

Recibido: 6/5/2021 / Aceptado: 6/7/2021

doi: <https://doi.org/10.26439/interfases2021.n014.5168>

# IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES: PULSO, TEMPERATURA Y SATURACIÓN DE OXÍGENO PARA PACIENTES

MAURICIO ALONSO BEJARANO REYES

mbejarano@unitru.edu.pe / ORCID: 0000-0001-6354-7386

EDGAR ANDRÉ MANZANO RAMOS

emanzano@unitru.edu.pe / ORCID: 0000-0002-8198-5619

Universidad Nacional de Trujillo, Perú

## Resumen

El internet de las cosas es un concepto de interconexión digital de objetos cotidianos con internet, el cual se emplea generalmente para mejorar el nivel de comodidad en las tareas cotidianas y optimizar negocios. Así también, puede ser integrado en el mundo de la salud para darle aplicaciones médicas; uno de los escenarios típicos de aplicación es el servicio de telemedicina, como la práctica de la atención médica a distancia. Es así que este artículo describe el desarrollo de un sistema de monitoreo de signos vitales: pulso, temperatura y saturación de oxígeno en la sangre, el cual se basa en la comparación y selección de componentes por medio de la metodología de la investigación y su validación a través de un análisis estadístico. Dicho sistema de monitoreo busca ser utilizado en el cuidado de pacientes con tratamientos domiciliarios, como un sistema compacto y de bajo costo, con la capacidad de brindar información médica oportuna e implementar a futuro tecnologías de computación en la nube e internet de las cosas para realizar un monitoreo remoto de los datos objetivos y subjetivos del paciente. Además, se detalla el diseño e implementación de la tarjeta principal, la selección de los sensores biomédicos, elaboración de soportes y programación.

PALABRAS CLAVE: metodología de la investigación / análisis estadístico / computación en la nube / internet de las cosas

## IMPLEMENTATION OF A MONITORING SYSTEM AT THE PROTOTYPE LEVEL OF VITAL SIGNS: PULSE, TEMPERATURE, AND OXYGEN SATURATION FOR PATIENTS

### Abstract

The Internet of Things is a digital interconnection between everyday objects and the Internet, which is generally used to improve comfort in daily tasks and optimize business. Thus, it can be integrated into the health world to give it medical applications, being one of the typical application scenarios of the telemedicine service, such as remote medical care. In this way, this article describes the development of a monitoring system for vital signs: pulse, temperature, and oxygen saturation in the blood, which is based on the comparison and selection of components through the research methodology, and its validation through statistical analysis. This monitoring system seeks to be used in the care of patients with home treatments as a compact and low-cost system to provide timely medical information and implement future Cloud Computing and Internet of Things technologies to perform remote monitoring of objective and subjective patient data. In addition, the design and implementation of the mainboard, the selection of biomedical sensors, the preparation of supports and programming are detailed.

KEYWORDS: research methodology / statistical analysis, cloud computing  
/ Internet of Things

## 1. INTRODUCCIÓN

El internet de las cosas al ser integrado en el mundo de la salud para darle aplicaciones médicas, se denomina internet de las cosas médicas y se emplea en el servicio de telemedicina como la práctica de la atención médica a través de tecnologías de información y comunicación (TIC) (Sanmartín *et al.*, 2016), tecnología médica y el personal experto del área de la salud que emplean estas herramientas para realizar servicios a pacientes (Hailey *et al.*, 2002). En la medicina es necesario el monitoreo de los signos vitales de los pacientes para evaluar su nivel de funcionamiento físico. Es así que estos sistemas son altamente aplicados en ambientes hospitalarios; sin embargo, existen casos de enfermedades con tratamientos domiciliarios que poseen factores de riesgo que, de no ser tratados a tiempo, pueden tener consecuencias fatales.

Un ejemplo de lo anteriormente mencionado, es el tratamiento de cardiopatías congénitas, las cuales requieren de un monitoreo constante como lo describe la Fundación Cardiovascular de Colombia [FCV] (2017), quienes implementaron un sistema de monitoreo de signos vitales y obtuvieron resultados significativos en la reducción de la estancia hospitalaria y la tasa de mortalidad de la Unidad de Cuidados Intensivos Cardiacos, de 10,7 % en 2011 a 3,7 % en 2015. Además, en la coyuntura mundial actual del COVID-19, EsSalud emitió un reporte acerca de la viabilidad de la implementación de un sistema de telemedicina para pacientes con COVID-19 a los que catalogan como casos leves con factores de riesgo (EsSalud, 2020). En este reporte se concluye que un factor arraigado a la mortalidad en este tipo de pacientes fue la baja saturación de oxígeno al llegar al hospital, por lo que los pacientes hospitalizados se admitieron tardíamente.

Asimismo, los signos vitales por definición son medidas que indican el funcionamiento fisiológico de un individuo y se reconocen generalmente como la temperatura, el pulso y la respiración. Se pueden identificar dos tipos de respiración, la externa y la interna, que hacen referencia al intercambio de oxígeno y dióxido de carbono en los pulmones y tejidos respectivamente (Du Gas, 2000). Por otro lado, la saturación de oxígeno en la sangre es considerada por distintos autores como el quinto o sexto signo vital, siendo significativo en el cuidado del paciente como un método no invasivo y sin necesidad de la intervención directa de personal sanitario; por tanto, es esencial para diagnosticar complicaciones respiratorias.

Por otro lado, Esquicha Tejada (2019) desarrolló un sistema capaz de controlar los riesgos que existen en ambientes hospitalarios y en los almacenes de archivos clínicos implementando un computador de bajo costo y consumo, de la marca Raspberry Pi, con el uso de una plataforma de IoT. Este trabajo nos muestra ciertas aplicaciones de *hardware* y *software* actuales orientados a la medicina. Además, en Yauri Rodríguez (2018) se desarrolló una red inalámbrica de sensores para la adquisición de señales electrocardiográficas, temperatura y pulso. Además, en esta tesis se implementa el

uso de nodos, compuestos por un microcontrolador y un sensor biomédico para cada signo vital, exponiendo un panorama del desarrollo de sistemas de monitoreo de signos vitales. En González Romero (2019), se realizó un estudio experimental de las diferentes zonas del cuerpo en donde se pueden realizar mediciones del pulso y saturación de oxígeno empleando un pulsioxímetro MAX30102, lo que constituye un precedente para el desarrollo de una investigación que involucre los signos vitales mencionados. Además, de acuerdo a Du Gas (2000), las observaciones que recoge una enfermera incluyen datos objetivos, es decir, lo que percibe mediante sus sentidos y/o a través de la instrumentación, y subjetivos del paciente, es decir lo que él percibe de sí mismo. Esto último es de especial interés en el desarrollo de un sistema de monitoreo con mejores capacidades.

Según lo anterior, el sistema desarrollado tiene como objetivo registrar los datos de los signos vitales: pulso, temperatura y saturación de oxígeno del paciente a través de sensores biomédicos conectados a una tarjeta única, con la expectativa de prevenir la presencia de factores de riesgo. Técnicamente, el sistema se basa en el uso de sensores biomédicos, de acuerdo con los signos vitales acotados en la investigación, para lo cual fue necesario desarrollar el *hardware* y el *software* adecuados para el tratamiento de los datos y orientar el desarrollo a la comunicación remota, empleando el modelo de computación en la nube, tecnologías de internet de las cosas e implementación de capacidades para la adquisición de más datos objetivos y subjetivos del paciente.

En ese sentido, el presente artículo describe, en la segunda sección, los requerimientos del sistema y proceso de diseño tanto conceptual como específico. En la tercera sección se detalla brevemente la validación del sistema. Finalmente, en la cuarta y última sección se detallan las conclusiones obtenidas.

## **2. SISTEMA DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES: PULSO, TEMPERATURA Y SATURACIÓN DE OXÍGENO**

En función a documentos aprobados y estipulados por el Ministerio de Salud del Perú tales como Hospital María Auxiliadora (2010) y Ministerio de Salud del Perú (MINSA) (2009), así como la encuesta realizada a personal sanitario que se evidencia en la tabla 1 a manera de juicios de expertos, se concibieron ciertos lineamientos para elaborar los requerimientos del sistema.

### **2.1 Requerimientos del sistema**

El sistema requiere de una fuente de energía compatible con la red de servicio de electricidad para instalaciones de carácter privado de uso residencial en el Perú, que estipula una tensión 220V monofásico con una frecuencia nominal 60Hz, tal como establece el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2006, sección 020 p. 12).

Los materiales utilizados para elaborar el dispositivo deben ser duraderos en la zona de trabajo ante posibles factores ambientales que puedan causar afecciones en este, y por ende afectar al paciente (MINSA, 2009), considerando el juicio de los expertos recopilado.

De acuerdo con los resultados de juicio de los expertos, además de lo expuesto en Du Gas (2000) y Mejía y Mejía (2012), se determinaron rangos para la obtención de datos. Para la temperatura corporal se considera una variación normal, en la mayoría de adultos, de mediciones entre 36,2 °C y 38 °C, considerándose hipotermia e hipertemia cuando los valores son menores a 34 °C y mayores a 40,6 °C respectivamente. Además, la escala de un termómetro clínico suele abarcar el rango de 34 °C a 42 °C. Por ello, se determina un rango de 30 °C a 45 °C. Por otro lado, la saturación de oxígeno en la sangre medida a nivel del mar puede tomar valores de entre 97 % a 99 %. Además, niveles menores al 92 % se podrían identificar una hipoxemia “silenciosa” de manera previa a síntomas más severos (EsSalud, 2020). Por lo tanto, se considera un rango de 0 a 100 %. Finalmente, el pulso de los recién nacidos posee un intervalo de entre 80 a 180 latidos por minuto y, en adultos, entre 60 y 100, por lo que se consideran taquicardia los valores mayores a 100 latidos por minuto y bradicardia aquellos menores a 60 latidos por minuto. Por lo anterior, se determina un rango de latidos por minuto de 0 a 100, puesto que será utilizado en adultos.

Se debe realizar la comunicación entre sensores y controlador mediante un protocolo fiable, adecuado para monitoreo con intervalos de tiempo de acuerdo a lo expuesto por el juicio de los expertos, de donde establecimos que el tiempo promedio entre muestreo de datos es amplio por lo que no se requiere de alertas de pérdida de conexión. La frecuencia de operación utilizada permitirá la conexión y transmisión remota de datos y, por tratarse de una red en torno al cuerpo humano, debe pertenecer a las bandas ISM (industriales, científicas y médicas), según el artículo RR 5.150 de la International Telecommunication Union [ITU] (2016). Los circuitos y componentes electrónicos del sistema deben estar aislados de afecciones externas como estática o interferencia. Además, se debe asegurar la información implementando mecanismos de seguridad que garanticen la integridad y autenticación de los mensajes, de acuerdo al inciso 6.2.3 del MINSA (2009).

El sistema debe realizar la medición de los signos vitales (pulso, temperatura y saturación de oxígeno) de acuerdo con los procedimientos técnicos de enfermería aprobados por el MINSA y en función a los valores normales del paciente, de acuerdo al capítulo V de Hospital María Auxiliadora (2010), donde se expone una serie de lineamientos para la correcta toma de los signos vitales del paciente, los cuales son relevantes para el diseño del sistema.

Los elementos de las tecnologías utilizadas no deben interferir con las actividades médicas y cotidianas del paciente (MINSA, 2009). Además, el sistema debe poseer la capacidad de funcionar con tan solo ser encendido, ya que será empleado por personas que no poseen conocimientos técnicos necesarios para realizar otras operaciones.

Se debe utilizar tecnología que cuente con condiciones técnicas de calidad, estándares, respaldo y soporte técnico-científico (MINSA, 2009), consideración de *hardware* y *software* en función a la disponibilidad del mercado.

El dispositivo debe poseer un precio menor al promedio de dispositivos comerciales con funciones similares, como el tomado como referencia en Mercado Libre (2021), el cual posee la capacidad de monitorear saturación de oxígeno en la sangre, presión no invasiva, temperatura corporal y pulso cardíaco como parámetros estándar, entre otros parámetros opcionales y la capacidad de transmitirlos a través de una red wifi. (EDAN, 2021).

## 2.2 Diseño conceptual

Para lograr los objetivos de selección e implementación del *hardware* y *software* necesario para el desarrollo del sistema se pretende definir las funciones que engloban el sistema e identificar sus principios de funcionamiento siguiendo las metodologías de diseño. Para ello, se elaboró la estructura de funciones del sistema, partiendo de una función general y distribuida de acuerdo al análisis de los elementos del entorno con los que interactúa el sistema. Se reconoce los elementos del entorno, los cuales son: el paciente, el personal sanitario especializado, la energía eléctrica y los signos vitales. Se identificaron las entradas al dispositivo, entre las que destacan los signos vitales del paciente y la energía eléctrica domiciliaria, que son entradas del tipo información y energía respectivamente. Se identificaron las salidas del dispositivo, información del proceso, que es una salida del tipo información. A continuación, se muestra la estructura de funciones del sistema en la figura 1.

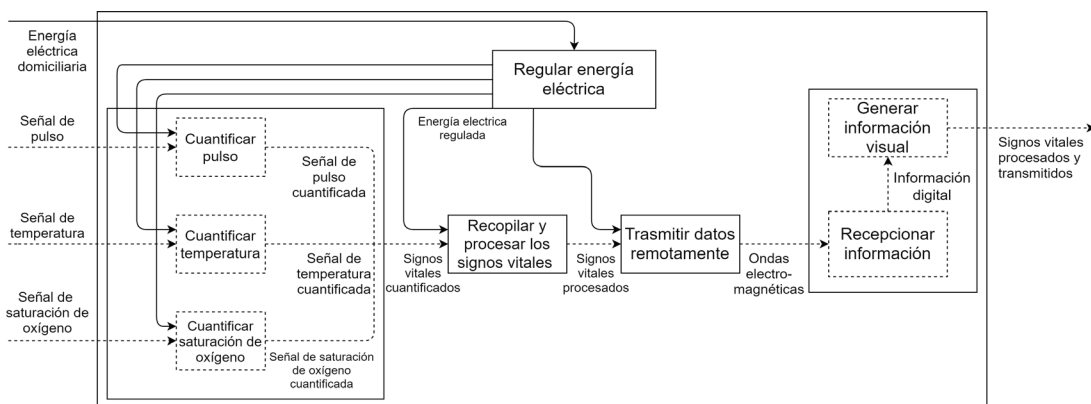


Figura 1. Estructura de funciones del sistema de monitoreo remoto

Elaboración propia

Una vez definida la estructura de funciones del sistema, se determinaron los principios de funcionamiento para cada función a través de una matriz morfológica. Una vez definidos los principios de funcionamiento de las respectivas funciones del sistema, fue necesario realizar una comparación de los mismos de acuerdo con ciertos criterios pertinentes empleando fichas de datos de los dispositivos o componentes, así como comparar las interfaces y protocolos de comunicación, como paso esencial para elaborar matrices de compatibilidad entre los principios de funcionamiento de las funciones y el desarrollo del proyecto en general.

Luego de determinar los principios de funcionamiento para cada función identificada en la estructura de funciones y comparar cada uno de ellos para determinar su compatibilidad e identificar criterios importantes, se obtuvieron diferentes conceptos de solución que cumplieran con la función general del sistema de monitoreo remoto. En la figura 2 se muestra la, la matriz morfológica y los conceptos de solución obtenidos.

Puesto que todos los dispositivos seleccionados para el desarrollo de la tarjeta poseen alimentación de 5V DC, se seleccionó el regulador de voltaje XL4005 según lo visto en el diseño conceptual del sistema. Posteriormente, mediante pruebas experimentales se determinó que la utilización de un solo regulador de voltaje no cumplía con proporcionar una regulación óptima para la alimentación del circuito de adquisición de datos y la tarjeta de transmisión de datos Raspberry Pi, debido a la baja diferencia de voltaje de alimentación que el depósito soporta según su regulador interno, lo que producía su reinicio. Por ello, se determinó el uso de dos reguladores de voltaje XL4005, ambos regulados a un voltaje de salida de 5V DC, y tras haber realizado los cálculos del consumo de potencia promedio de las partes del circuito que serán alimentadas por los reguladores.

Se verificó, en las hojas de datos de los sensores del concepto de solución seleccionado que son adecuados para el uso en humanos de acuerdo con lo descrito como aplicaciones, siendo *Wearable Devices* para el sensor MAX30102, tal como ese establece en Maxim Integrated (2020) y medición de la temperatura para el MLX90614, como estipula Melexis Microelectronic Integrated Systems (2006).

| Funciones                               | Principios de funcionamiento   |                                   |                        |
|---|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|   | 1                              | 2                                 | 3                      |
| Regular energía eléctrica               | Transformador de voltaje AC-DC |                                   |                        |
|   | Fuente para protoboard 3.3V/5V | Convertir Voltaje DC-DC 5A XL4005 |                        |
| Digitalizar temperatura                 | Sensor TMP36                   | Sensor DS18B20                    | Sensor MLX90614        |
| Digitalizar pulso                       | Sensor SEN-PULSE-FE            | Pulsioxímetro MAX30102            | Pulsioxímetro MAX30100 |
| Digitalizar saturación de oxígeno       | Pulsioxímetro MAX30100         |                                   |                        |
| Recopilar y procesar los signos vitales | Arduino Nano                   | Arduino Mega 2560-Embebido        | Node MCU               |
| Transmitir datos remotamente            | Raspberry Pi Zero W            | Módulo Shield SIM900              |                        |
| Recepcionar información                 | Thingspeak                     | Beebotte                          |                        |
| Generar información virtual             | PC                             | Celular                           |                        |

Figura 2. Matriz morfológica y conceptos de solución del sistema monitoreo remoto  
Elaboración propia



Finalmente, en la figura 3, se muestra el diagrama general del sistema desarrollado con todos los componentes y las conexiones entre ellos.

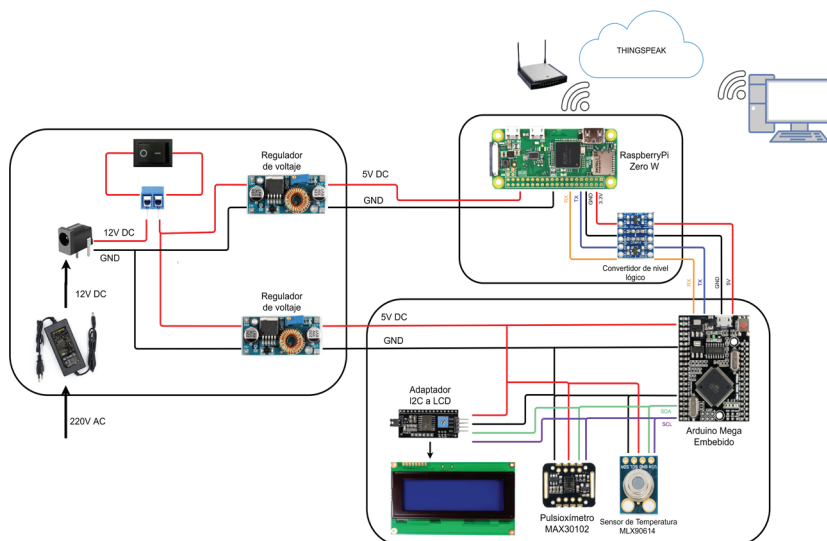
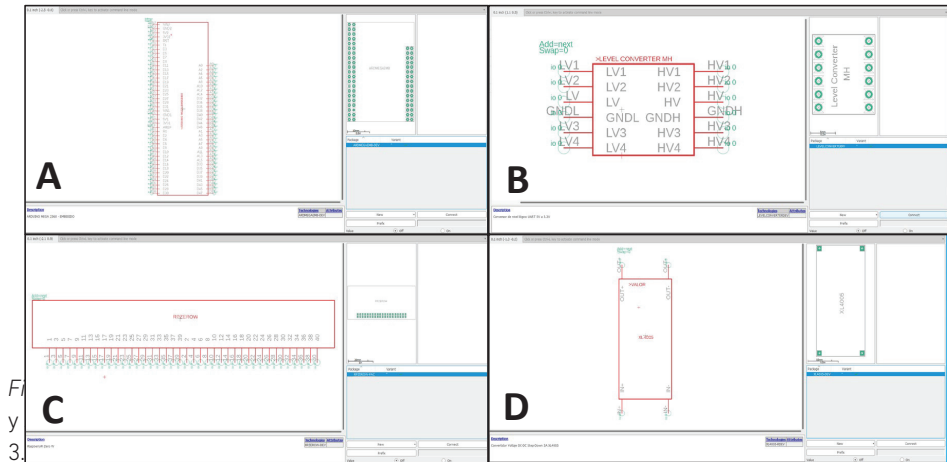


Figura 3. Diagrama de la arquitectura detallada del sistema  
Elaboración propia

### 2.3 Diseño específico

Si bien los sensores son parte fundamental del sistema de monitoreo, por sí mismos no pueden funcionar como un sistema para realizar la medición y adquirir los datos biomédicos. Por ello, para la elaboración de la tarjeta del sistema se desarrollaron librerías de los componentes seleccionados, para lo que se determinaron las dimensiones de los componentes físicos: Raspberry Pi Zero W, Arduino Mega-Embebido, convertidor de voltaje de nivel lógico y Regulador XL4005. Se realizó el diseño del símbolo y el encapsulado de cada componente, como se muestra en la ventana de dispositivo del *software* Eagle en la figura 4.



Elaboración propia

Asimismo, de acuerdo con la información recopilada a manera de juicio de experto, mediante encuestas a personal sanitario y de MINSA (2009) se determinaron las zonas del cuerpo ideales para la medición de los signos vitales del paciente. Se determinó que el dedo es la zona del cuerpo humano ideal para realizar la toma de los signos vitales: pulso cardíaco y saturación de oxígeno en la sangre. Para ello se realizó un soporte para el sensor MAX30102, empleando el *software* SolidWorks. De igual manera, se determinó que la frente es la zona del cuerpo humano ideal para la medición de la temperatura corporal, para lo que se desarrolló un soporte para el sensor MLX90614, el que debe estar cerca del cuerpo de la persona en primera instancia puesto que el sensor trabaja a un ángulo de 90 grados de acuerdo con su hoja de datos, y para lograr mediciones a mayores distancias que la diseñada se requeriría de un lente, Y, por otro lado, el aumentar la distancia al cuerpo para la lectura de los datos significaría el diseño de un soporte más complejo, propenso a fallos por movimiento del paciente y con mayor índice de afección a las actividades del paciente o si se realiza pegado al cuerpo, poseería un mayor tamaño pudiendo generar molestias en el paciente. Se diseñó un contenedor compuesto por una pieza inferior y superior que posee aberturas para la conexión a la fuente AC-DC, para el botón de apagado y encendido, para la LCD2004 y para el cableado de los sensores. A continuación, se muestran las vistas isométricas de las piezas de soporte en la figura 5.

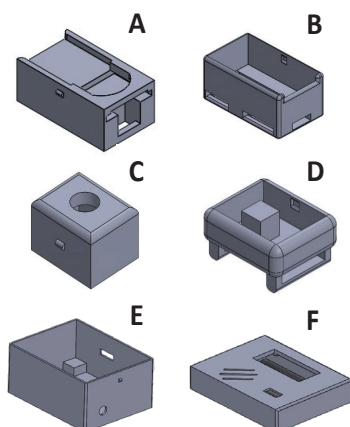


Figura 5. Vistas isométricas de las piezas de soporte. (A) Vista isométrica de la pieza superior de soporte del Sensor MAX30102, (B) pieza inferior de soporte del Sensor MAX30102, (C) pieza superior de soporte del sensor MLX90614, (D) pieza inferior de soporte del sensor MLX90614, (E) pieza inferior del contenedor del sistema y (F) pieza superior del contenedor del sistema

Elaboración propia

Para la programación de la placa Arduino Mega-Embebido, se determinó el empleo de la librería para los signos vitales: pulso y saturación de oxígeno en la sangre, *SparkFun Max3010x* y la librería *Adafruit-MLX90614* para determinar la temperatura corporal. Adicionalmente se utilizó la librería *Liquid Crystal I2C master*, para controlar la pantalla LCD 2004. Fue necesaria la importación de los archivos de cabecera o *header* *MAX30105.h* y *spo2\_algorithm.h* propios de la librería *SparkFun Max3010x*, para la obtención de la saturación de oxígeno en la sangre y la importación del archivo de cabecera *heartRate.h* propio de la librería *SparkFun Max3010x*, para la obtención del pulso.

Se determinó experimentalmente la implementación de un algoritmo de depuración de los valores indeseados en la función de obtención de la saturación de oxígeno, obteniendo buenos resultados, pero dependientes del buen posicionamiento del sensor en el dedo del paciente.

Para la obtención del pulso se empleó la función *checkForBeat* de la librería *SparkFunMax3010x* y la función *millis()* para determinar una aproximación a la cantidad de latidos por minuto a partir de la verificación, con la primera función mencionada, de la obtención correcta de un latido; implementando una regla de tres simple para obtener cuantos latidos por minuto presenta el paciente a partir del tiempo devuelto por la función *millis()*, en el que se halló un valor correcto de pulso. Este algoritmo se estabiliza de forma progresiva, al emplear el tiempo en que esté operativo el Arduino.

Se determinó experimentalmente la recopilación de 1000 datos secuencialmente esenciales para determinar un valor estabilizado del pulso, de igual manera que con la obtención de la saturación de oxígeno se obtienen datos fluctuantes, pero en intervalos pequeños, debido a que no se tienen una ubicación precisa en el dedo que se determine como óptima para la medición de los signos vitales en cuestión. Para la obtención de la temperatura se hizo uso de la función `readObjectTempC()` de la librería `Adafruit-MLX90614`.

Para la transmisión remota de los datos muestreados, en un código en lenguaje de programación Python, se realizó la implementación de las librerías `Serial`, `time` y `request`, así como los métodos `rstrip()` y `split()` para remover los espacios como caracteres finales y las comas separadoras, respectivamente, de las cadenas de texto String que transfieren los datos por comunicación serial desde el Arduino hacia la Raspberry Pi implementando un conversor de voltaje de nivel lógico, posteriormente separados empleando un bucle `for`. Por medio de la librería `request`, a través del método `requests.get` se realiza el envío de los datos utilizando la API Key exportada de Thingspeak, por medio del protocolo de comunicación HTTP. Previamente se realizó la conexión del Raspberry Pi a una red con configuración de seguridad inalámbrica WPA2 funcionando con la banda de 2.4GHz, perteneciente a las bandas ISM. Además, en la API ThingSpeak en el apartado `Channel Settings` se añadieron y posteriormente se tres configuraron `Field` para los tres respectivos signos vitales acotados en la presente investigación, además de las coordenadas del dispositivo como se muestra en la figura 6. Dichas configuraciones se realizaron en el marco de la investigación para determinar la viabilidad del concepto de solución seleccionado aquel en el cual se incluyó la transmisión remota de los datos de los signos vitales, a manera de tener un panorama completo para posteriores investigaciones.

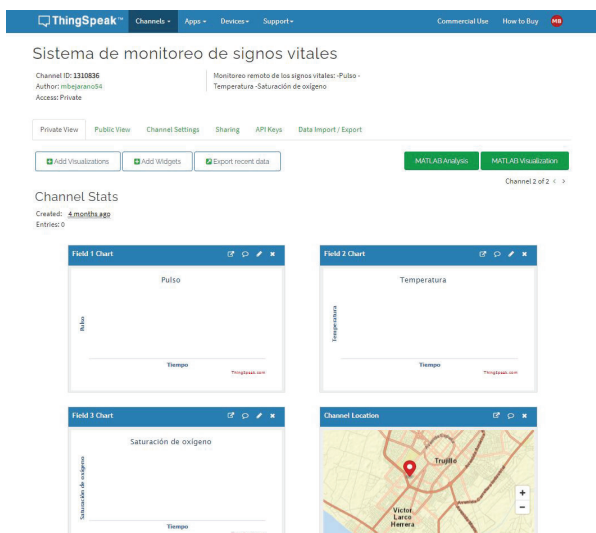


Figura 6. Interfaz gráfica para la visualización de los datos a través de una PC  
Elaboración propia

De acuerdo con la selección, comparación y desarrollo de los componentes del sistema; se diseñó e implementó una placa electrónica de propósito específico para el sistema, como se muestra en la figura 7. Finalmente se implementaron los diseños de soportes, como se muestra en la figura 8, utilizando una impresora 3D.

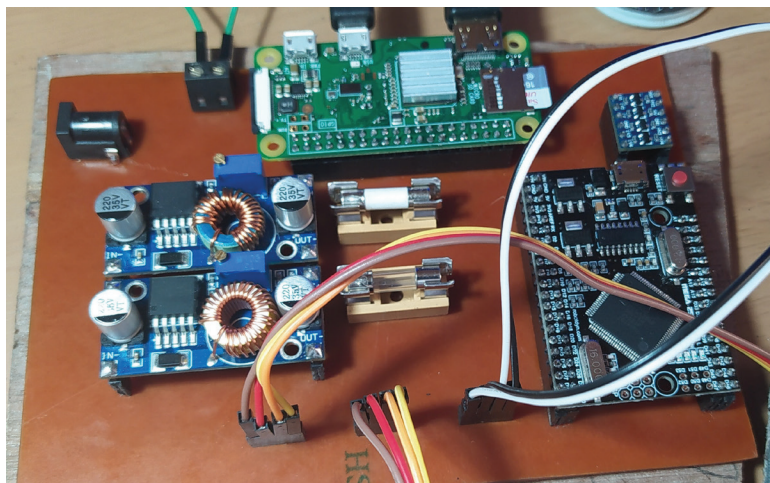


Figura 7. Placa terminada con sus componentes modulares conectados

Elaboración propia



Figura 8. Sistema completo implementado

Elaboración propia

### 3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE SIGNOS VITALES

Para la validación del sistema de monitoreo remoto se utilizó la toma de mediciones de los signos vitales del autor: Autor 01, a manera de paciente, quien se encontraba en buen estado de salud en el momento del desarrollo de la investigación. Se determinó, a partir del juicio de expertos, como se muestra en la tabla 1, que la determinación de los valores normales de los signos vitales como pulso, temperatura y saturación de oxígeno en la sangre, fuera cada siete horas en promedio durante cuatro días.

Es así que, además de las mediciones realizadas por el sistema desarrollado, se realizaron mediciones con dispositivos comerciales: el pulsioxímetro CONTEC CMS50D para el pulso y saturación de oxígeno, así como el termómetro infrarrojo KANGJI KY-111 para la temperatura, de los cuales se obtuvieron los datos que se muestran en las tablas 2 y 3. Adicionalmente, con los datos muestreados a través de los dispositivos comerciales se determinaron los signos vitales normales del paciente que se muestran en la tabla 4, los cuales nos dan un panorama de los valores de los signos vitales en condiciones normales ya que estos varían de un individuo a otro y en diferentes horas del día en la misma persona (Du Gas, 2000) y permiten contrastar lo obtenido por el sistema desarrollado.

Tabla 1

*Resultados de la encuesta aplicada por medio de la plataforma Google Forms*

|   |                       |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Marca temporal  | 2/27/2021<br>19:40:55 | 2/27/2021<br>19:52:52 | 2/27/2021<br>20:42:55 | 2/28/2021<br>18:14:46 |
| Dirección de correo electrónico   | Correo 01             | Correo 02             | Correo 03             | Correo 04             |
| Nombres y apellidos   | Persona 01            | Persona 02            | Persona 03            | Persona 04            |
| Edad  | 60 años               | 71 años               | 57 años               | 58 años               |
| Carrera profesional   | Medicina Humana       | Enfermería            | Enfermería            |                       |
| En su trabajo como personal sanitario, ¿ha realizado la medición de los signos vitales: pulso, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal? | Sí                    | Sí                    | Sí                    | Sí                    |
| De acuerdo a sus conocimientos, ¿cuáles son los valores máximo y mínimo de pulso (BPM) de un ser humano?  | 90 y 60 BPM           | 100 y 60 BPM          | 100 y 60 BPM          | 100 y 60 BPM          |

(continúa)

*(continuación)*

|   |  |   |   |  |
|---|--|---|---|--|
| De acuerdo a sus conocimientos, ¿cuáles son los valores máximo y mínimo de la saturación de oxígeno (%) de un ser humano?                         | 100 % y 92 %   | 100 % y 95 %  | 100 % y 95 %  | 100 % y 95 %   |
| De acuerdo a sus conocimientos, cuáles son los valores máximo y mínimo de la temperatura (°C) de un ser humano?                                   | 37 °C y 36,2 °C  | 37,3 °C y 36,1 °C   | 37 °C y 36 °C   | 37,2 °C y 36,1 °C  |
| En su opinión, ¿qué características de operación esperaría de un sistema de monitoreo de signos vitales remoto? (opción múltiple)                 | Encender solo con un botón, Pantalla física en el dispositivo (a manera de contrastación), Utilizar una página web a la cual se accede desde cualquier dispositivo con internet (laptop, teléfono, etc.) | Pantalla física en el dispositivo (a manera de contrastación), Utilizar una app instalable en su dispositivo móvil. Utilizar una página web a la cual se accede desde cualquier dispositivo con internet (laptop, teléfono, etc.) | Utilizar una página web a la cual se accede desde cualquier dispositivo con internet (laptop, teléfono, etc.). Interfaz amigable de usuario | Encender solo con un botón, Pantalla física en el dispositivo (a manera de contrastación), Utilizar una página web a la cual se accede desde cualquier dispositivo con internet (laptop, teléfono, etc.) |
| En su opinión y experiencia, ¿qué consideraciones se deberían tener con respecto a las características físicas del sistema? (opción múltiple)     | Robusto ante caídas, montaje y desmontaje intuitivo  | Robusto ante caídas, montaje y desmontaje intuitivo   | Robusto ante caídas. Que no interrumpa las actividades del paciente. Montaje y desmontaje intuitivo   | Que no interrumpa las actividades del paciente   |
| En su opinión y experiencia, ¿qué zonas del cuerpo considera ideales para la medición del pulso? (opción múltiple)                                | Dedo, muñeca   | Dedo, muñeca, axila   | Dedo, muñeca  | Muñeca, cuello   |
| En su opinión y experiencia, ¿qué zonas del cuerpo considera ideales para la medición de la saturación de oxígeno en la sangre? (opción múltiple) | Dedo   | Dedo  | Dedo  | Dedo   |

*(continúa)*

(continuación)

|  |   |                            |                            |                        |
|--|---|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| En su opinión y experiencia, ¿qué zonas del cuerpo considera ideales para la medición de la temperatura corporal, utilizando instrumentos o sensores por contacto con el cuerpo? (opción múltiple)   | Axilar, esofágica, conducto auditivo        | Axilar                     | Axilar, bucal              | Axilar, bucal          |
| En su opinión y experiencia, ¿qué zonas del cuerpo considera ideales para la medición de la temperatura corporal, utilizando instrumentos o sensores sin contacto con él cuerpo? (opción múltiple)   | Cuello, frente                              | Frente                     | Frente                     | Frente, muñeca         |
| En su opinión y experiencia, ¿qué tipo de material debería de emplearse para los soportes de sensores y otros componentes, asumiendo que tendrán contacto con el paciente y podría ocasionar alguna afección en su contra? (opción múltiple) | Plástico o similares, jebe                  | Plástico o similares, jebe | Plástico o similares, jebe | Jebe, acero inoxidable |
| Para determinar los signos vitales normales de un paciente ¿cada cuántas horas al día debe medirse el pulso?   | Cada seis horas (si no es paciente crítico) | Cada cuatro horas          | Cada ocho horas            | Cada cuatro horas      |
| Para determinar los signos vitales normales de un paciente ¿cada cuántas horas al día debe medirse la saturación de oxígeno en la sangre?  | Cada seis horas (si no es paciente crítico) | Cada ocho horas            | Cada ocho horas            | Cada cuatro horas      |
| Para determinar los signos vitales normales de un paciente ¿cada cuántas horas al día debe medirse la temperatura corporal?  | Cada seis horas (Si no es crítico)          | Cada ocho horas            | Cada ocho horas            | Cada cuatro horas      |

(continúa)



*(continuación)*

|  |                     |           |           |             |
|--|---------------------|-----------|-----------|-------------|
| En función a las últimas tres preguntas anteriores para determinar los signos vitales normales de un paciente, ¿durante cuantos días se deben de tomar mediciones de los signos vitales (pulso, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal) para obtener un rango de valores normales de un paciente? | Tres o cuatro días. | Tres días | Tres días | Cuatro días |
|--|---------------------|-----------|-----------|-------------|

Elaboración propia

Tabla 2

*Datos muestreados por el sistema propuesto*

|                       | Sensor<br>Signo Vital | MAX30102<br>Pulso (BPM) | MAX30102<br>Saturación<br>de oxígeno (%) | MXL90614<br>Temperatura<br>corporal (°C) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|--|--|
| Lunes 08/02/21        | 7:00 a. m.            | 58                      | 98                                       | 35,9                                     |
|                       | 2:00 p. m.            | 64                      | 99                                       | 36,9                                     |
|                       | 9:00 p. m.            | 63                      | 98                                       | 36,7                                     |
| Martes 09/02/21       | 7:00 a. m.            | 64                      | 98                                       | 36,1                                     |
|                       | 2:00 p. m.            | 68                      | 97                                       | 36,6                                     |
|                       | 9:00 p. m.            | 66                      | 99                                       | 35,9                                     |
| Miércoles<br>10/02/21 | 7:00 a. m.            | 60                      | 97                                       | 36,3                                     |
|                       | 2:00 p. m.            | 70                      | 99                                       | 36,4                                     |
|                       | 9:00 p. m.            | 63                      | 99                                       | 36,6                                     |
| Jueves 11/02/21       | 7:00 a. m.            | 65                      | 96                                       | 35,9                                     |
|                       | 2:00 p. m.            | 72                      | 98                                       | 36,4                                     |
|                       | 9:00 p. m.            | 68                      | 100                                      | 37,2                                     |

Elaboración propia

Tabla 3  
*Datos muestreados por dispositivos comerciales*

|                       | Dispositivo<br>Signo vital | CONTEC CMS50D<br>Pulso (BPM) | CONTEC CMS50D<br>Saturación de<br>oxígeno (%) | KANGJI KY-111<br>Temperatura<br>corporal (°C) |
|-----------------------|----------------------------|------------------------------|---|---|
| Lunes 08/02/21        | 7:00 a. m.                 | 57                           | 97  | 36,3  |
|                       | 2:00 p. m.                 | 64                           | 98  | 36,9  |
|                       | 9:00 p. m.                 | 63                           | 98  | 36,5  |
| Martes 09/02/21       | 7:00 a. m.                 | 64                           | 98  | 36,4  |
|                       | 2:00 p. m.                 | 68                           | 96  | 36,7  |
|                       | 9:00 p. m.                 | 65                           | 99  | 36,4  |
| Miércoles<br>10/02/21 | 7:00 a. m.                 | 59                           | 97  | 36,5  |
|                       | 2:00 p. m.                 | 70                           | 98  | 36,6  |
|                       | 9:00 p. m.                 | 64                           | 100   | 36,7  |
| Jueves 11/02/21       | 7:00 a. m.                 | 65                           | 97  | 36,3  |
|                       | 2:00 p. m.                 | 72                           | 98  | 36,7  |
|                       | 9:00 p. m.                 | 68                           | 99  | 37,1  |

Elaboración propia

Tabla 4  
*Rangos de valores normales de los signos vitales del paciente*

| Paciente | Signo vital               | Rango de valores normales |
|----------|---------------------------|---------------------------|
| Autor 01 | Pulso (BPM)               | (57-72)                   |
|          | Temperatura (°C)          | (36,3-37,1)               |
|          | Saturación de oxígeno (%) | (96-100)                  |

Elaboración propia

Se realizó la aplicación de la prueba “t” de Student para muestras pareadas a los datos obtenidos a través de los dispositivos comerciales y el sistema desarrollado, para cada signo vital acotado en la investigación. Se utilizó esta prueba a partir de antecedentes de investigación como Suso-Martí *et al.* (2020) en el que se emplea dicha prueba para realizar un análisis comparativo de constantes vitales de pacientes en función de la intensidad de dolor, ya que esta permite analizar el mismo conjunto de elementos medidos bajo dos condiciones diferentes (Soporte de Minitab 19, 2021). De acuerdo con lo anterior, se tiene una cantidad de valores muestreados menor a 30 y se posee un mismo conjunto de elementos muestreados por intermedio de dos dispositivos distintos.

Se esbozó un gráfico comparativo de los valores muestreados con ambos dispositivos para los datos muestreados de los tres signos vitales contemplados, como se muestra en la figura 10.

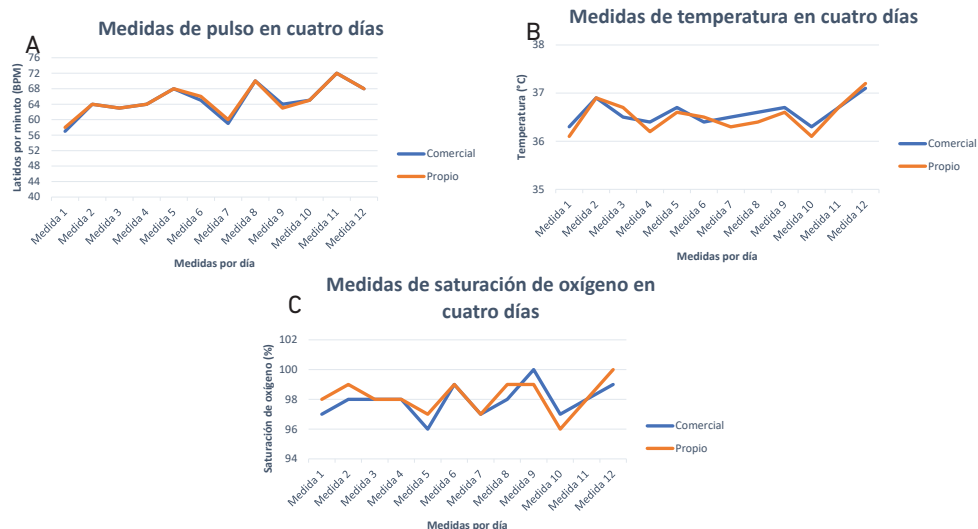


Figura 10. Gráfico comparativo de los valores muestreados. (A) Gráfico comparativo entre los datos de pulso, (B) temperatura y (C) saturación de oxígeno. Todos muestreados con el dispositivo comercial y el propio del autor  
Elaboración propia

Se obtuvo la respectiva tabla autogenerada por la herramienta “Análisis de datos” empleando la función “Prueba t para medias de dos muestras emparejadas” del software Excel, para cada signo vital, como se muestra en las tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas de las medidas muestreadas de pulso

|  | Comercial | Propio |
|--|-----------|--------|
| Media                                  | 64,917    | 65,083 |
| Varianza                               | 18,083    | 16,083 |
| Observaciones                          | 12        | 12     |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0,992     |        |
| Diferencia hipotética de las medias    | 0         |        |
| Grados de libertad                     | 11        |        |
| Estadístico t                          | -1        |        |
| P(T<=t) una cola                       | 0,169     |        |
| Valor crítico de t (una cola)          | 1,796     |        |
| P(T<=t) dos colas                      | 0,339     |        |
| Valor crítico de t (dos colas)         | 2,201     |        |

Elaboración propia

Tabla 6  
*Prueba t para medias de dos muestras emparejadas de las medidas muestreadas de temperatura*

|  | Comercial | Propio |
|--|-----------|--------|
| Media                                  | 36,592    | 36,525 |
| Varianza                               | 0,059     |        |
| 0,109                                  |           |        |
| Observaciones                          | 12        | 12     |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0,920     |        |
| Diferencia hipotética de las medias    | 0         |        |
| Grados de libertad                     | 11        |        |
| Estadístico t                          | 1,609     |        |
| P(T<=t) una cola                       | 0,068     |        |
| Valor crítico de t (una cola)          | 1,796     |        |
| P(T<=t) dos colas                      | 0,136     |        |
| Valor crítico de t (dos colas)         | 2,201     |        |

Elaboración propia

Tabla 7  
*Prueba t para medias de dos muestras emparejadas de las medidas muestreadas de temperatura*

|  | Comercial | Propio |
|--|-----------|--------|
| Media                                  | 97,917    | 98,167 |
| Varianza                               | 1,174     | 1,242  |
| Observaciones                          | 12        | 12     |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0,765     |        |
| Diferencia hipotética de las medias    | 0         |        |
| Grados de libertad                     | 11        |        |
| Estadístico t                          | -1,149    |        |
| P(T<=t) una cola                       | 0,137     |        |
| Valor crítico de t (una cola)          | 1,796     |        |
| P(T<=t) dos colas                      | 0,275     |        |
| Valor crítico de t (dos colas)         | 2,201     |        |

Elaboración propia

Se esbozaron los gráficos de la distribución de la *t* de Student, como se muestra en la figura 11, para los datos muestreados de cada signo vital.

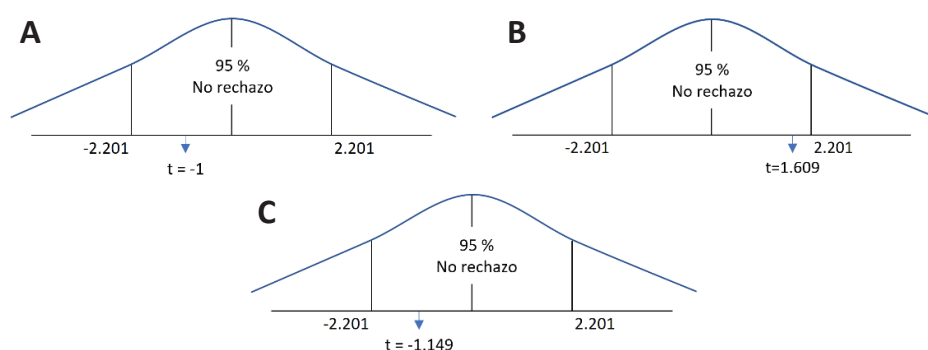


Figura 11. Gráfico de distribución de la  $t$  de Student. (A) Gráfico de distribución de la  $t$  de Student para el muestreo de datos de pulso, (B) temperatura y (C) saturación de oxígeno. Elaboración propia

Se obtuvo el no rechazo de la hipótesis nula para cada signo vital. Se determinó que con una seguridad del 95 % existe evidencia de que el promedio de medida de pulso en latidos por minuto del equipo comercial y el equipo propio no poseen diferencia significativa. Además, se cercióró que la mayoría de los datos obtenidos se encuentran dentro o muy cerca de los intervalos de los valores normales de los signos vitales del paciente en el que se evaluó el dispositivo, para lo cual también se debe considerar que los dispositivos comerciales poseen un margen de error.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente documento se detalla la descripción del proceso de desarrollo de una tarjeta modular para el monitoreo de signos vitales: pulso, temperatura y saturación de oxígeno, basada en la selección de componentes de *hardware* y *software*.

Se seleccionó el sensor MAX30102 para adquirir el pulso cardiaco y la saturación de oxígeno en la sangre del paciente, puesto que posee la capacidad de recopilar los datos de ambos signos vitales empleando un solo módulo de sensor. Además, el sensor MLX90614 en un módulo GY-906 para adquirir los valores de temperatura corporal del paciente, debido a su buena precisión (de  $\pm 0,10$  °C en el rango de 30-40 °C), siendo un rango de temperatura correcto para la aplicación médica a la que se orienta la esta investigación; y a su vez por su versatilidad con respecto a las zonas de medición de temperatura pues puede ser ubicado en zonas en las que se genera menos molestias físicas para el paciente.

Por otro lado, se seleccionó una placa Arduino Mega-Embebido para la adquisición de los datos muestreados por los sensores, debido a su buena capacidad de memoria SRAM y a su alto grado de compatibilidad con los sensores en lo que respecta al interfaz de comunicación I2C seleccionado y las librerías de control de cada uno de

ellos. Asimismo, se seleccionó la SBC Raspberry Pi Zero W para la transmisión remota utilizando tecnologías de Cloud Computing e internet de las cosas, debido a que tiene la capacidad de trabajar con el estándar 802,11 en la banda de 2,4GHz e integrar audio y video para recopilar más parámetros objetivos y subjetivos que proporciona el paciente al personal sanitario a manera de precedente en futuras investigaciones; además, posee la capacidad de instalarle un sistema operativo que permite la programación a distancia, como una ventaja en la coyuntura actual o similares. A su vez, se seleccionó la aplicación y API web de internet de las cosas ThingSpeak, debido a su compatibilidad con la tarjeta de transmisión remota seleccionada, empleando el modelo de computación en la nube a manera de *software* como servicio (SaaS) y el protocolo de comunicación HTTP, obteniendo una correcta comunicación empleando las configuraciones mencionadas a lo largo de la investigación, dejando un precedente para validación y mayores detalles técnicos en próximas investigaciones.

Según lo anteriormente mencionado, se diseñó e implementó la tarjeta de control, procesamiento y transmisión de los datos correspondientes a los signos vitales del paciente y se desarrolló un análisis de la compatibilidad de los dispositivos y potencia consumida, además del desarrollo de librerías para los componentes modulares en el *software* Eagle.

Finalmente, se realizó la verificación de la correcta obtención de los datos de los signos vitales realizando un muestreo de los datos de acuerdo al juicio de expertos y validándolos a través de la implementación de la prueba "t" de Student para muestras pareadas.

## REFERENCIAS

- Suso-Martí, L., Cuenca-Martínez, F., Arredondo-López, A., y Gil-Martínez, A. (2019). Análisis comparativo de las constantes vitales en pacientes agudos hospitalizados en función de la intensidad de dolor. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 26(4), 215-220. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2019.3707/2018>
- Du Gas, B. W. (2000). Tratado de enfermería práctica. (4.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana. <https://maludice7.com/wp-content/uploads/2019/04/Tratado-de-Enfermeria-Practica-Du-Gas.pdf>
- EDAN A world of potential. (11 de julio del 2021). iM80: Monitor de Pacientes Multiparamétrico [Archivo PDF]. Monitor paciente Multiparamétrico Edan IM80. <https://www.insanexsl.es/producto/monitor-paciente-multiparametrico-edan-im80/>
- Esquicha Tejada, J. D. (2019). Implementación de un Prototipo de Seguridad Física, para Monitorear Gases, Agua, Temperatura y Humedad en Ambientes Hospitalarios

- por Medio de RASPBERRY PI y BEEBOTTE. [Tesis de segunda especialidad en Auditoria de sistemas de seguridad de información, Universidad Católica de Santa María de Arequipa, Perú]. Repositorio de Tesis UCSM. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8823>
- Seguro social de salud [EsSalud]. (2 de julio del 2020). *Pulsioxímetro para uso domiciliario en pacientes con COVID-19 catalogados inicialmente como casos leves y con factores de riesgo*. [http://www.essalud.gob.pe/ietsi/pdfs/covid\\_19/RB33\\_PULSEOXIMETER\\_14jul2020.pdf](http://www.essalud.gob.pe/ietsi/pdfs/covid_19/RB33_PULSEOXIMETER_14jul2020.pdf)
- Fundación Cardiovascular de Colombia [FCV]. (26 enero del 2017). *Telemedicina beneficiosa a pacientes pediátricos con enfermedades del corazón*. <http://www.fcv.org/site/noticias/novedades/380-telemedicina-beneficia-a-pacientes-pediatricos-con-enfermedades-del-corazon>
- González Romero, F. (2019). Diseño e implementación de un pulsioxímetro reflexivo y estudio de su funcionamiento en diferentes zonas del cuerpo. [Trabajo Fin de Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación, Universidad de Sevilla, España]. Depósito de Investigación Universidad Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/94193>
- Hailey, D., Roine, R., y Ohinmaa, A. (2002). Systematic review of evidence for the benefits of telemedicine. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 8(1\_suppl), 1–7. <https://doi.org/10.1258/1357633021937604>
- Hospital María Auxiliadora. (2010). *Manual de procedimientos técnicos de enfermería del departamento de enfermería* [Archivo PDF]. <https://manualzz.com/doc/25386549/manual-de-procedimientos-tecnicos-del>
- International Telecommunication Union [ITU]. (2016). *Radio Regulations Volume 1 Articles Edition of 2016* [Archivo PDF]. Radio Regulations. <http://handle.itu.int/11.1002/pub/80da2b36-en>
- Maxim Integrated. (19 de enero del 2020). High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>
- Mejía Salas, H., y Mejía Suárez, M. (2012). Oximetría de pulso. *Revista de la Sociedad Boliviana de Pediatría*, 51(2), 149-155. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-06752012000200011&lng=es&lng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-06752012000200011&lng=es&lng=es)
- Melexis Microelectronic Integrated Systems. (14 de septiembre del 2006). *MLX90614 family: Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39*. [https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614\\_rev001.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf)

- Mercado Libre. (11 de julio del 2021). *Monitor de signos vitales de 5 parámetros*. [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-441838079-monitor-de-signos-vitales-de-5-parametrosim-80-\\_JM#position=29ytype=itemytracking\\_id=c9c3c8ef-0090-46bf-a59e-c818deaddcca](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-441838079-monitor-de-signos-vitales-de-5-parametrosim-80-_JM#position=29ytype=itemytracking_id=c9c3c8ef-0090-46bf-a59e-c818deaddcca)
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (30 de enero del 2006). Código Nacional de Electricidad[ArchivoPDF].Resolución MinisterialN.º037-2006-MEM-DM.<https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/738607-037-2006-mem-dm>
- Soporte de Minitab® 19. (11 de julio del 2020). *Revisión general de t pareada*. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/paired-t/before-you-start/overview/>
- Ministerio de Salud del Perú [MINSA]. (2009). *Norma técnica de salud en telesalud. NTS N.º 067-MINSA/DGSP-V.01*. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1428.pdf>
- Sanmartín Mendoza, P., Ávila Hernández, K., Vilora Núñez, C., y Jabba Molinares, D. (2016). Internet de las cosas y la salud centrada en el hogar. *Revista Salud Uninorte*, 32(2), 337-351. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-55522016000200014&lng=en&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-55522016000200014&lng=en&lng=es)
- Yauri Rodríguez, R. (2018). *Implementación de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo remoto de variables fisiológicas en pacientes ambulatorios*. [Tesis de Maestría en Ingeniería Biomédica, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Callao. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/2816>