los signos vitales radica en que son las principales manifestaciones del cuerpo en relación con las complicaciones que se llegaran a tener y mediante esta se puede analizar la condición real del paciente y proseguir con una observación más a fondo.

Con base en esto ha surgido la necesidad de buscar alternativas y avances que ayuden al monitoreo de estas señales, de manera rápida y eficiente, pero sobre todo haciendo uso de la tecnología. El campo de la salud está evolucionando gracias a la tecnología, por lo cual es necesario buscar y desarrollar alternativas que ayuden a mejorar los dispositivos médicos, los servicios sanitarios, la infraestructura y estar en constante relación con la tecnología. Uno de los avances tecnológicos más relevantes en esta área es el desarrollo de dispositivos de monitoreo

^{a,b,c,d} Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0009-0002-0930-6893>, Email: ba421123@uaeh.edu.mx;
<https://orcid.org/0009-0008-2704-5571>, Email: mo356256@uaeh.edu.mx; <https://orcid.org/0000-0002-7714-0410>, Email:
israel_acuna4738@uaeh.edu.mx; <https://orcid.org/0000-0003-0818-0897>, Email: evangeli@uaeh.edu.mx

basados en Internet de las Cosas (IoT). Estos avances reúnen ciertas características que estos sistemas deben tomar en cuenta, tal es el caso del uso de sensores interconectados, protocolos de comunicación, sistemas de almacenamiento de datos, herramientas para el mismo análisis de datos, así como aplicaciones que cuenten con la comunicación informática para el intercambio de la información y poder interpretar la información de manera sencilla. En el presente trabajo se implementa loMT (Internet de las Cosas en Medicina o Internet of Medical Things) [2] o IoT de la salud, el cual es una tecnología que se basa en la interconexión de dispositivos y aplicaciones a través de la red informática los cuales están enfocados en el tema médico, y a través de esta tecnología se generan soluciones a las necesidades que se podrían generar dentro del hogar, en un área médica o en cualquier sitio que cuente con una conexión a Internet. El objetivo principal del loMT es ayudar a cuidar a los pacientes de la mejor manera posible, en tiempo real y optimizando los servicios sanitarios. Es un hecho, que, con la pandemia, se han incrementado las consultas y visitas médicas virtuales. Por lo tanto, se está trabajando en una innovación orientada a la loMT para poder satisfacer las necesidades del servicio médico de la Escuela Superior de Tizayuca (ESTi).

Antecedentes

El estudio titulado "Sistema portátil no invasivo para el monitoreo y despliegue de signos vitales de pacientes en salas de urgencias en un dispositivo móvil" [3] tiene como objetivo crear un sistema computacional no invasivo que monitoriza la temperatura, la saturación de oxígeno en sangre, los pulsos cardíacos y la presión arterial. Este sistema busca agilizar la evaluación de pacientes al tomar estos signos vitales y enviar los datos a un dispositivo móvil a través de Bluetooth. Se emplean sensores como el ADA-1093 para la frecuencia cardíaca, el MAX30102 para la saturación de oxígeno y el MLX90614 para la temperatura. El uso del módulo Bluetooth HC-05 permite la comunicación inalámbrica. El trabajo destaca por la elección de sensores y demuestra la eficacia del sistema en comparación con dispositivos médicos convencionales para medir signos vitales.

En la tesis titulada "Diseño de sistema de monitoreo de signos vitales de pacientes de la CIA de bomberos salvadora Trujillo N-26" [4], se tiene el objetivo de diseñar un sistema de monitoreo con interfaz para interacción médico-paciente, que permita monitorizar signos vitales de pacientes en emergencias en las condiciones de trabajo de la Cia.de Bomberos Salvadora. En esta tesis se hizo uso de un sensor digital de temperatura corporal llamado DS18B20, en el caso de la presión arterial y la frecuencia cardíaca se usó un tensiómetro digital enfocado en el área del brazo, para medir la saturación de oxígeno se optó por el sensor MAX30100, ya que cuenta con un pequeño tamaño y bajo costo, que se encaja perfecto para ser utilizado en dispositivos médicos.

En cuanto a la comunicación entre sensores y el dispositivo móvil se usó un módulo Bluetooth HC-05 el cual nos permitirá esta transmisión de comunicación. Para la comunicación por Wifi se usó un módulo ESP-01, que como su nombre lo indica nos ayuda a la conexión Wifi. Y para el desarrollo de la app se optó por usar una aplicación en App Inventor. Al final se desarrolló una placa de prueba para integrar todos los sensores de medición y mediante pruebas y resultados se podría observar el buen funcionamiento a través de la captura y envío de información. De esta tesis se rescata la manera en que se desarrolló la aplicación, así como de la implementación de estos sistemas, se identificaron las dificultades ya en la toma de los signos vitales, ya que algunos sensores entraban en modo reposo, o bien no registraban los signos vitales a causa de que el paciente no hacía buen uso del sistema, por lo tanto, gracias a esta tesis se puede tomar en cuenta estas necesidades y dificultades.

Propuesta

En la ESTi, la toma de signos vitales por parte del servicio médico se da manera separada, lo que ralentiza el proceso. Además, la antigüedad de los dispositivos médicos provoca fallos y complicaciones en la atención. Adicionalmente, la falta de un sistema de registro médico adecuado dificulta el seguimiento de pacientes y la atención médica en general.

Este proyecto se centra en mejorar la atención médica, especialmente en el monitoreo y registro de los signos vitales, con el objetivo de facilitar la atención, el control y la prevención de enfermedades o complicaciones médicas. Además, se busca generar un registro de la información clínica de los pacientes.

El prototipo desarrollado en este proyecto tiene la finalidad de apoyar al servicio médico de la ESTi, reduciendo el tiempo de valoración de los pacientes en función de sus signos vitales, de tal manera que estos signos vitales se tomen en conjunto, y a la vez, mantener un registro o historial clínico de cada persona que acuda al servicio médico, con la intención de que esta información pueda ser consultada con rapidez y eficiencia, además de reducir el coste adquisitivo y operativo.

Resultados

El diseño del prototipo se basa en tres etapas interconectadas, como se muestra en la Figura 1. En esta arquitectura, se establece una relación entre el paciente y varios sensores adaptados para medir signos vitales, como la frecuencia respiratoria, la temperatura corporal, la saturación de oxígeno y la frecuencia cardíaca. Estos sensores están conectados a tarjetas de adquisición de datos que actúan como interfaces entre los sensores y la base de datos central. Los datos recopilados se transmiten a la base de datos a través de un protocolo de comunicación WiFi y luego se pueden acceder y consultar a través de una página web.

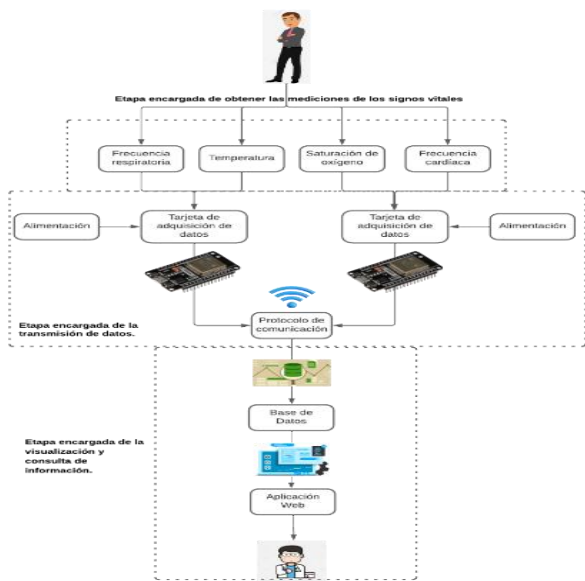


Figura 1. Diseño del prototipo.

Etapas encargadas de obtener las mediciones de los signos vitales.

En esta etapa, se lleva a cabo la generación y obtención de mediciones mediante sensores conectados a las tarjetas de adquisición de datos. Estos sensores capturan la información de los pacientes y se envían a las tarjetas de adquisición de datos, donde se procesan y se muestran en el entorno de programación (Arduino), como se puede observar en la figura 2, el diagrama de conexión entre los sensores MAX30102[5], MLX90614[6] y el KY-037[7] y las tarjetas ESP32[8].

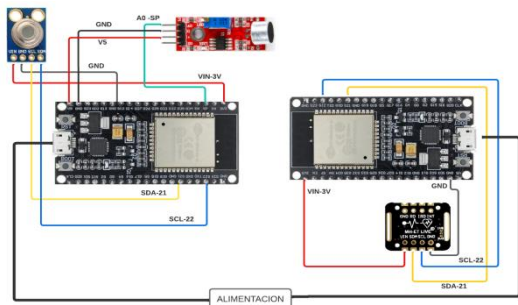


Figura 2. Diagrama de Conexión

Obtención de mediciones de los signos vitales.

En esta etapa, se lleva a cabo la generación y obtención de mediciones mediante sensores conectados a las tarjetas de adquisición de datos. Estos sensores capturan la información de los pacientes y se envían a las tarjetas de adquisición de datos, donde se procesan y se muestran en el entorno de programación (Arduino), como se puede observar en la figura 2, el diagrama de conexión entre los sensores MAX30102[5], MLX90614[6] y el KY-037[7] y las tarjetas ESP32[8].

Al tener la conexión ya completa, los resultados generados por los sensores y tarjetas se pueden observar en la figura 3.

```
408 -> Beat!
214 -> Beat!
618 -> Heart rate: 89.99 bpm / SpO2: 94.00%
776 -> Beat!
```

Figura 3. Signos vitales capturados por las tarjetas de adquisición

Etapas encargadas de la transmisión de datos.

En esta etapa del proceso, se envía la información recopilada y procesada por las tarjetas a una base de datos. Los datos se capturan cada 10 segundos y se envían a través de dos ESP32 utilizando una biblioteca que establece la conexión a Internet y envía la información a través de una URL específica para el actualizado de los datos, en caso de que se hallan enviado y actualizado correctamente muestra el mensaje "Valores de sensor guardados" como se observa en la figura 4.

```
-> Beat!
-> Heart rate: 91.81 bpm / SpO2: 101.00%Respuesta del servidor:
-> Heart rate: 91.81 bpm / SpO2: 101.00%
```

← T →	Id_Lectura	SPO2	BPM	Temp	FR
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1	101.00	91.81	35.8	15

Figura 4. Signos vitales registrados en la base de datos

Para este punto se ensamblaron los sensores con las ESP32. Luego, se instalaron en una caja de plástico con tres perforaciones para los sensores MAX30102 (frecuencia cardíaca y SPO2), KY-037 (frecuencia respiratoria con mascarilla) y MLX90614 (temperatura corporal) como se puede observar en la figura 5.

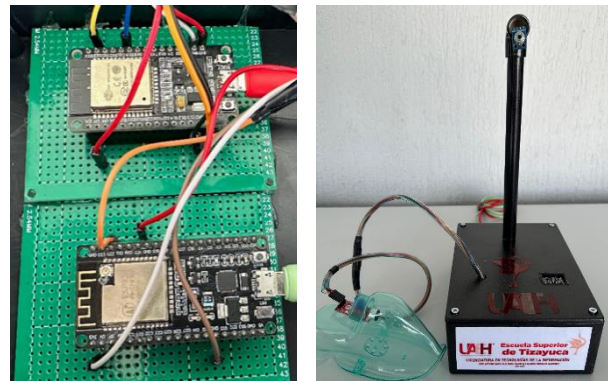


Figura 5. Implementación física del sistema

Página web para visualización y consulta de información.

En esta etapa, se piensa desarrollar una aplicación web que permita visualizar y gestionar los signos vitales de los pacientes. La aplicación consultará la base de datos para mostrar los signos vitales en un formulario y los agrega al registro de cada paciente.

La aplicación web ofrecerá diversas funcionalidades, como registrar pacientes, mantener historiales clínicos, visualizar

signos vitales, crear consultas médicas y administrar médicos y pacientes.

El acceso a esta información requerirá un inicio de sesión, y los usuarios deben ser registrados por un administrador y tener permisos adecuados para editar, consultar, actualizar o eliminar datos en la aplicación web.

Los tipos de roles son Médico y Administrador, en la figura 6 se puede observar el proceso que requieren para poder acceder a la aplicación web, así como a que secciones del sistema pueden acceder y los privilegios que pudieran llegar a tener.

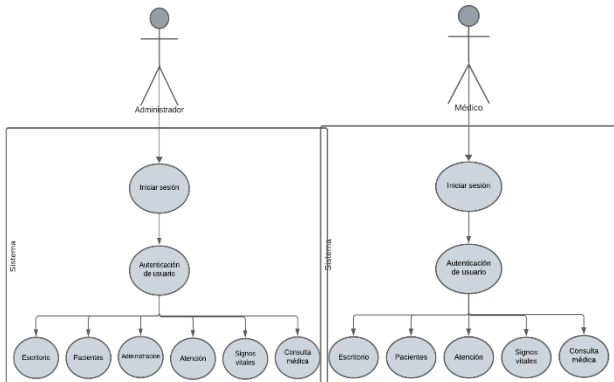


Figura 6. Casos de uso

Una vez que la aplicación web esté terminada, se llevarán a cabo pruebas en el consultorio médico de la ESTi. El objetivo será verificar si cumplen con los objetivos del proyecto y evaluar la discrepancia en el tiempo entre la toma de signos vitales y la consulta. También se compararán los signos vitales obtenidos mediante el prototipo con los obtenidos por el médico utilizando sus propios instrumentos.

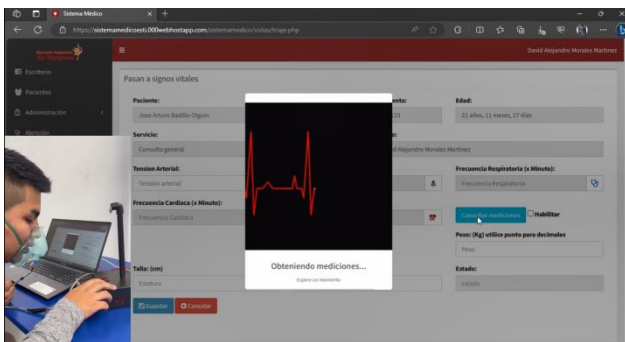


Figura 7. Funcionalidad del prototipo y página web

En la figura 7, el paciente coloca el dedo índice en el sensor de frecuencia cardíaca y oxigenación, utiliza una mascarilla con sensor para la frecuencia respiratoria, y enfoca el sensor de temperatura hacia el rostro. Los datos se envían al servidor, y la página web recopila y muestra la información generada.

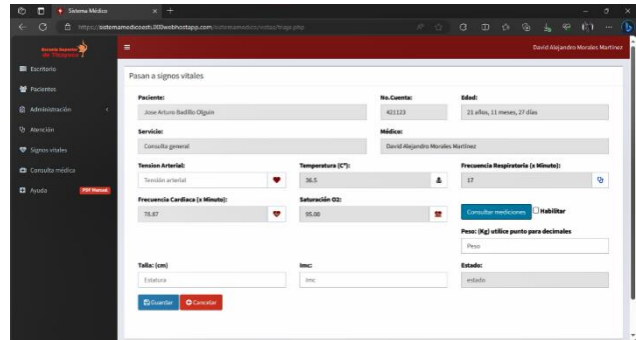


Figura 8. Visualización de la información generada por el prototipo

En la figura 8, se visualiza en la página web la información generada por el prototipo para el registro de signos vitales del paciente.

En base a la serie de pruebas, se procedió al análisis de los resultados individuales de cada alumno. Es importante señalar que estas pruebas se realizaron específicamente con el grupo de LTI de 9no semestre, compuesto por 8 personas, y se llevaron a cabo un total de 105 pruebas. Los resultados presentados se centran exclusivamente en el grupo de LTI. En la evaluación, se examinaron las discrepancias entre el prototipo y el equipo médico, considerando los signos vitales en todas las pruebas, así como la reducción de tiempo en el conjunto de evaluaciones.

• 1er Alumno

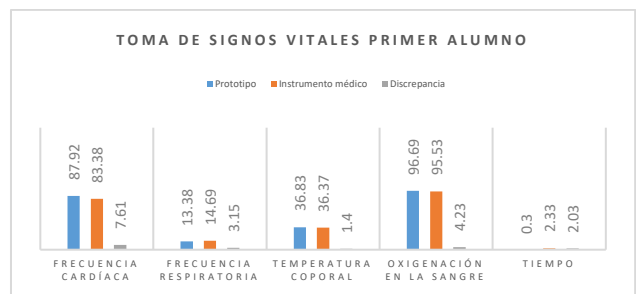
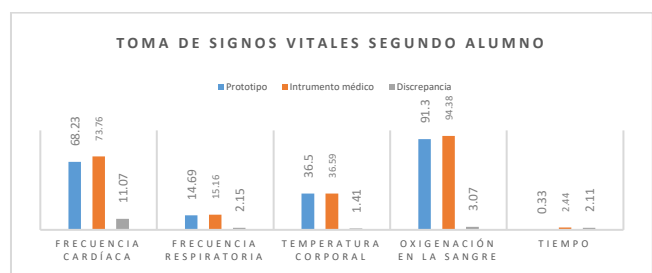


Figura 9. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 1er alumno.

En la Imagen 9, se resumen los promedios de los signos vitales del primer alumno durante las pruebas. El prototipo mostró discrepancias iniciales, especialmente en la frecuencia cardíaca. Tras adaptaciones para lecturas más cortas, la discrepancia se redujo, impulsando la decisión de realizar más pruebas para afinar la precisión.

• 2do Alumno



24 – 27 de octubre de 2023

Figura 10. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 2do alumno.

Con el segundo alumno, se realizaron 13 pruebas utilizando el prototipo, inicialmente adaptado para lecturas de 30 segundos y luego extendido a 1 minuto con 15 segundos. En la *Imagen 10*, se presentan los promedios de frecuencia cardíaca, respiratoria, temperatura y oxigenación. Aunque el prototipo muestra eficiencia en el tiempo, persiste discrepancia en comparación con los instrumentos médicos.

• **3er Alumno**

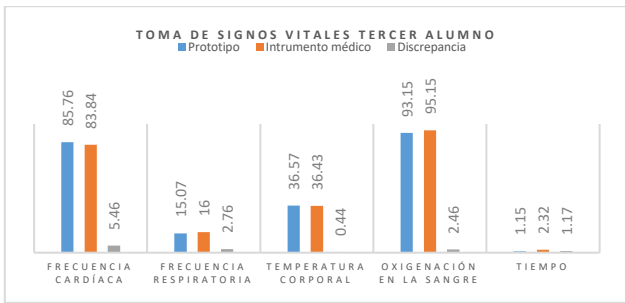


Figura 11. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 3er alumno.

En las pruebas con el tercer alumno (*Imagen 11*), el prototipo, configurado a 1 minuto y 15 segundos, mostró un promedio de 85.76 en frecuencia cardíaca, con una discrepancia de 5.46 respecto al instrumento médico. Aunque la eficiencia temporal persiste, se observa una mejora en la toma de algunos signos vitales en comparación con pruebas anteriores.

• **4to Alumno**

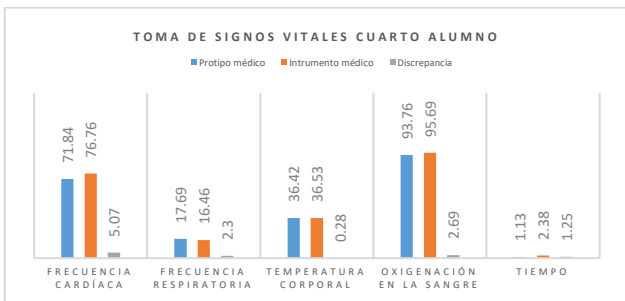


Figura 12. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 4to alumno.

En las pruebas con el cuarto alumno, el prototipo, configurado a 1 minuto y 15 segundos, mostró discrepancias promedio de 5.07 en frecuencia cardíaca, 2.3 en respiraciones, 0.28 °C en temperatura y 2.69 en oxigenación en comparación con el instrumento médico, como se observa en la *Imagen 12*. La modificación del tiempo de prueba resultó en mejores mediciones, impulsando la continuidad de pruebas adicionales.

• **5to Alumno**

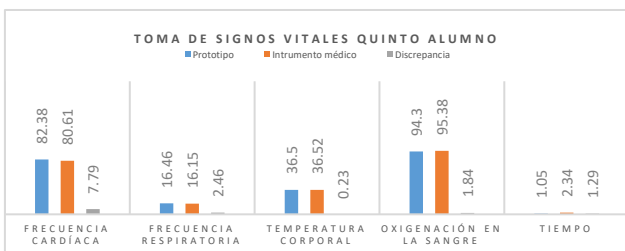


Figura 13. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 5to alumno.

En las pruebas con el quinto alumno, *Imagen 13*, el prototipo, configurado a 1 minuto y 5 segundos, mostró discrepancias promedio de 7.79 en frecuencia cardíaca, 2.46 en respiraciones, 0.23 °C en temperatura y 1.84 en oxigenación en comparación con el instrumento médico. Aunque la eficiencia temporal favorece al prototipo, persisten discrepancias en las mediciones.

• **6to Alumno**

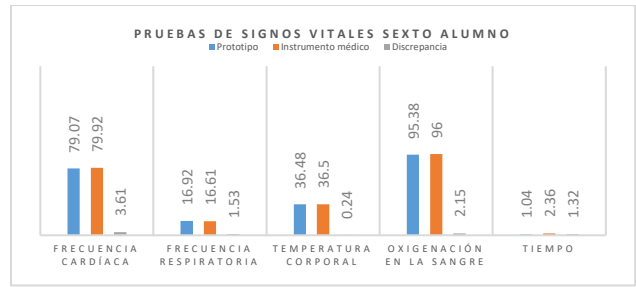


Figura 14. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 6to alumno.

En las pruebas con el sexto alumno, *Imagen 14*, el prototipo configurado a 1 minuto y 10 segundos, mostró discrepancias promedio de 3.61 en frecuencia cardíaca, 1.53 en respiraciones, 0.24 °C en temperatura y 2.15 en oxigenación en comparación con el instrumento médico. La modificación del tiempo de prueba resultó en mediciones más similares, impulsando la decisión de mantener esta configuración.

• **7mo Alumno**

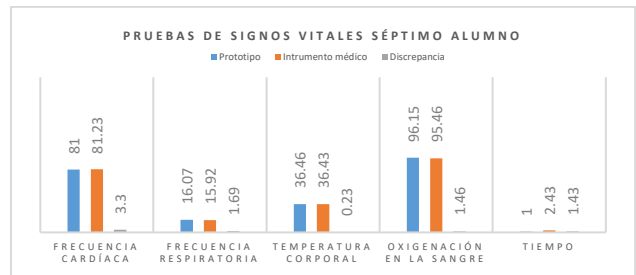


Figura 15. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 7mo alumno.

En las pruebas con el séptimo alumno, *Imagen 15*, manteniendo el tiempo de 1 minuto en el prototipo, se observa mayor similitud entre las mediciones en la *Imagen 11*. La frecuencia cardíaca mostró una discrepancia promedio de 3.3 latidos, la respiratoria de 1.69 respiraciones, la temperatura de 0.23 °C y la oxigenación de 1.46. El tiempo de prueba favoreció al prototipo, con una reducción a 1 minuto en promedio, en comparación con los 2 minutos y 43 segundos del médico, generando una discrepancia de 1 minuto y 43 segundos. Estos resultados indican que la configuración del tiempo y las adaptaciones a los sensores han sido efectivas para reducir la discrepancia y obtener mediciones más cercanas a las realizadas con los instrumentos médicos.

• 8vo Alumno

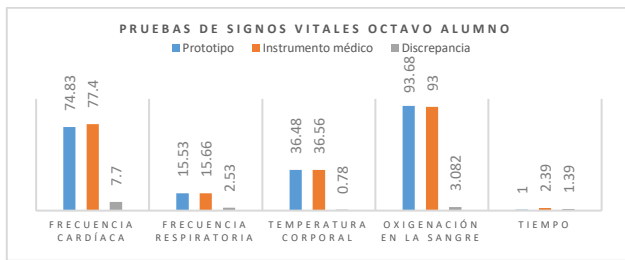


Figura 16. Promedios de toma de SV y promedios de las discrepancias del 8vo alumno.

En las últimas pruebas con el octavo alumno, *Imagen 16*, se confirmó que, con el ajuste del tiempo en el prototipo y modificaciones en los sensores, las mediciones eran más similares a las obtenidas con instrumentos médicos. En la *Imagen 12*, la frecuencia cardíaca mostró una discrepancia promedio de 7.7 latidos, la respiratoria de 2.53 respiraciones, la temperatura de 0.78 °C y la oxigenación de 3.082 %. El tiempo de prueba se mantuvo en 1 minuto en promedio para el prototipo, mientras que el médico tardó en promedio 2 minutos y 39 segundos, generando una discrepancia de 1 minuto y 39 segundos a favor del prototipo. Estos resultados respaldan la eficacia de las modificaciones para obtener mediciones más cercanas a las realizadas con instrumentos médicos.

Al analizar los resultados de las pruebas se considera que el prototipo exhibe un rendimiento aceptable frente al equipo médico convencional, reduciendo el tiempo de toma de signos vitales en un 80.79%. Con una discrepancia del 3.013% en el monitoreo de SV, demuestra una precisión notable en la visualización y registro de la información. Estos resultados respaldan el funcionamiento del prototipo, mejorando la atención médica de la ESTi.

Conclusión

En conclusión, el proyecto aborda y cumple de manera parcial los desafíos que enfrenta el servicio médico de la ESTi, en cuanto a la monitorización de signos vitales y la gestión de la atención médica y el almacenamiento de la información y generación de historias clínicas.

El prototipo mejora la eficiencia de la valoración médica al momento de acudir a una consulta. Además, la creación de un registro médico basado en la web, proporcionará un sistema de seguimiento más completo y rápido para los pacientes, contribuyendo al control, prevención y reducción de complicaciones médicas o enfermedades.

La elección de los elementos usados y del proceso de desarrollo de este prototipo contribuye a reducir los costos tanto en la adquisición como en la operación de dispositivos médicos comparados con los utilizados por el servicio médico de la ESTi. Para resumir, este proyecto representará un avance significativo tanto en la mejora de la atención médica en la ESTi, como en la adaptación y creación de nuevas tecnologías para la resolución de problemáticas relacionadas con nuestro entorno, y en este caso brindando beneficios tanto para el personal médico como para los pacientes.

Referencias

- [1] Gesley Tarazona, Christian Acosta, Xiomara González, Alejandro Pizano. (2023, diciembre). Aplicación del Internet de las Cosas al Monitoreo de Signos Vitales para Enfermedades Crónicas. *Identidad Energética*, Número de volumen (3) Recuperado de http://cinergiaug.org/Revista/VI_2020/RIE_VIII_N1_Dic2020_9.pdf.
- [2] IoT en medicina (IOMT): qué es, ejemplos y cómo implementarlo. (s. f.). Entel Comunidad Empresas. <https://ce.entel.cl/articulos/iot-en-medicina/#:~:text=El%20IoT%20en%20medicina%2C%20tambi%C3%A9n.finalidad%20de%20que%20dichos%20aparatos>
- [3] Santoyo, I. S. L., Avilés, C. A. C. & Zúñiga, A. Z. L. (2020). Sistema portátil no invasivo para el monitoreo y despliegado de los signos vitales de pacientes en salas de urgencias en un dispositivo móvil [Tesis]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- [4] Maximo, A. R. T. E. (2018, 1 septiembre). Diseño de sistema de monitoreo de signos vitales de pacientes en emergencias de la Cía. de Bomberos Salvadora Trujillo n° 26. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11105>
- [5] MAX30102 Pulse Oximeter & Heart-Rate Sensor. (s. f.). Analog Devices / Maxim Integrated | Mouser. <https://www.mouser.mx/new/analog-devices/maxim-max30102efd-sensor/>
- [6] Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614. (s. f.). Naylamp Mechatronics - Perú. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html>
- [7] Sensor de sonido KY-037 – Novatronic. (s. f.). <https://novatronicce.com/index.php/product/sensor-de-sonido-ky037/>
- [8] Tienda y Tutoriales Arduino. (2022, 7 marzo). Instalando el ESP32 | Tienda y tutoriales Arduino. <https://www.prometec.net/instalando-esp32/>