

Asistente de signos vitales para la atención prehospitalaria Vital signs assistant for prehospital care

V. Becerra-Tapia , V. Téllez-Victoria , G. R. Peñaloza-Mendoza , M. S. Castro-Zenil 

División de Ingeniería Biomédica, TecNM - Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, 61615, Pátzcuaro, Michoacán, México.

Resumen

En el presente trabajo se presenta un dispositivo de monitoreo remoto de constantes fisiológicas, llamado VitalAxist, cuyo principal objetivo es su uso en la atención prehospitalaria. Se utilizan sensores para monitorear los parámetros de temperatura, saturación de oxígeno, pulso y ritmo cardiaco, los cuales mandan su información a una tarjeta ESP32, constituyendo, en conjunto, un módulo remoto de monitoreo. La ESP32 concentra la información de los sensores y la manda mediante Bluetooth de bajo consumo a una Raspberry Pi4, la cual realiza el procesamiento de datos para determinar si los parámetros se encuentran en un rango saludable o no, dando señales de alerta sonora. La Raspberry Pi4 concentra la información de todos los módulos remotos conectados, permitiendo asistir de manera centralizada el monitoreo de usuarios de forma paralela en tiempo real, lo que permite que los datos sean interpretados de manera inmediata por un paramédico, dándole la facilidad de realizar otras actividades mientras el asistente monitorea a los usuarios.

Palabras Clave: Asistente de voz, atención prehospitalaria, monitor de signos vitales, raspberry pi, triage.

Abstract

In the present work, a device for remote monitoring of physiological constants, designate VitalAxist, whose main objective is its use in prehospital care, is presented. Sensors are used to monitor the parameters of temperature, oxygen saturation, pulse and heart rate, which send their information to an ESP32 card, constituting, as a whole, a remote monitoring module. The ESP32 concentrates the information from the sensors and sends it via low consumption Bluetooth to a Raspberry Pi4, which performs the data processing to determine if the parameters are in a healthy range or not, giving sound alert signals. The Raspberry Pi4 concentrates the information of all the connected remote modules, allowing to centrally assist the monitoring of users in parallel in real time, which allows the data to be interpreted immediately by a paramedic, giving it the facility to carry out other tasks activities while the assistant monitors the users.

Keywords: Voice assistant, prehospital care, vital signs monitor, raspberry pi, triage.

1. Introducción

Durante la atención prehospitalaria una de las actividades primordiales es la toma de signos vitales antes y durante el traslado al hospital, esto se realiza para que el personal pueda actuar en beneficio de la salud del paciente con rapidez y eficacia (Jusionyte, 2018), (Tineo *et al*, 2012). Cuando la demanda de atención de los pacientes sobrepasa la capacidad del servicio, la medición de estos parámetros no se realiza de forma constante por la falta de personal o equipo en la zona, además otros factores que influyen son las condiciones del área en donde se esté realizando la labor de atención (Tineo *et al*, 2012). Actualmente, los dispositivos médicos de uso ambulatorio han crecido en número, sin embargo, solo son

capaces de tomar la lectura de un paciente a la vez, es decir, no tienen la capacidad de ampliar su cobertura mediante módulos adicionales. Sin embargo, las estaciones de trabajo dentro de hospitales tienen la capacidad de monitorear múltiples dispositivos conectados en la misma red en tiempo real, por lo tanto, implementar esta capacidad en los procesos ambulatorios es necesario.

En el presente trabajo se desarrolla un dispositivo que sirva como herramienta de apoyo para el personal de atención prehospitalaria. Este dispositivo asistente debe ser capaz de tomar los parámetros fisiológicos obtenidos en los sensores y procesarlos con la finalidad de emitir una alerta sonora que indique cuál de ellos se encuentra fuera de un rango no saludable, para que el personal brinde la atención requerida.

*Autor para la correspondencia: grey@itspa.edu.mx

Correo electrónico: vikshelby.500@gmail.com (Víctor Becerra Tapia), victoriatellez victoria11@gmail.com (Victoria Téllez Victoria), grey@itspa.edu.mx (Guillermo Rey Peñaloza Mendoza), mcastro@itspa.edu.mx (Mario Salvador Castro Zenil).

El proyecto nace de la experiencia obtenida durante la participación en el área de atención prehospitalaria junto a paramédicos certificados. En esta experiencia se analizó la manera en la que se trabaja en casos de emergencias y se detectó la necesidad de monitorear múltiples pacientes al mismo tiempo con una cantidad de personal mínima, además de realizar el trabajo sin importar las condiciones en sitio. Sin embargo, el detonante para la elaboración del proyecto fue observar que en la atención de emergencias predominan los métodos manuales para la toma de los signos vitales básicos, lo que aumenta los tiempos de atención y en un evento con múltiples pacientes puede ser motivo de una pérdida de vida.

2. Estado del Arte

Los signos vitales reflejan funciones esenciales para el cuerpo, tales como frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura corporal, oxigenación en la sangre y presión arterial. El estado normal de estos signos vitales cambia dependiendo de la edad, sexo, peso, talla, actividad física, entre otras. Para un adulto sano promedio en reposo se establecen valores de:

- Frecuencia cardíaca: 60 a 100 latidos por minuto.
- Frecuencia respiratoria: 12 a 18 respiraciones por minuto.
- Temperatura corporal: 97.8 °F a 99.1 °F (36.2 a 37.3 °C); promedio de 98.6 °F (37 °C).
- Oxigenación en la sangre: Mayor a 91%

En la atención prehospitalaria es necesaria la medición de los signos vitales, debido a que estos son los parámetros que indican el estado de salud de un paciente ante una emergencia o desastre y son necesarios para prevenir la muerte o alguna discapacidad (Jusionyte, 2018), (Tineo et al, 2012). El personal médico de esta área de atención debe contar con el adiestramiento para observar, medir y vigilar los signos vitales de un paciente de manera efectiva, para evaluar su nivel de funcionamiento físico ante un evento. Esta es la actividad clave en el desempeño de su labor, por lo tanto, deben contar con el equipo básico necesario de apoyo.

En la actualidad existen diferentes tipos de monitores de signos vitales ambulatorios, algunos con los signos vitales básicos y otros con lecturas de signos vitales para pruebas específicas. Sin embargo, todos cuentan solo con sensores suficientes para la medición de los parámetros a un paciente y de forma alámbrica. Ejemplo de monitores comerciales es el Sonosmart 12 con capnografía, mostrado en la Figura 1, el cual cuenta con 7 parámetros de lectura los cuales son electrocardiograma, frecuencia cardíaca, presión arterial, saturación de oxígeno, frecuencia respiratoria, temperatura y capnografía, además de contar con una pantalla de 12 pulgadas, sin embargo, todos son para uso dentro de hospitales o ambulancias. Así mismo, existen muchas investigaciones y desarrollos académicos donde se habla y se trata el tema de la construcción de sistemas de medición de signos vitales a distancia o usando una central remota.



Figura 1: Monitor de signos vitales Sonosmart 12 con capnografía. Cortesía de SONOMEDIC.

En (Cabezas et al, 2017) se aborda la construcción de un sistema que detecta y registra tres signos vitales de un usuario de forma simultánea: frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y temperatura corporal, y además emplea una aplicación móvil que permite almacenar y manejar la información. Por otro lado, (Herrería y Navarrete, 2016) presentan el diseño y construcción de una red de monitoreo de los signos vitales de la presión arterial, frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno con la finalidad de atender a adultos mayores con deficiencia de movilidad, cuya información general es enviada a una central de enfermería y cuando un dato es anormal se envía mediante mensaje de texto a un especialista registrado. Un ejemplo de diseño y construcción de un dispositivo para monitorear presión arterial, ritmo cardíaco y temperatura para un solo usuario, de forma móvil en cualquier ambiente se presenta en (Olvera y González, 2013).

Actualmente, existen dispositivos que permiten la implementación de sistemas embebidos de bajo costo y de fácil uso, uno de ellos son las tarjetas Raspberry Pi, en esencia es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, sus puertos permiten conectar un monitor y periféricos, mouse y teclado estándar. Es un pequeño computador que puede correr un sistema operativo Linux donde es posible programar en lenguajes como Scratch y Python (Bonnell, 2021). La versión 4 de la Raspberry Pi cuenta con un chip Broadcom BCM2711, un procesador de cuatro núcleos a 1.5 GHz, memoria de 1/2/4 GB LPDDR4 RAM, conectividad 802.11ac Wi-Fi, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, entre otras características. El tener un sistema operativo y más velocidad hace que la Raspberry Pi sea adecuada para utilizarse como una pequeña computadora que puede llevarse a cualquier sitio, facilita la conectividad y trazabilidad de proyectos al tener la posibilidad de usar Wi-Fi, Bluetooth y Ethernet, por lo tanto, es factible utilizarla en procesos prehospitalarios.

2.1. Protocolos de comunicación

Además de las investigaciones o desarrollos anteriormente descritos, existen avances tecnológicos en materia de protocolos de comunicación, que permiten desarrollar sistemas completos para el área de atención prehospitalaria dando acceso inmediato a los datos desde un punto a través de una red de comunicación.

- ESP-Now es un protocolo de comunicación entre varios dispositivos creado por Espressif, este es similar al utilizado en los dispositivos de baja energía que funcionan en la banda de 2.4 Ghz. Su

funcionamiento requiere de emparejamiento de los dispositivos, pero una vez realizada, la conexión será automática (Carrasco, 2021). La tarjeta ESP32 soporta una comunicación unidireccional encriptada y sin encriptar, permite enviar hasta 250-bytes de carga útil, además cuenta con largo alcance, pudiendo superar los 200 metros en campo abierto. La comunicación ESP-Now se puede utilizar para conjuntar varias tarjetas ESP32 como maestros y esclavos para realizar una tarea. La comunicación la inicia el dispositivo o dispositivos maestros, y es recibida por el o los esclavos. Entre las diferentes configuraciones de las que disponemos para la configuración en una dirección, se pueden distinguir las siguientes: un maestro y un esclavo, un maestro y varios esclavos o varios maestros y un esclavo.

- MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de transporte de mensajes Cliente/Servidor basado en publicaciones y suscripciones diseñado para el intercambio eficiente de datos en tiempo real. Cada vez que un mensaje es publicado será recibido por el resto de los dispositivos adheridos a un tópico del protocolo (Teresa, 2012). El protocolo MQTT es idóneo para aplicaciones de Internet de las Cosas en las cuales se envían cantidades pequeñas de información y por tanto no se necesita un gran ancho de banda.
- El protocolo BLE permite el intercambio de datos wireless con los dispositivos de baja energía llamados Beacons, una vez estando en funcionamiento estos permanecen en espera hasta que un dispositivo se conecte con ellos. Los Beacon BLE transmiten datos de forma inalámbrica en la banda de 2.4 GHz, en un intervalo de tiempo que el usuario puede definir. La conexión con el Beacon utiliza el principio de maestro/esclavo, donde el maestro gestiona la comunicación, mientras que el esclavo solo ejecuta órdenes. Como característica de la comunicación un maestro puede comunicarse con múltiples esclavos, pero cada esclavo solo se comunica con un maestro a la vez (Santiago, 2022).

3. Planteamiento del Problema y Solución Propuesta

3.1. Situación actual y problemática

Los monitores de signos vitales utilizados en la atención prehospitalaria cuentan con alertas auditivas no específicas y solo tienen la capacidad de monitorizar un paciente a la vez, de esta manera cuando se atiende una emergencia con múltiples pacientes, se requiere que el personal en el área realice la monitorización manual de cada paciente, lo que conlleva a tiempos reducidos en la atención a cada uno y un tiempo de retardo mayor entre monitorizaciones a cada uno, esto hace poco eficiente la acción del paramédico. De acuerdo a la NOM-034-SSA3, las ambulancias de atención prehospitalaria deben contar con un monitor de signos vitales, que permita el monitoreo de estos parámetros durante el traslado hacia el hospital y con equipo manual para la

medición de los mismos en el área de evento, de tal forma la misma normativa establece que el monitor de signos vitales no debe ser utilizado en espacios irregulares donde puedan sufrir algún daño, tales como en exteriores donde el polvo o contaminantes afecten su uso, en sitios con lluvia o humedad alta, entre otros, debido a que este tipo de uso puede afectar su calibración o modificar la obtención de los parámetros a medir (Tineo *et al*, 2012). Otra problemática en la atención prehospitalaria existe cuando ocurre una emergencia y es requerido que se genere un área de concentración de víctimas, en estas zonas se aplica el protocolo Triage para la evaluación de los pacientes y su forma de traslado. Este protocolo asigna colores a los pacientes de acuerdo a su gravedad, por ejemplo, el color verde indica que se requiere atención, pero no urgente, mientras que el rojo indica situación grave donde la vida está en peligro. Por lo tanto, en una zona de concentración solo se quedan los pacientes verdes, mientras los otros son trasladados, sin embargo, estos aún deben ser monitorizados de manera constante. Si en ese momento no hay suficiente personal, el monitoreo se hace tardado, por lo cual, aunque un paciente que durante la aplicación del Triage no presentó síntomas o lecturas anormales, puede llegar a presentar problemas y no ser detectados a tiempo de tal manera que su vida corra peligro.

3.2. Solución propuesta

Se propone desarrollar un sistema de interconexión que permita monitorear los signos vitales de uno o varios pacientes de forma paralela, donde las lecturas sean en tiempo real y en caso de detectar un parámetro fuera del rango saludables emita una alerta indicando el parámetro y el paciente al cual le pertenece. Para esto se plantean:

- Construir módulos que contengan un sistema de sensores que permitan obtener las variables fisiológicas básicas en un monitor de signos vitales.
- Construir una central ambulatoria que permita la recolección de forma paralela de las mediciones realizadas por cada módulo del sistema de sensores.
- Realizar una comunicación inalámbrica entre los módulos de sensores y la central, para potencializar su usabilidad en la atención prehospitalaria.

4. Metodología de Diseño

El diseño del dispositivo tiene como centro la obtención de las constantes fisiológicas básicas (pulso, oxigenación en la sangre, temperatura corporal, frecuencia respiratoria y ECG), para esto se emplean sensores de propósito específico conectados directamente a una tarjeta ESP32, donde esta toma los parámetros como datos digitales con la finalidad de darles trazabilidad y sentido. Los sensores utilizados son el MAX30102 que permite realiza la lectura del pulso y la oxigenación en la sangre, el MLX90614 es un sensor infrarrojo empleado para determinar la temperatura corporal, el ECG AD8232 es un módulo básico para la obtención de la actividad eléctrica del corazón y el sensor de presión PICSTM32 que permite determinar la frecuencia respiratoria.

En el diagrama de la Figura 2, se muestran los elementos contenidos en el sistema de obtención de los signos vitales, siendo estos los módulos inalámbricos que podrá usar cualquier paciente.

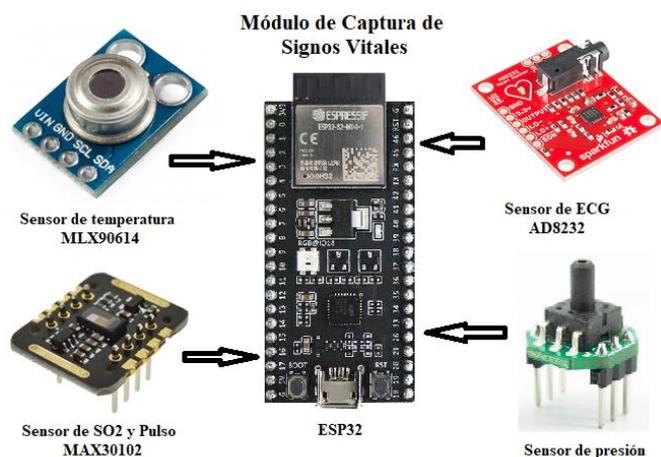


Figura 2: Elementos del módulo inalámbrico de captura de signos vitales.

El sensor infrarrojo de temperatura MLX90614 es un sensor fabricado por la empresa Melexis, el cual tiene una precisión de ± 0.2 °C, empleando la versión de uso médico y usándolo a temperaturas ambientes menores de 50 °C, por lo cual es efectivo para medir la temperatura corporal. Esta lectura se realiza por medio de la conexión I2C donde se entrega directamente una cadena de datos que representan la temperatura ambiente y la del objeto a medir. A este sensor no es necesario realizarle ningún procesamiento, ya que otorga directamente la lectura.

El sensor MAX30102, es un sensor óptico fabricado por Maxim Integrated que permite realizar la lectura del pulso y oxigenación en la sangre mediante un procesamiento básico de la señal analógica obtenida. El sensor óptico entrega una señal que varía dependiendo de la hemoglobina y hemoglobina saturada en la sangre, los cuales tienen diferentes coeficientes de absorción de la luz. Como se observa en la Figura 3, al colocar un dedo sobre el sensor empieza una variación en la señal. Aplicando una relación entre el valor de la señal infrarroja obtenida entre la suma algebraica de las señales infrarroja y roja se calcula la saturación de oxígeno. Al medir la frecuencia de variación de cualquiera de las dos señales se obtiene el pulso. Otra manera de obtener la información es utilizar la comunicación I2C donde el chip interno del sensor otorga la lectura de forma directa.

El módulo AD8232 permite registrar la actividad eléctrica del corazón, es decir, obtener un electrocardiograma o ECG básico, con el cual se puede evaluar el ritmo y la función cardíaca a través de un registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón. Esta actividad eléctrica se recoge a través de unos electrodos colocados en la piel, específicamente dos electrodos dos centímetros por debajo de las clavículas, en la fosa infraclavicular y el tercero en la línea anterior axilar, entre la última costilla y la cresta ilíaca.

El AD8232 está integrado con amplificadores de señal y filtros de ruido especialmente calibrados para las señales ECG, la salida del módulo es de tipo analógico, por lo cual,

dentro de la programación, la señal es graficada en una pantalla y se detecta la frecuencia cardíaca a través de la detección del complejo QRS que es un pico en la señal que corresponde al latido cardíaco, midiendo el tiempo entre picos se puede calcular la frecuencia cardíaca.

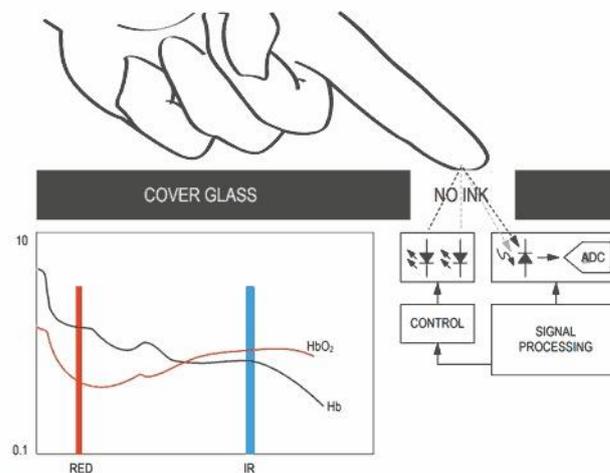


Figura 3: Principio de funcionamiento MAX20102.

Con estos módulos se hace la medición de los tres parámetros básicos que incluye un monitor de signos vitales, pulso, oxigenación y temperatura, además de un ECG básico. Por último, para la lectura de la frecuencia respiratoria se emplea el sensor PICSTM32, el cual al ser colocado cerca de los orificios nasales detecta una variación en la lectura analógica al expulsar el aire, con estos picos al detectar la exhalación se puede medir el tiempo y calcular la frecuencia respiratoria.

Todos estos sensores son conectados directamente con una tarjeta ESP32, como se observa en la Figura 2. La ESP32 es la denominación de una familia de chips SoC de bajo costo y consumo de energía, con tecnología Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrada, ver Figura 4. La tarjeta de desarrollo ESP32 fue elegida para la adquisición de datos gracias a sus potencialidades en cuanto a esquemas de conexión ya que puede realizarse una red-adhoc tanto en red PAN como en una WLAN (Teresa, 2012). El chip cuenta con conectividad WiFi, siendo compatible con 802.11 b/g/n en la banda de los 2.4 GHz, alcanzando velocidades de hasta 150 Mb/s. También incluye comunicación Bluetooth compatible con Bluetooth v4.2 y Bluetooth Low Energy (BLE) (Shiaeles, 2021).

Otra de las ventajas que se tienen al utilizar el ESP32 en el módulo inalámbrico implementado para la lectura de los signos vitales de los pacientes es que cuenta con pines táctiles capacitivos, los cuales reaccionan al contacto con la piel, de esta manera el dispositivo puede llegar hasta el paciente en modo Deep Sleep, lo que permitirá maximizar el consumo de energía. Para poder usarlo correctamente tenemos que definir también qué pin táctil vamos a utilizar y qué sensibilidad queremos que tenga, estableciendo el límite para el disparo (threshold).

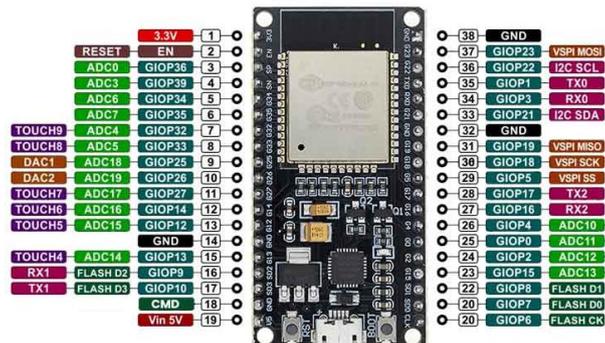


Figura 4: Pinout de la tarjeta ESP32.

de información, se tiene que generar la comunicación con la terminal central encargada de emitir las alertas de emergencia. El módulo terminal cuenta con una Raspberry Pi4 programada en Python y una ESP32 la cual recibirá la información de los módulos del paciente. La ESP32 emplea conexión Bluetooth Low Energy (BLE) para su implementación actual, sin embargo, también se realizaron pruebas con Wi-Fi con el objetivo de que en un futuro se utilice el servidor de DHCP de la Raspberry Pi4 asignando una dirección IP a los módulos del paciente para montar una red local de infraestructura.

Una vez que se establece conexión entre la terminal central y los módulos del paciente se activa la función de escucha a través del manejo de Threads (hilos de ejecución) y semaforización para lograr la atención paralela de todos los módulos. Cuando algún módulo del paciente utilice el canal de comunicación entra al semáforo, lee los datos y suelta el hilo de ejecución, lo que permite mantener alerta a todos los módulos del paciente conectados. De acuerdo con los valores leídos si todos son cero entonces ejecutará un audio que indique que el paciente mantiene signos vitales estables en periodos de 3, 5 y 7 minutos de acuerdo a la configuración realizada. En caso de que una de las primeras cuatro posiciones del arreglo sea diferente de cero, mandará una alerta visual a través de un led indicador para mostrar cuál de los módulos es el que presenta datos fuera de lo normal, enunciará por voz en un tono más alto el parámetro que este alterado y el usuario del mismo, posteriormente enunciará el resto de los parámetros como normales si así fuese el caso. La tarjeta ESP32 de cada módulo del paciente envía los datos bajo el protocolo ESPNOW con una configuración Maestro-Esclavo, tal como se muestra en la Figura 6, usando la configuración varios maestros un esclavo. La transferencia de los datos de la tarjeta ESP32 a la Raspberry PI se realiza por el protocolo MQTT, esquematizado en el diagrama de la Figura 7, al ser un protocolo de bajo consumo es ideal para proyectos de atención prehospitalaria con baterías.

Al realizar la conexión de todos los sensores en la tarjeta ESP32 se procede a la programación haciendo uso de la interface IDE de Arduino. Se inicia tomando las lecturas de todos los sensores, como se mencionó anteriormente, las cuales se procesan con la finalidad de parametrizar los valores y englobarlos en rangos saludables o en rangos anormales. En este punto el módulo inalámbrico del paciente tiene la información suficiente para indicar si los parámetros se encuentran en orden o si hay alguna alteración que reportar. En el caso de que los parámetros sean normales el módulo del paciente estará emitiendo un aviso de condición normal de manera periódica en un tiempo programado, ajustado a cada 3, 5 o 7 minutos, sin embargo, en caso de detectar que alguno de los parámetros que se están midiendo esté fuera de rango, de manera inmediata se mandará el mensaje de alerta y reiniciará el contador de tiempo. Si al cabo de un minuto los parámetros siguen fuera de rango normal repetirá esta acción hasta que los parámetros entren a un rango normal o sea apagado el dispositivo. Los datos adquiridos por el módulo del paciente deben ser estructurados para ser enviados a una terminal central, la cual será la encargada de emitir las alertas cuando los parámetros estén fuera de un rango normal. Para el envío de información entre el módulo paciente y la terminal central se genera un arreglo de 5 posiciones, donde las primeras cuatro son las correspondientes a la lectura de la temperatura, pulso, oxigenación y frecuencia respiratoria, mientras la quinta posición queda asignada para una etiqueta diferenciadora correspondiente a cada módulo del paciente, tal como se muestra en la Figura 5. Cuando los datos adquiridos por el módulo del paciente se encuentran dentro de un rango normal el arreglo es llenado con un valor de 0 en sus primeras 4 posiciones (temperatura, pulso, oxigenación y frecuencia respiratoria), lo cual indica que no hay alarma que emitir. En el caso de que un parámetro este fuera de los valores normales, el valor en la posición correspondiente en el arreglo se sustituirá por el valor recuperado del sensor, es decir, si la temperatura se eleva a 38 °C, se enviará un 38 en la primera posición del arreglo, siendo el vector de la forma mostrada en la Figura 5. Esta estructura de envío de datos será con cada uno de los parámetros para que la terminal pueda informar de la alteración de los signos. Este proceso está pensado para trabajar con varios módulos del paciente de manera simultánea, por lo tanto, la quinta posición de etiqueta corresponde al nombre que se le da a cada módulo del paciente con un número consecutivo, por lo que MP1 es el módulo del paciente 1, MP2 es el módulo del paciente 2 y así sucesivamente. Una vez estructurados los datos para el envío

38	0	0	0	MP1
----	---	---	---	-----

Figura 5: Disposición del arreglo de comunicación.

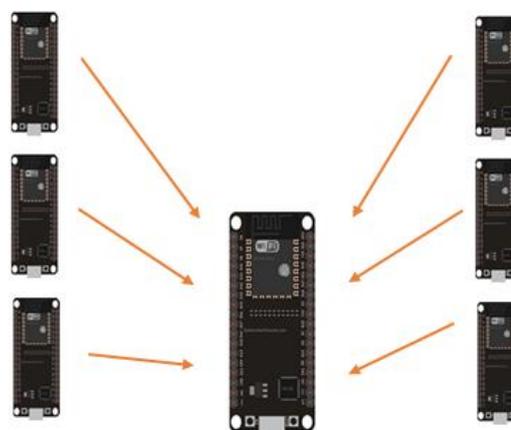


Figura 6: Protocolo ESPNOW un maestro varios esclavos.

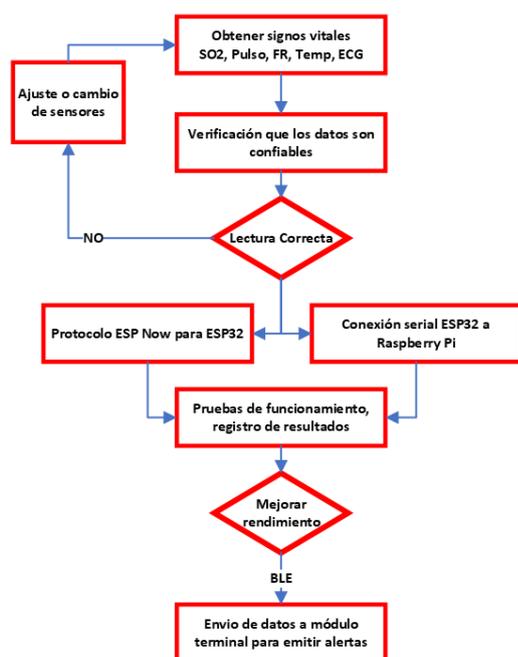


Figura 7: Función general de la comunicación empleada.

protección del equipo para que pueda ser utilizado en condiciones ajenas a la ambulancia, tal como bajo la lluvia. Para esto se implementó la terminal central dentro de un maletín impermeable, lo que evita que el dispositivo se dañe por contacto con el agua, además los módulos del paciente cuentan con todos los elementos aislados para evitar el contacto de los elementos sensibles con el agua. Actualmente, se cuenta con los nuevos parámetros incorporados tal como se muestra en las Figuras 12 y 13.



Figura 8: Primera versión del asistente de signos vitales.

5. Resultados

El asistente de signos vitales emite alertas en forma de audio cuando un parámetro fisiológico se encuentra fuera de sus valores normales, esto permite una indicación inmediata al paramédico del estado de salud de sus pacientes. Durante las pruebas de funcionamiento se obtuvieron lecturas similares a las realizadas en equipos médicos certificados.

5.1. Estructura física

El primer prototipo construido para realizar el monitoreo de los signos vitales llamado VitalAxsist se muestra en la Figura 8, este contaba con módulos del paciente alámbricos conectados por comunicación serial directamente a la Raspberry Pi de la terminal central y un armazón prismático de bocina. Posteriormente se incorporaron en los módulos paciente terminales ergonómicas para que la colocación de las mismas fuera simple y que el posicionamiento de los sensores fuera correcto, mejorando la funcionalidad y estética del prototipo tal como se ve en la Figura 9. En esta etapa el prototipo fue presentado a paramédicos buscando áreas de oportunidad para mejorar el prototipo. Como resultado de esa interacción se solicitó un diseño de dispositivo portable apto para ambiente prehospitalario, por lo tanto, se realizó un rediseño físico con un armazón con características que le permitiera ser portátil, tal como se observa en las Figuras 10 y 11. Hasta ese momento no se tenía aplicado el sistema de ECG.

La aplicación del dispositivo en pruebas de laboratorio y la experiencia de paramédicos, determinó la incorporación de nuevos parámetros, tales como ECG para mejorar la lectura del pulso a través del ritmo cardiaco, así como la detección de arritmias y permitiendo guardar el registro de ECG en caso de necesitarlo como referencia. Así mismo fue solicitada la medición de volúmenes respiratorios a través de espirometría, sin embargo, este parámetro no se tiene implementado. En la última revisión los paramédicos solicitaron mejorar la



Figura 9: Segundo prototipo y primero funcional.

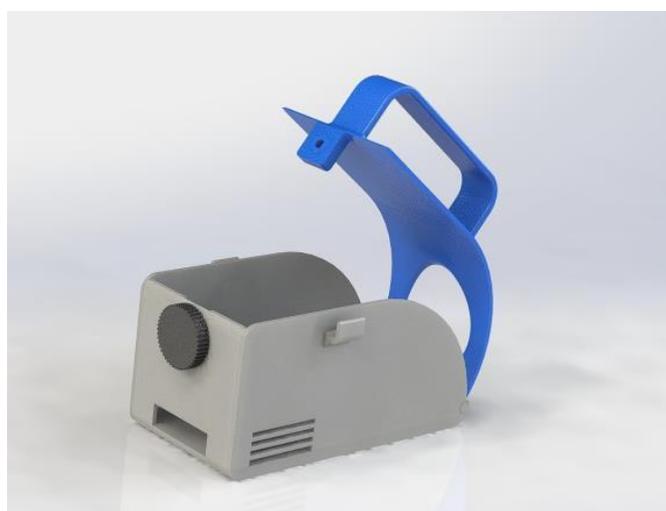


Figura 10: Diseño 3D de la modificación estructural para hacer el dispositivo portátil.



Figura 11: Prototipo portable.



Figura 13: Incorporación de pantalla táctil para visualización de gráficas.

5.2. Manejo de datos

La programación de los elementos para el manejo de datos en la ESP32 se realiza mediante el ID Arduino y para la Raspberry Pi se emplea Python, mientras tanto la transferencia de los datos se realiza por medio de comunicación MQTT.

Para los casos específicos de los elementos sensores de ECG y espirometría se construyeron elementos modulares, al no ser parámetros básicos del monitor de signos vitales, estos bloques pueden ser removibles del equipo o usados como una extensión del mismo, por lo que, los datos serán leídos en el momento deseado por comunicación I2C directamente del ESP32 en donde se implemente y enviado junto con las lecturas de los sensores. Las lecturas que llegan a través de MQTT se imprimen directamente en Python para corroborar visualmente la correcta recepción de los datos obtenidos, los cuales son condicionados para el envío de alertas. En las Figuras 14, 15 y 16 se muestran los datos que los sensores y módulos del paciente envían mediante MQTT, en esta impresión se puede visualizar el dato de la medición y la indicación de la activación de una alarma sonora en caso de parámetros fuera de lo normal. La alerta sonora cambia de intensidad para parámetros en rangos normales y para parámetros fuera de lo normal. En la Figura 17 se muestra la gráfica del ECG por medio de un monitor serial de la ESP32 siendo usado este módulo solo cuando el usuario desee obtener esta lectura. Para lectura del ECG no es necesario calibrar el sistema, sin embargo, se requiere que la conexión estándar de los electrodos sea adecuada.



Figura 12: Asistente de signos vitales con terminales inalámbricas con ECG y espirómetro modular (este último aún está en validación).

```

Shell x
>>> %Run tempir.py
Temperatura corporal 19.950000000000045
Frecuencia Cardiaca: 79
Oxigenación en la sangre: 96
    
```

Fig.14. Impresión de datos que llegan por MQTT de las terminales ESP32.

```
Shell x
>>> %Run tempir.py
Temperatura corporal 36.13000000000005
Frecuencia Cardiaca: 79
Oxigenación en la sangre: 96
MPlayer 1.4 (Debian), built with gcc-10 (C) 2000-2019 MPlayer Team
do_connect: could not connect to socket
connect: No such file or directory
Failed to open LIRC support. You will not be able to use your remote control.
Terminal type 'unknown' is not defined.

Playing normal.mp3.
libavformat version 58.45.100 (external)
Audio only file format detected.
Load subtitles in ./

=====
Opening audio decoder: [mpg123] MPEG 1.0/2.0/2.5 layers I, II, III
AUDIO: 24000 Hz, 2 ch, s16le, 64.0 kbit/8.33% (ratio: 8000->96000)
Selected audio codec: [mpg123] afm: mpg123 (MPEG 1.0/2.0/2.5 layers I, II, III)
=====
AO: [pulse] 24000Hz 2ch s16le (2 bytes per sample)
Video: no video
Starting playback...
A: -0.0 (unknown) of 4.0 (04.0) ??,7%
```

Fig. 15. Lectura de parámetros normales y envío de alerta de audio.

```
Shell x
>>> %Run tempir.py
Temperatura corporal 5.070000000000005
Frecuencia Cardiaca: 81
Oxigenación en la sangre: 98
MPlayer 1.4 (Debian), built with gcc-10 (C) 2000-2019 MPlayer Team
do_connect: could not connect to socket
connect: No such file or directory
Failed to open LIRC support. You will not be able to use your remote control.
Terminal type 'unknown' is not defined.

Playing E_temp_baja.mp3.
libavformat version 58.45.100 (external)
Audio only file format detected.
Load subtitles in ./

=====
Opening audio decoder: [mpg123] MPEG 1.0/2.0/2.5 layers I, II, III
AUDIO: 22050 Hz, 2 ch, s16le, 48.0 kbit/6.80% (ratio: 8000->88200)
Selected audio codec: [mpg123] afm: mpg123 (MPEG 1.0/2.0/2.5 layers I, II, III)
=====
AO: [pulse] 22050Hz 2ch s16le (2 bytes per sample)
Video: no video
Starting playback...
A:  A A (AA A) of 1 A (A1 A) ??,7%
```

Fig. 16. Lectura con un parámetro fuera de rango normal, en este caso la temperatura es baja.



Fig. 17. Señal obtenida del ECG.

5.3. Medición de parámetros fisiológicos

Para la realización de pruebas con un producto terminal de grado médico la NOM-241-SSA1-2021 establece las buenas prácticas de fabricación de dispositivos médicos, mientras la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) regula en México la aplicación y registro de equipo médico. Con propósitos de pruebas iniciales del prototipo se establece un comité de ética institucional que valida un protocolo de pruebas que se usará para cada una de las tomas de lecturas, donde cada usuario debe firmar un acuerdo de deslinde de responsabilidades estando de acuerdo en participar en el protocolo. La toma de los signos vitales de forma convencional en los servicios ambulatorios utiliza diferentes instrumentos para cada signo vital y cada uno de ellos toma un tiempo determinado para entregar una medición, en la gráfica de la Figura 18 se muestra una comparación de los tiempos de espera para

obtener las mediciones de la forma convencional y con el asistente VitalAxist. Los datos mostrados fueron tomados en una simulación de un servicio de emergencia en protección civil de Pátzcuaro, para esto se tomaron 10 muestras de operación en forma manual dando un tiempo total de medición de aproximadamente 4.5 min en promedio mientras que con el uso del asistente se toma un tiempo promedio de 1.5 min. Esto comprueba que los tiempos se reducen un total de 60% en comparación con el método de la toma de signos vitales de forma manual. Cabe destacar que los 4.5 min representan el tiempo necesario para obtener los signos vitales de un paciente una sola vez, mientras el asistente construido lo realiza en 1.5 min a más de un paciente de forma paralela y lo sigue haciendo de manera constante en tiempo real. En la Tabla 1 se enlista una comparativa de tiempos entre el método convencional usado por paramédicos para tomar los signos vitales y el usado con el prototipo asistente VitalAxist, con la finalidad de comparar la eficiencia en tiempos.

Para determinar la confiabilidad de las mediciones obtenidas de los sensores, se realizaron pruebas en condiciones controladas dentro de laboratorio para utilizar una lectura patrón. Se utilizó un simulador multiparamétrico MS400, el cual permite dar señales de ECG, temperatura, presión, entre otras y el dispositivo asistente VitalAxist. Se realizaron pruebas con más de 40 señales diferentes variando su amplitud, además se empleó un monitor de signos vitales de grado médico y el asistente en 50 personas para medir los diferentes parámetros fisiológicos en condiciones controladas y comparar la variabilidad de los resultados. Los resultados de la Tabla 2 muestran las variaciones máximas existentes entre nuestro valor de referencia y el otorgado por el prototipo asistente, además se validaron mediante condiciones de simulación en Protección Civil tal como se muestra en la Figura 19 en donde se observa a personal usando el asistente de signos vitales.

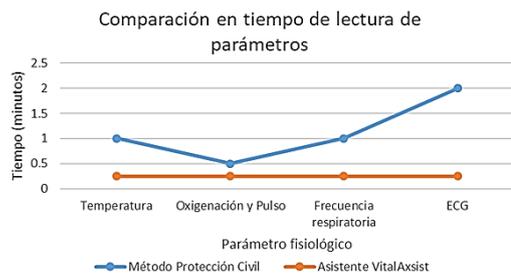


Fig. 18. Comparación del tiempo promedio en la toma de la lectura de los parámetros fisiológicos.

Tabla 1. Comparativa de tiempos en obtención de signos vitales entre el método tradicional usado en protección civil de Pátzcuaro y con el dispositivo VitalAxist en iguales condiciones.

Instrumento	Constante Fisiológica	Tiempo de respuesta (Dato)	Procedimiento	Tiempo total
Pulsioxímetro	Oxigenación y Frecuencia cardiaca	30 segundos	Colocación	4.5 min
			Observación, tacto y medición de tiempo	
Manual	Frecuencia Respiratoria	60 segundos		
Termómetro	Temperatura	60	Colocación	

de monitor de signos vitales comercial		segundos		
Monitor de signos vitales comercial	ECG	120 segundos	Colocación de electrodos	
VitalAxassist	Temperatura, oxigenación, frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y ECG.	90 segundos	Colocación de terminales inalámbricas	1.5 min

Tabla 2. Variación máxima en la comparativa de VitalAxassist con equipo médico.

Parámetro	Variación máxima
Pulso	± 2 lpm
Saturación de oxígeno	$\pm 1\%$
Temperatura	± 0.2 °C
ECG Pulso	± 1 lpm
ECG Onda	Mínima en Complejo QRS



Fig. 19. Simulación de la aplicación del asistente de monitoreo de signos vitales.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

Los servicios prehospitalarios son indispensables para la población lo cual exige una atención de calidad y eficiente que asegure priorizar la vida de quienes requieren de estos servicios. El asistente de signos vitales VitalAxassist está diseñado para proveer asistencia eficiente al paramédico. En base a las pruebas de funcionamiento se cubren las

necesidades básicas que el personal de Protección Civil Pátzcuaro necesita para realizar su trabajo.

La lectura de parámetros es más rápida que por los medios tradicionales y permite el monitoreo constante a N cantidad de pacientes.

La estructura se adecuó a las necesidades específicas del personal de Protección Civil pasando por varios rediseños, sin embargo, actualmente se tiene una versión final funcional que permite la lectura de los parámetros sin importar si hay o no lluvia.

Hasta el momento solo se han empleado 4 módulos del paciente con lo cual el protocolo BLE de comunicación no ha presentado problemas para el monitoreo, sin embargo, al incrementar la cantidad de módulos será necesario verificar la velocidad y confiabilidad de datos.

Como trabajo a futuro se está desarrollando un sistema de comunicación constante desde la zona de atención prehospitalaria a la nube por medio de una base de datos en tiempo real que permita ser consultada por los centros de atención médica a donde será trasladado el paciente así agilizando la recepción de su o sus pacientes.

También como trabajo futuro se tiene la medición de la velocidad de transmisión de datos entre módulos del paciente y la terminal central.

Referencias

- Jusionyte, I. (2018). Threshold: Emergency Responders on the US-Mexico Border (1st ed.). University of California Press. <http://www.jstor.org/stable/10.1525/j.ctv5cgb69>.
- Newton, A. (2022). IoT Based ECG Monitoring with AD8232 ECG Sensor & ESP32. How To Electronics. <https://how2electronics.com/iot-ecg-monitoring-ad8232-sensor-esp32/>.
- Tineo, Z. J. L., Rodil, G., & Morillo, M. (2012). Monitor Electrónico de Signos Vitales. Editorial Académica Española, 2012. ISBN 3659064750.
- Cabezas, R., López, D. y Maridueña, M. (2017): Desarrollo de un Prototipo de Hardware y Aplicación Móvil para Detectar Signos Vitales, Revista Caribeña de Ciencias Sociales (septiembre 2017). En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2017/09/desarrollo-hardware-aplicacion.html>.
- Herrería Grijalva, P. C., & Navarrete Vallejos, J. P. (2016). Diseño y construcción de una red de monitoreo de signos vitales en adultos mayores con deficiencia de movilidad. 172 hojas. Quito: EPN.
- Olvera Téllez, D. J. y González Escalona, J. U. (2013) Diseño y construcción de un sistema de monitoreo de signos vitales [Tesis de ingeniería]. ESIME - Instituto Politécnico Nacional.
- Bonnell, G. (2021). Introduction To Raspberry Pi: The Basic Programs In Python: Raspberry Pi 4 Network. Independently Published. ISBN 979-8746186676.
- Carrasco, D. (26 de mayo 2021). ESP-Now conecta dos o más ESP32/ESP8266. ElectroSoftCloud. Recuperado de <https://www.electrosoftcloud.com/esp-now-conecta-dos-o-mas-esp32-esp8266/>.
- Teresa, A. (2012). Estudio y análisis del comportamiento de redes ad hoc móviles. Eae Editorial Academia Española. ISBN 978-3847362876.
- Santiago Pelaz, P. (2022). Diseño y desarrollo de un concentrador de información utilizando el protocolo BLE (Bluetooth Low Energy). Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. y Sistemas de Telecomunicación (UPM), Madrid.
- Shiaeles, S., & Kolokotronis, N. (2021). Internet of Things, Threats, Landscape, and Countermeasures (1.). CRC Press.