

Implementación de un Sistema de Monitoreo a nivel de prototipo 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

Recibido: 06/05/2021
Aceptado: 06/07/2021

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 siendo 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.

Abstract

Implementation of a Monitoring System at the prototype level of vital signs: pulse, temperature and oxygen saturation for patients

The Internet of things is a concept of 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.

Cómo citar

Bejarano M., Manzano E.A. (2021). Implementación de un Sistema de Monitoreo a nivel de prototipo de signos vitales: pulso, temperatura y saturación de oxígeno para pacientes. *Interfases*, (014), e5168. <https://doi.org/10.26439/interfases2021.n014.5168>

1. INTRODUCCIÓN

El Internet de las cosas al ser integrado en el mundo de la salud para darle aplicaciones médicas, se le denomina Internet de las cosas médicas, empleándose en el servicio de telemedicina como la práctica de la atención médica a través de Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) (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 necesaria la monitorización de los signos vitales de 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 una monitorización constante como se describe en (Fundación Cardiovascular de Colombia [FCV], 2017), quienes implementaron un sistema de monitoreo de signos vitales obteniendo 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, bajo la coyuntura mundial actual del COVID-19, EsSalud emitió un reporte acerca de la viabilidad de la implementación de un sistema de telemedicina en pacientes con COVID-19 a los que catalogan como casos leves con factores de riesgo (Seguro social de salud [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, pulso y respiraciones. Se pueden identificar dos tipos de respiración, la externa y la interna, que referencian 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, en (Esquicha Tejada, 2019), se desarrolló un sistema capaz de controlar los riesgos que existen en ambientes hospitalarios y los almacenes de archivos clínicos implementando un computador de bajo costo y consumo, de la marca RaspberryPi, 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, evidenciando 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. Siendo esto último 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 a los signos vitales acotados en la investigación, para lo cual fue necesario desarrollar el hardware y software adecuado para el tratamiento de los datos orientando 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 [MINSAL], 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 la 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. (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 (MINSAL, 2009), considerando el juicio de expertos recopilado.

De acuerdo a los resultados de juicio de expertos, además de lo expuesto en (Du Gas, 2000) y (Mejía & Mejía, 2012), se determinaron rangos para la obtención de datos. Para la

temperatura corporal se considera una variación normal, en la mayoría de adultos, 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 comenzar en 34°C hasta 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, considerándose taquicardia y bradicardia valores mayores a 100 latidos por minuto y menores a 60 latidos por minuto respectivamente. Por lo anterior expuesto, 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 expertos, de donde denotamos 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 (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 de (MINSAL, 2009).

El sistema debe realizar la medición de los signos vitales (pulso, temperatura y saturación de oxígeno) de acuerdo a los procedimientos técnicos de enfermería aprobados por el MINSAL y en función a los valores normales del paciente, de acuerdo al capítulo V de (Hospital María Auxiliadora, 2010), donde se exponen una serie de lineamientos a desarrollar 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 en las actividades médicas y cotidianas del paciente (MINSAL, 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 (MINSAL, 2009), consideración 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 descrita 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 A world of potential, 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, denotando las siguientes: signos vitales del paciente y energía eléctrica domiciliaria; siendo entradas del tipo información y energía respectivamente. Se identificaron las salidas del dispositivo, información del proceso, siendo una salida del tipo información. A continuación, se muestra la estructura de funciones del sistema, en la Figura 1.

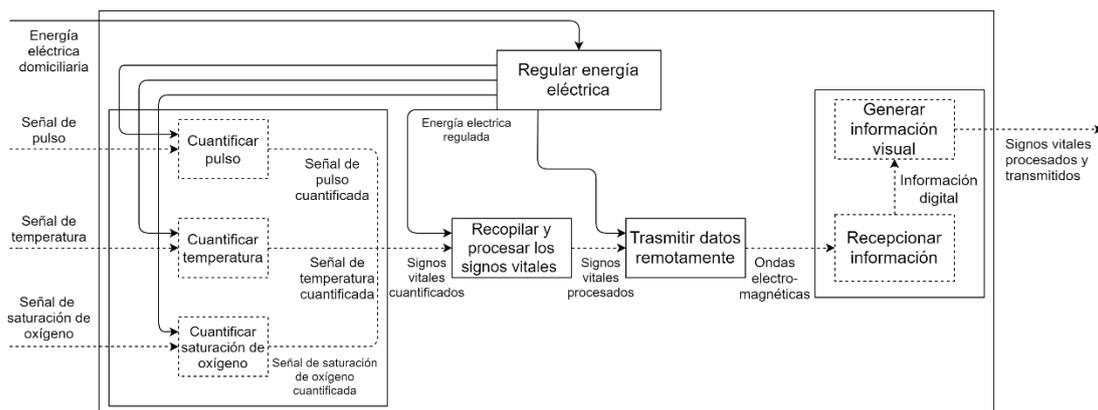


Figura 1. Estructura de funciones del sistema de monitoreo remoto

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 principios de funcionamiento de las respectivas funciones del sistema, fue necesario realizar una comparación de los mismos de acuerdo a 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 funcionamientos 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, los cuales

cumplan con la función general del sistema de monitoreo remoto. A continuación, se muestra, en la Figura 2, la matriz morfológica y los conceptos de solución obtenidos.

Funciones	Principios de funcionamiento		
	1	2	3
Regular energía eléctrica	Transformador de voltaje AC – DC		
	Fuente para protoboard 3.3V/5V 	Convertidor 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 		
Recolectar 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 visual	PC 	Celular 	

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

Elaboración propia

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

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

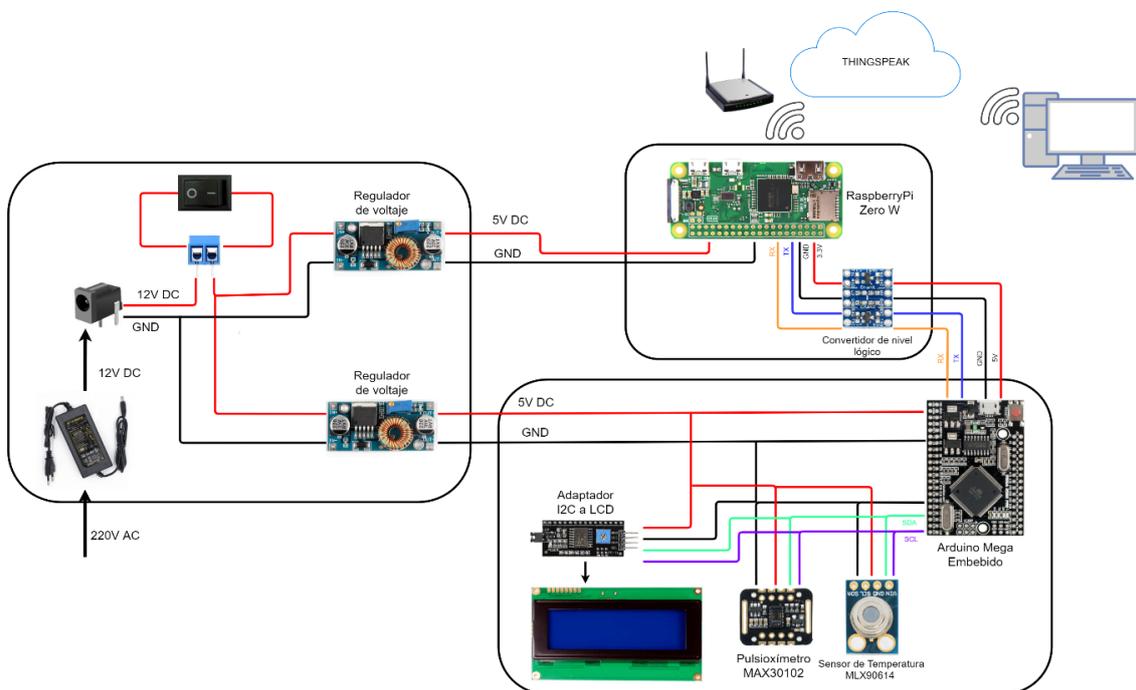


Figura 3. Diagrama de la arquitectura detallada del sistema\

Elaboración propia

2.3. Diseño específico

Si bien los sensores son parte fundamental del sistema de monitoreo, por si 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, Conversor 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.

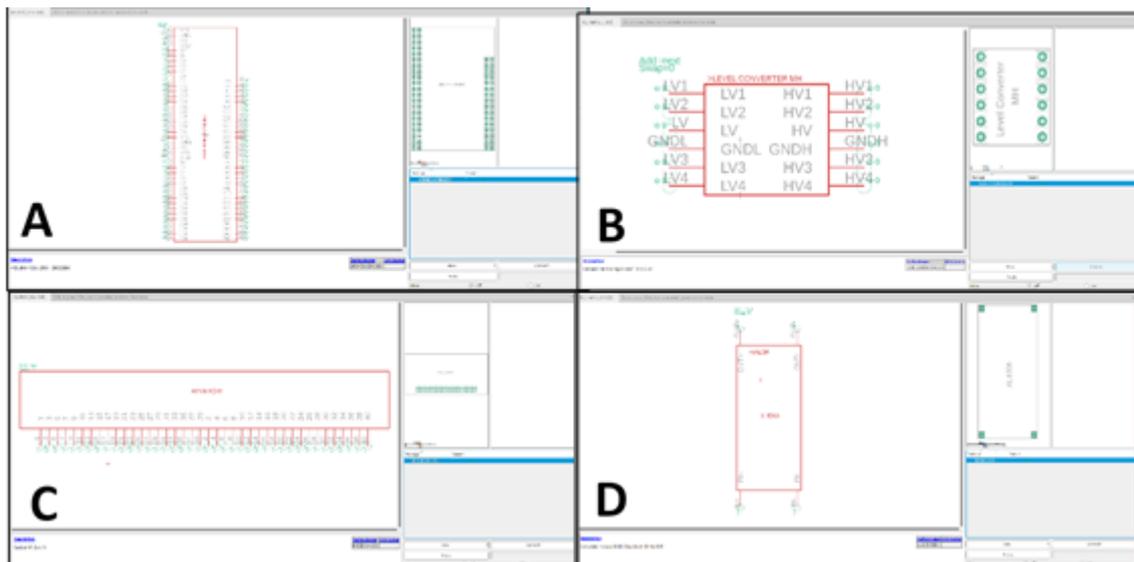


Figura 4. Esquemas del encapsulado y símbolo de los dispositivos. (A) Esquema del encapsulado y símbolo del Arduino Mega 2560 Embebido, (B) Convertidor de voltaje de nivel lógico I2C 5V a 3.3V, (C) Raspberry Pi Zero W y (D) Regulador de voltaje DC-DC 5A modelo XL4005.

Elaboración propia diseñados en el software Eagle 9.6.2.

Asimismo, de acuerdo a 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° de acuerdo a su hoja de datos, y para lograr mediciones a mayores distancia 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.

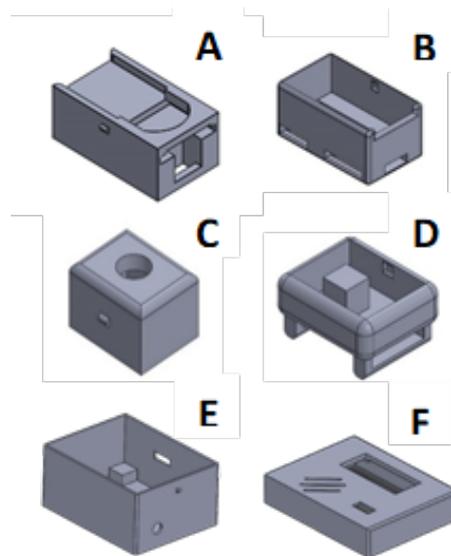


Figura 5. Vistas isométricas de las piezas de soporte. (A) Vista isométrica de la pieza superior de soporte del Sensor MAX30102, (B) pieza inferior de soporte del Sensor MAX30102, (C) pieza superior de soporte del sensor MLX90614, (D) pieza inferior de soporte del sensor MLX90614, (E) pieza inferior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

Elaboración propia diseñado en el software SolidWorks 2019.

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 el signo vital: 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 de la cantidad de latidos por minuto a partir de la verificación, con la primera función mencionada, de la obtención correcta 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 este operativo el Arduino. Se determino 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 al no tenerse 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 y 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 configuraron tres *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 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.

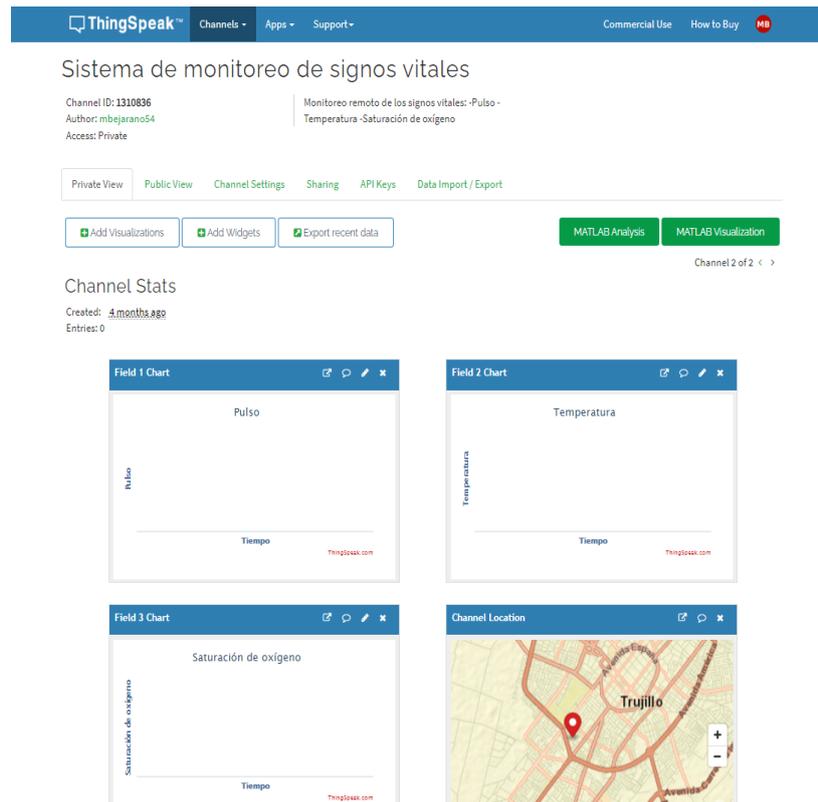


Figura 6. Interfaz gráfica para la visualización de los datos a través de una PC.

Elaboración propia

De acuerdo a 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.

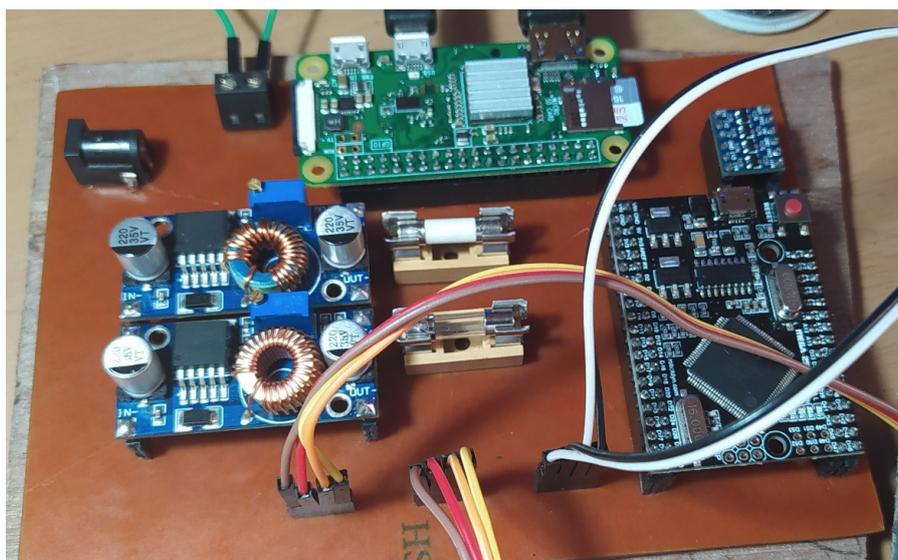


Figura 7. Placa terminada con sus componentes modulares conectados.

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 basó en la toma de mediciones de los signos vitales del autor: Autor 01 a manera de paciente, el cual se encuentra en buen estado de salud al momento del desarrollo de la investigación. Se determinó en base a juicio de expertos, como se muestra en la Tabla 1, que la determinación de los valores normales de los signos vitales: pulso, temperatura y saturación de oxígeno en la sangre, sea cada 7 horas en promedio durante 4 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; obteniendo 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 19:40:55	2/27/2021 19:52:52	2/27/2021 20:42:55	2/28/2021 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	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
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, No interrumpa las actividades del paciente, Montaje y desmontaje intuitivo	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
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	Cuello, Frente	Frente	Frente	Frente, Muñeca

Interfases. 2021(14)

sensores sin contacto con el cuerpo? (Opción múltiple)

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 cuantas horas al día debe medirse el pulso?	Cada 6 horas (si no es paciente crítico)	Cada 4 horas	Cada 8 horas	Cada 4 horas
Para determinar los signos vitales normales de un paciente ¿Cada cuantas horas al día debe medirse la saturación de oxígeno en la sangre?	Cada 6 horas (Si no es paciente crítico)	Cada 8 horas	Cada 8 horas	Cada 4 horas
Para determinar los signos vitales normales de un paciente ¿Cada cuantas horas al día debe medirse la temperatura corporal?	Cada 6 horas (Si no es crítico)	Cada 8 horas	Cada 8 horas	Cada 4 horas
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?	3 o 4 días.	3 días	3 días	4 días

Elaboración propia

Tabla 2

Datos muestreados por el sistema propuesto.

Sensor		MAX30102	MAX30102	MXL90614
Signo Vital		Pulso (BPM)	Saturación de oxígeno (%)	Temperatura corporal (°C)
Lunes 08/02/21	7:00 am	58	98	35.9
	2:00 pm	64	99	36.9
	9:00 pm	63	98	36.7
Martes 09/02/21	7:00 am	64	98	36.1
	2:00 pm	68	97	36.6
	9:00 pm	66	99	35.9
Miércoles 10/02/21	7:00 am	60	97	36.3
	2:00 pm	70	99	36.4
	9:00 pm	63	99	36.6
Jueves 11/02/21	7:00 am	65	96	35.9
	2:00 pm	72	98	36.4
	9:00 pm	68	100	37.2

Elaboración propia

Tabla 3.

Datos muestreados por dispositivos comerciales.

Dispositivo	CONTEC CMS50D	CONTEC CMS50D	KANGJI KY-111	
Signo Vital	Pulso (BPM)	Saturación de oxígeno (%)	Temperatura corporal (°C)	
Lunes 08/02/21	7:00 am	57	97	36.3
	2:00 pm	64	98	36.9
	9:00 pm	63	98	36.5
Martes 09/02/21	7:00 am	64	98	36.4
	2:00 pm	68	96	36.7
	9:00 pm	65	99	36.4
Miércoles 10/02/21	7:00 am	59	97	36.5
	2:00 pm	70	98	36.6
	9:00 pm	64	100	36.7
Jueves 11/02/21	7:00 am	65	97	36.3
	2:00 pm	72	98	36.7
	9:00 pm	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 basados en antecedentes de la 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 nos permite analizar el mismo conjunto de elementos medidos bajo dos condiciones diferentes (Soporte de Minitab 19, 2021). De acuerdo a 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 esboza una gráfica comparativa de los valores muestreados con ambos dispositivos para los datos muestreados de los tres signos vitales contemplados, como se muestra en la Figura 10.

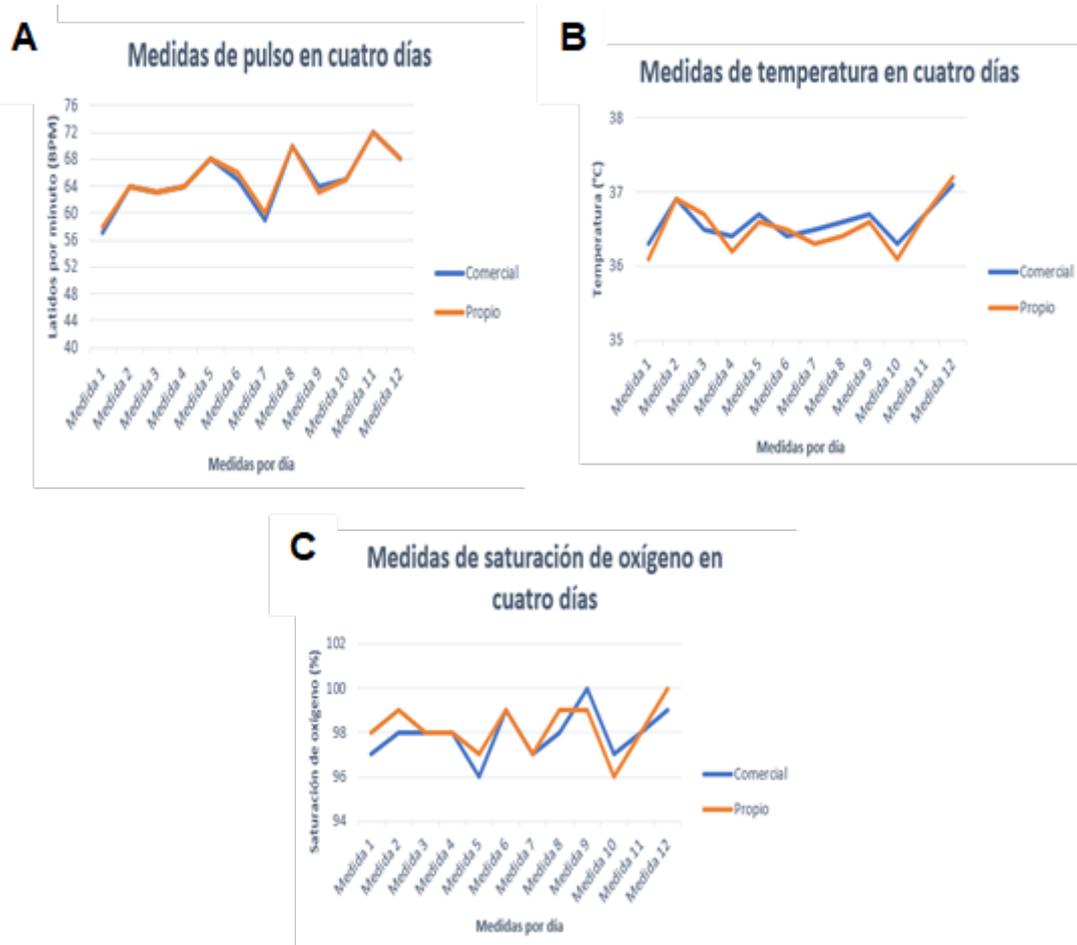


Figura 10. Gráfica comparativa de los valores muestreados. (A) Gráfica comparativa entre los datos de pulso, (B) temperatura y (C) saturación de oxígeno. Todos muestreados con el dispositivo comercial y el propio del autor.

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 2 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 2 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 2 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 las gráficas de la distribución de la “t” de Student, como se muestra en la Figura 11, para los datos muestreados de cada signo vital.

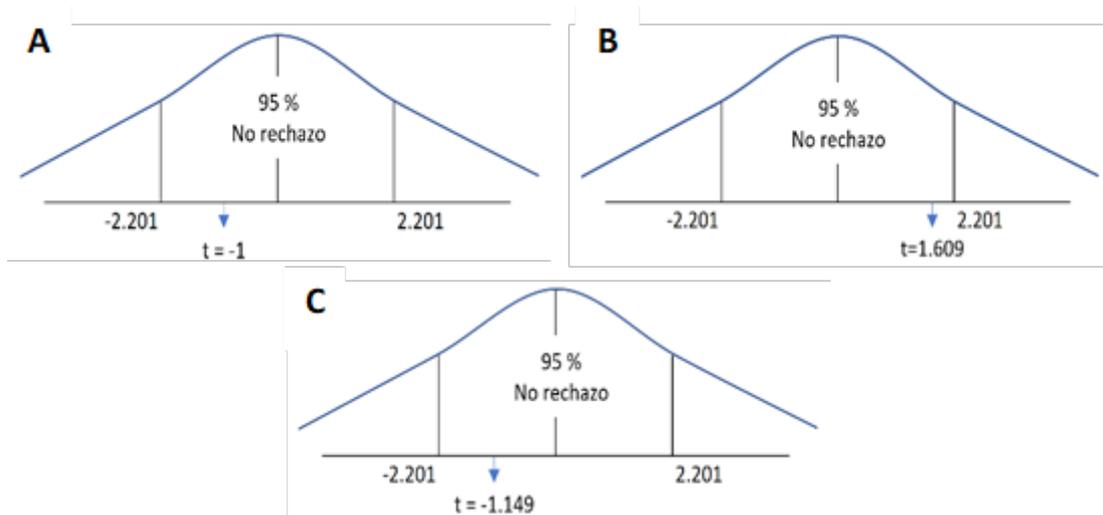


Figura 11. Gráfica de distribución de la t de Student. (A) Gráfica de distribución de la t de Student para el muestreo de datos de pulso, (B) temperatura y (C) saturación de oxígeno.

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 cercioró 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 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 ± 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 pudiendo 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 vídeo para recopilar más parámetros objetivos y subjetivos que proporciona el paciente al personal sanitario a manera de precedente en futuras investigaciones; además, puesto que posee la capacidad de instalarle un sistema operativo el cual 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, desarrollando 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 a juicio de expertos y validándolos a través de la implementación de la prueba “t” de Student para muestras pareadas.

REFERENCIAS

- Du Gas, B. W. (2000). Tratado de enfermería práctica. (4ª 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 de 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 Auditoría 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>
- Fundación Cardiovascular de Colombia [FCV]. (26 enero 2017). *Telemedicina beneficia 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., & 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 de 2020). *High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health*. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>
- Mejía Salas, Héctor, & Mejía Suárez, Mayra. (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&tlng=es
- Melexis Microelectronic Integrated Systems. (14 de setiembre de 2006). *MLX90614 family: Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39*. https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf
- Mercado Libre. (11 de julio de 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=29&type=item&tracking_id=c9c3c8ef-0090-46bf-a59e-c818deaddcca
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (30 de enero de 2006). *Código Nacional de Electricidad* [Archivo PDF]. *Resolución Ministerial N° 037-2006-MEM-DM*. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/738607-037-2006-mem-dm>
- Ministerio de Salud del Perú [MINSA]. (2009). *Norma técnica de salud en telesalud. NTS N° 067-MINSA/DGSP-V.01*. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1428.pdf>
- Sanmartín Mendoza, Paul, Ávila Hernández, Karen, Vilora Núñez, César, & Jabba Molinares, Daladier. (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&tlng=es
- Seguro social de salud [ESSALUD]. (02 de julio de 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
- Soporte de Minitab® 19. (11 de julio de 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/>
- Suso-Martí, L, Cuenca-Martínez, F, Arredondo-López, A, & 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>
- 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>