

SISTEMA DE MEDICIÓN DE SIGNOS VITALES CON INTERFAZ GRÁFICA Y APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

MEASURE SYSTEM FOR VITAL SIGNS WITH GRAPHIC INTERFACE AND APP FOR MOBILE DEVICES

F. X. Aguilar Cortez¹
F. P. Bazán Cárdenas²
A. S. Graciano Hernández³
V. Hernández López⁴

RESUMEN

En el ámbito médico se requiere realizar mediciones de los signos vitales en periodos de tiempo cortos, de modo que se pueda atender a cada paciente de manera más rápida. Los aparatos de medición actuales requieren ser colocados uno a uno para realizar las pruebas necesarias, retardando la atención entre pacientes, además, puede ser estorbo y difícil de transportar. Conjuntamente y siendo parte de otra de las problemáticas, es el acceso a los datos que se obtienen por paciente de manera habitual, ya que, estos suelen no tener un respaldo en caso de que se requiera algún histórico o reporte del estado de salud de una persona. Por ello mismo, se presenta la aplicación e investigación de un sistema de medición de que obtiene, almacena y despliega la información de los signos vitales de un paciente, optimizando una consulta más rápida y eficaz comparado con los aparatos de medición tradicionales, además de tener la información detallada y concisa de cada paciente en una aplicación para dispositivos móviles, la cual puede auxiliar a una persona, paciente o médico a tener un mayor control sobre el estado de salud actual de una o varias personas.

ABSTRACT

In the medical field, measurements of vital signs are required in short periods of time, so that each patient can be attended more quickly. Current measuring devices require to be placed one by one to perform the necessary tests, delaying the attention between patients, in addition, it can be cumbersome and difficult to transport. Together and being part of another of the problems, it is the access to the data that is obtained per patient on a regular basis since these usually do not have a backup in the event that a history or report of the state of health of a person is required. For this reason, the application and investigation of a measurement system that obtains, stores and displays the information of the vital signs of a patient is presented, optimizing a faster and more efficient consultation compared to traditional measuring devices, in addition to having detailed and concise information on each patient in an application for mobile devices, which can help a person, patient or doctor to have greater control over the current health status of one or more people.

ANTECEDENTES

Los signos vitales son indicadores que reflejan el estado fisiológico de los órganos vitales (cerebro, corazón y pulmones). Expresan de manera inmediata los cambios funcionales que suceden en el organismo, los signos vitales son: la temperatura corporal, pulso, y tensión arterial, los cuales deben ser considerados globalmente. Deben basarse en mediciones confiables, objetivas y gráficas, ya que, son fenómenos o manifestaciones que se pueden

¹ Egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Culhuacán. xavier.aguilarc@outlook.com

² Egresada de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Culhuacán. es.bazan9612@gmail.com

³ Egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Culhuacán. fredo.graciano@gmail.com

⁴ Profesora de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Culhuacán. vhernandez1136@gmail.com

percibir en un organismo vivo en forma de constantes vitales y requieren de mediciones confiables para sustentar la valoración clínica (Corral *et al.*, 2006).

Existe una gran variedad de dispositivos digitales que ofrecen la obtención de los signos vitales de forma individual, lo que aumenta considerablemente el costo de cada uno de ellos, además del tiempo requerido es aún mayor. Con la implementación de un sistema general de medición de los signos vitales se reducirían gastos tanto económicos como de recursos humanos, ya que, se necesita la intervención de una a dos enfermeras en un paciente crítico y, asimismo, se toma a consideración el prevenir y establecer en menor tiempo posible el triage del paciente.

Con respecto al grado de intervención con el cuerpo humano en la obtención de la información requerida se centra en una sola extremidad, lo cual evita la conexión de múltiples aparatos, agilizando la atención primaria, adquiriendo los datos de forma inmediata, generando ahorro de tiempo para producir una atención médica inmediata.

El entorno de desarrollo Arduino 1.8.42 es utilizado debido a su versatilidad y accesibilidad al crear proyectos y programas, esto último, es gracias a que el lenguaje de programación está basado en C++ (Arduino, 2021). La placa Arduino Uno tiene la gran ventaja de tener el chip AVR Atmega328p (Atmel, 2015), el cual es desmontable para que se pueda utilizar sin la necesidad de tener el dispositivo Arduino Uno (Arduino, 2020) en todo momento.

La interfaz visual NXT3224T024 es parte de un conjunto de paneles LCD de la empresa, quienes han desarrollado una gama de productos que ofrecen, entre lo más destacado, la conexión en puerto serial de sus pantallas (Nextion, 2020). A diferencia de algunos otros fabricantes, quienes optan por montar entradas tipo paralelo que requieren una mayor cantidad de pines para realizar la conexión entre la placa Arduino Uno y la propia pantalla (Arduino, 2020). El tamaño de ésta es algo en lo que se tiene que hacer hincapié, ya que, de ser muy grande podría ser un tanto incómodo para los pacientes o médicos.

El programa de la aplicación se escribe con código Dart 3.20.1, cuya base es el lenguaje C++ (Dart, 2021). Se utiliza el marco de trabajo Flutter 3.20.0 que sirve como una biblioteca y conjunto de herramientas que son útiles al codificar en lenguaje Dart 3.20.1 (Flutter y Dart, 2021). Para el manejo de la base de datos se utiliza SQLite 2.0.0 (Tekartik, 2021), el cual es un gestor desarrollado para poder operar en conjunto con Flutter 3.20.0 (Flutter, 2021), la ventaja más grande que tiene es la velocidad de respuesta de la propia base de datos ya que utiliza llamadas a funciones dentro del programa, en lugar de un sistema de cliente-servidor. Todo esto se construye en el entorno de desarrollo Visual Studio Code 1.54 (Visual Studio Code, 2021).

Planteamiento del problema

En el ámbito médico se requiere realizar las mediciones de los signos vitales a todos los pacientes. Los aparatos de medición por separado requieren de colocar, medir, retirar y colocar el siguiente instrumento hasta obtener todas las lecturas, lo cual retrasa el uso continuo de éstos y con lleva a tomar demasiado tiempo, el cual es esencial cuando se requiere de estas mediciones de forma urgente.

Por otra parte, se tiene la problemática de cargar con todos aquellos instrumentos, los cuales ocupan un espacio considerable y resulta incómodo su traslado, cabe la posibilidad de que en el transcurso los aparatos se puedan averiar y descalibrar. Existen instrumentos de medición de los signos vitales que, al ser tan grandes y estorbosos, requieren de estar en una zona en específico y es muy complicado moverlos, y a que en muchos casos estos se quedan fijos, por lo que, se tiene que llevar al paciente hasta donde se encuentra el aparato. La implementación de un sistema que pueda realizar las actividades de cada uno de los aparatos llevaría a la toma de los signos de una manera más rápida y eficiente, lo que se traduce como un ahorro importante de tiempo en el que se puede aprovechar para atender más pacientes.

Dentro de este mismo entorno, existe otra problemática ya que actualmente no se cuenta con una forma práctica de acceder más rápido a los datos que se obtienen y a un despliegue de información del paciente, ya que, puede llegar a ser muy estorbo y tardado buscar estos datos entra mucho papeleo.

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de medición de signos vitales capaz de medir frecuencia cardíaca, temperatura, presión arterial y oxigenación en sangre, aplicando métodos no invasivos. Los sensores serán controlados por el microcontrolador AVR ATmega328p (Atmel, 2015), la información obtenida será almacenada en una base de datos y los resultados serán presentados en una aplicación móvil Android 7.0+.

Objetivo Específicos

- Diseñar e implementar un sistema electrónico modular de medición de signos vitales (temperatura, frecuencia cardíaca, presión arterial, oxigenación en sangre).
- Desarrollar un algoritmo de programación para el sistema electrónico modular de signos vitales, utilizando el microcontrolador AVR ATmega328p (Atmel, 2015) con ayuda del entorno de desarrollo Arduino 1.8.42 (Arduino, 2021).
- Elaborar un programa de una base de datos utilizando el sistema de administración de bases de datos SQFLITE (Tekartik, 2021).
- Crear una interfaz gráfica para una aplicación para dispositivos móviles que cuenten con el sistema operativo Android 7.0+ para la visualización de la información de los sensores y pacientes.

Es importante mencionar la utilidad del estudio para la formación de los estudiantes en la ingeniería, esto se logró a través de este proyecto de innovación tecnológica aportando todos los conocimientos que se impartieron en las asignaturas a lo largo de la carrera.

Es muy cierto que la creatividad es esencial para desarrollar proyectos de investigación, desarrollo e ingeniería, según Kratzer *et al.* (2008) está estrechamente ligada con el papel de los líderes de los grupos de trabajo, quienes actuando con un rol central en la periferia del sistema de comunicación de los grupos, estimulan la creatividad cuando actúan monitoreando el entorno y convirtiéndose en fuentes externas o proveedores de información, noticias técnicas, nuevo conocimiento para el resto del equipo de trabajo.

Actualmente, los futuros ingenieros de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Unidad Culhuacán se han enfrentado a diferentes situaciones, una de las

más importantes es el desarrollo de la creatividad y diseño de algún sistema que de solución a un problema social específico y al mismo tiempo explote tanto las habilidades técnicas e interpersonales aprendidas durante la formación académica, a pesar de los desafíos implicados, ha sido un gran reto como estudiante, dado que se tiene ser innovadores e ingeniosos en los últimos semestres focalizado en la materia que se imparte como Desarrollo Prospectivo de Proyectos.

La ingeniería va de la mano con la innovación tecnológica constante, ofreciendo a los ingenieros el interés y vocación, tratando de mantener su ventaja competitiva como ingenieros al responder de manera ágil las peticiones del mercado global y ante la sociedad, tratando de ir un paso adelante en la incorporación de nuevos conocimientos y proyectos.

Los estudiantes de la actualidad se enfrentarán, (si no es que ya lo hacen) a un gran reto, el mundo, en la manera más entera de su definición, es decir, todas las cosas que existen, incluyendo a la humanidad, está en constante cambio, siendo positivos se pensaría que todos los cambios son buenos, esto no siempre es así, el cambio climático es un excelente ejemplo (Flores, 2016).

En un futuro, aportará a los estudiantes de ingeniería el mantenerse efectivos profesionalmente, mantener sus trabajos y avanzar en sus carreras, actualizando sus conocimientos a través de su vida profesional (Zhang *et al.*, 2010).

METODOLOGÍA

Actualmente en el mercado se han desarrollado diferentes dispositivos que se encargan de medir los signos vitales de forma no invasiva para el paciente y analizan por separado cada uno de ellos, tal es el caso del baumanómetro que mide la Presión Arterial, está se encarga de medir la fuerza de la sangre al empujar contra las paredes de las arterias, la presión arterial es más alta cuando el corazón late y bombea la sangre, a esta medición se le conoce como presión sistólica. Por otra parte, cuando el corazón se encuentra en reposo la presión baja, a esta medida se le conoce como presión diastólica (National Institute on Aging [NIA], 2018).

El oxímetro se encarga de medir la cantidad de oxígeno que está circulando por la sangre, este valor es utilizado como indicador, para determinar el cómo se distribuye el oxígeno tomando de los pulmones a las células (Murell, 2020).

El pulsímetro obtiene la medición de la frecuencia cardiaca, la cual es el número de veces que se contrae el corazón en un minuto (Valle, 2021).

El termómetro mide la temperatura corporal del cuerpo, la cual es una medida de la capacidad del organismo de generar o eliminar calor.

Con el avance de la tecnología se comenzaron a distribuir dichos dispositivos en un formato digital, y a su vez se realizaron aparatos más compactos gracias a la fotoplethysmografía, la cual, es una técnica de obtención de medidas que se basa en la reflexión de la luz incidente en el cuerpo, generalmente dicha luz es color verde, ya que, de acuerdo con los estudios este color maneja una mayor incidencia de luz a través de la piel.

Se identificaron los procesos necesarios para tomar las medidas de los signos vitales y para ello, se tomó como prioridad obtener las lecturas del sensor de pulsioximetría MAX30100, ya que, éste puede tomar dos de los signos vitales con un único dispositivo (Maxim Integrated, 2014). A si mismo se eligió este sensor debido a que es compacto y el protocolo de comunicación con el cual se maneja es adecuado para nuestro controlador. Este sensor ocupa un led color verde el cual incide a la piel y cuenta con un receptor el cual se encarga de medir la reflexión de la luz comparándola con el valor de la luz incidente, esta diferencia, se transforma en una señal analógica la cual es amplificada y enviada por un bus de datos, de acuerdo al protocolo de comunicación Circuito Inter-Integrado (I2C), este es un bus serial denominado como Serial Data (SDA), a su vez este dispositivo cuenta con una dirección única, la cual lo denomina como un dispositivo esclavo.

Para el sensor de temperatura se utilizó el integrado MLX90614, debido a que se basa en la luz infrarroja y, por lo tanto, no requiere contacto físico (Melexis, 2019).

Una de las aplicaciones de la luz infrarroja es permitir medir el espectro de calor que genera un cuerpo, dicho efecto es que utilizaremos para obtener la medición de la temperatura. Al igual que el sensor anterior, este trabaja con el protocolo de comunicación I2C, este protocolo permite conectar de manera paralela hasta 250 dispositivos con diferentes direcciones, la forma de selección con el cual el dispositivo maestro establece comunicación de transmisión y recepción de datos es por medio del bus Serial Clock (SCK).

Para la presión arterial, el sensor MEMS HL100D provee una medición de presión barométrica, dicho valor es tomado de una compresión en forma de pulsera, la cual se llena de aire. El proceso de recepción de datos es analógico, ya que no mantiene valores estables como valor inicial se debe de llegar a una presión mayor o igual a 200mmHg.

El microcontrolador ATmega328p se encarga del procesamiento de las señales, transformándolas de analógicas a digitales por medio de un conversor analógico-digital (ADC), dicho ADC cuenta con una resolución de 10 bits, es decir, maneja muestras cuyos valores van desde 0 hasta 1024 (Atmel, 2015). Una vez obtenidos los valores los almacena y ejecuta una linealización de las señales por medio de un análisis numérico, con el fin de obtener un valor más preciso y de autoaprendizaje.

Por parte de la aplicación, se tiene un menú principal que cuenta con opciones para registrar un paciente, uno para observar los pacientes que han sido registrados y, por último, una sección para activar y conectar el dispositivo de medición de signos vitales con la aplicación móvil.

El registro del paciente tiene las opciones para ingresar el nombre del paciente y poder hacer una hoja diagnóstico del mismo, esto con el objetivo de anotar las observaciones que se aprecian de la persona. La base de datos guarda esta información con un número de identificación de paciente registrado para que la pestaña del directorio tenga la posibilidad de ver a las personas registradas con una pequeña descripción de su hoja diagnóstico. En esta pestaña, es posible editar la hoja diagnóstico o los nombres correspondientes.

La opción Bluetooth le permite al usuario enlazar la pulsera con la aplicación. Al ingresar a esta opción, la plataforma le pedirá activar el Bluetooth del dispositivo, esta función también puede ser activada manualmente. La aplicación le pide al usuario emparejar la pulsera si es su primer uso y en caso de ser así, la persona puede presionar la opción “Ajustes de Bluetooth” para emparejarlo desde las configuraciones del dispositivo móvil. Una vez enlazados, la plataforma móvil dará acceso a las funciones de la pulsera tales como medir los signos vitales uno por uno manualmente o hacer todos los procesos automáticamente.

RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas necesarias y contundentes, se puede observar una mejora en cuanto al flujo de mediciones de los signos vitales entre pacientes. De la Figura 1, se pueden observar datos tomados con el Serial Plotter del Entorno de Desarrollo (IDE) Arduino, utilizando un Arduino Uno donde se consideran a las primeras 9 muestras del proceso como un método de calibración y ajuste para el sensor, ya que, arroja algunos primeros resultados bajos hasta lograr tener un parámetro más adecuado al real.

1: 0.00		16: 68.35bpm	97%
2: 0.00		17: 68.58bpm	97%
3: 44.68		18: 66.34bpm	97%
4: 67.81		19: 66.80bpm	97%
5: 71.79		20: 68.88bpm	97%
6: 71.93		21: 69.22bpm	97%
7: 73.53		22: 69.91bpm	97%
8: 73.59		23: 68.67bpm	97%
9: 72.65		24: 70.10bpm	97%
10: 69.75bpm	97%	25: 69.76bpm	96%
11: 68.61bpm	97%	26: 69.62bpm	96%
12: 68.68bpm	96%	27: 69.47bpm	96%
13: 67.73bpm	96%	28: 70.10bpm	96%
14: 68.33bpm	96%	29: 70.69bpm	96%
15: 69.07bpm	97%	30: 71.44bpm	96%
		69.1 bpm	
		96.6 %	

Figura 1. Resultados de la medición de la frecuencia cardíaca (en pulsos por minuto (ppm)) y la oxigenación (en porcentaje)

Es importante mencionar que, los resultados han sido comparados con dispositivos y aparatos de uso común que los pacientes pueden tener en casa o el equipo básico que un médico puede tener a la mano en caso de alguna emergencia. En la Tabla 1 se muestran resultados de un dispositivo móvil Samsung, un pulsioxímetro y el sistema de medición de signos vitales. Es recomendable tener un periodo de espera entre prueba y prueba (en un mismo paciente) de más o menos 5 minutos, para no alterar las mediciones.

Tabla 1. Resultados comparativos de pulsioximetría

Persona	Samsung Galaxy Note 4			Pulsioxímetro			Sistema de medición de signos vitales		
	Tiempo de medición (Seg)	Oxigenación en la sangre	Pulso cardíaco (PPM)	Tiempo de medición (seg)	Oxigenación en la sangre	Pulso cardíaco (PPM)	Tiempo de medición (seg)	Oxigenación en la sangre	Pulso cardíaco (PPM)
1	32	97%	70	30	97%	70	30	97%	71
2	35	94%	81	30	94%	82	30	96%	79
3	34	96%	75	30	96%	77	30	95%	74
4	35	95%	88	30	95%	89	30	95%	88
5	32	100%	80	30	100%	80	30	98%	78
6	36	100%	77	30	99%	76	30	99%	80
7	34	96%	72	30	95%	70	30	95%	76
8	30	97%	70	30	97%	74	30	97%	68
9	30	96%	78	30	96%	77	30	96%	80
10	33	94%	78	30	94%	79	30	93%	76
11	34	100%	76	30	99%	76	30	100%	76
12	33	97%	72	30	96%	72	30	97%	72
13	35	95%	74	30	95%	74	30	95%	75
14	33	93%	82	30	93%	81	30	91%	84
15	30	100%	66	30	100%	69	30	100%	70

Para el caso de la medición de la temperatura, se pueden observar diferencias en los resultados arrojados ya que, por una parte, se realizaron pruebas en la parte de la axila de una persona mientras ésta traía puesta una prenda de vestir y, por otro lado, se realizaron pruebas sobre la misma persona, pero, con la piel desnuda, dejando una importante recomendación y es que si se quiere tener una precisión más correcta de la temperatura es altamente recomendable realizarlo con la parte del cuerpo descubierta para que el sensor MLX90614 (Melexis, 2019) pueda tomar la temperatura directamente de la piel y el cuerpo y no de la temperatura de la prenda de vestir. La Figura 2, muestra los resultados de la persona mientras porta una prenda de vestir.

25.25
25.29
25.25
25.31
25.31
25.37
25.37
25.43
25.43
25.53
25.59
25.53
25.61
25.63
25.67
25.67
25.73

Figura 2. Resultados obtenidos del sensor de temperatura con piel cubierta

Se pueden notar temperaturas más bajas y anormales a la regular del cuerpo. Al realizar pruebas con la piel desnuda, se obtuvieron los resultados de la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la medición de la temperatura con piel desnuda

Persona	Tiempo de medición (seg)	Temperatura medida con el sistema (°C)	Temperatura medida con el termómetro (°C)
1	30	36	36.5
2	30	35.3	35.8
3	30	35.5	36.1
4	30	36.4	36.7
5	30	35.2	35.9
6	30	34.6	35.2
7	30	35	35.4
8	30	36.1	36.9
9	30	36.5	37.1
10	30	35.1	36
11	30	34.3	35.1
12	30	36.3	36.6
13	30	34.2	34.9
14	30	35.6	35.7
15	30	35.9	36.3

Para la presión arterial, se deben tener consideraciones importantes antes de tomar la medición y es que requiere que la persona adopte una postura relajada, que descansa el brazo sobre una almohadilla y tratar de poner la muñeca (en la que tiene puesto el dispositivo de medición) a la altura del pecho para obtener mejores resultados, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.** Postura recomendada para la obtención de mejores resultados

La Tabla 3 muestra el ejercicio realizado a 9 personas, comparado con un reloj inteligente que puede realizar pruebas de medición de la presión arterial.

Tabla 3. *Tabla de resultados de la toma de presión arterial a 9 personas*

Persona	Oscilometría (sistema de medición)	Pletismografía (Reloj inteligente)
1	127/85	125/85
2	125/84	122/81
3	120/80	119/76
4	120/80	124/83
5	117/79	115/70
6	123/82	121/82
7	122/81	119/78
8	117/78	117/78
9	113/75	119/81

La aplicación móvil presenta una pantalla dedicada a la conexión entre el dispositivo móvil y el sistema de medición. La aplicación permite la activación del Bluetooth, así como, observar los distintos dispositivos enlazados con el teléfono. En caso de no haber un emparejamiento entre ambos, se puede dirigir a la configuración general y enlazar el sistema con el teléfono. También se han implementado botones de acción que interactúan con los sensores para dar la indicación de activación y toma de lecturas (Figura 4).

**Figura 4.** *Pantalla de aplicación del manejo del sistema de medición*

En la Figura 4, se puede ver la página de pacientes registrados con una hoja de diagnóstico que muestra la información básica del paciente, la fecha de ingreso del paciente o fecha en la que se toman las mediciones, así como la toma de signos vitales y notas escritas por el personal médico. Se añadió un botón para borrar los registros de pacientes que ya hayan sido dados de alta o que ya no sean de utilidad para el usuario.



Figura 5. Registro de Pacientes dados de alta en la aplicación

CONCLUSIONES

El objetivo general del proyecto, enfocado en el diseño de un sistema que pueda medir diversos signos vitales en una sola toma, tiene como resultado un ahorro de tiempo considerable al momento de realizar diferentes mediciones, ya que, ayudan al médico o enfermero a visualizar los resultados en una interfaz simple y cómoda de manejar, evitando el uso de diferentes aparatos para la toma de medición de los diferentes signos vitales. Es importante recalcar que, en algunos casos, se pueden usar hasta 5 aparatos para obtener las lecturas correspondientes. De acuerdo con el problema común de utilizar diferentes aparatos, el sistema de medición provee una mejor administración del tiempo de duración de la toma individual de cada signo vital, ya que, algunas de las mediciones las realiza tiempos paralelos, es decir, puede tomar más de una lectura en un solo instante gracias a la implementación de los módulos en la pinza que proveen tres resultados con un único movimiento, estos son; el pulso cardíaco, la temperatura corporal y la oxigenación en la sangre.

El manejo de herramientas de acceso gratuito para el desarrollo de sistemas como lo son Arduino o entornos de desarrollo aplicaciones móviles como lo es Flutter y su integración con diversos sistemas, incluidos Arduino, ha permitido al proyecto, tener un manejo del dispositivo desde la aplicación, haciendo que ésta misma envíe instrucciones y reciba la información que los sensores arrojen de las mediciones realizadas. Durante el proceso de desarrollo se encontró que los médicos y en especial, el área de enfermería, utilizan una hoja de diagnóstico que provee la información básica y de signos vitales correspondientes a uno o más pacientes, por lo que, se optó por integrar una opción para poder añadir la hoja de diagnóstico como parte de la aplicación y con ello, ayudar a tener un mejor control del estado actual de las personas, tanto para una persona monitoreando sus signos vitales, como para un médico o enfermero llevando el registro de pacientes que entran a atención primaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Arduino (2020). *Placa Uno Arduino*. <https://www.arduino.cc/>
- Arduino (2021). Programa Arduino 1.8.42. <https://www.arduino.cc/>
- Atmel (2015). ATmega328P. 8-bit ABR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- Corral, R., Corral, M., Juárez, M. y Ochoa, M. (2006). Signos vitales: conocimiento y cumplimiento de técnicas de medición. *Revista Enfermería del Instituto Mexicano del Seguro Social*. Vol. 14 (2). Pp. 97-100. http://revistaenfermeria.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista_enfermeria/article/view/590
- Dart (2021). *Código Dart 3.20.1*. <https://dart.dev>
- Flores, B. (21 de octubre de 2016). *Nivel de creatividad en estudiantes de ingeniería mecatrónica: La materia prima de la innovación*. Seminario la Internacionalización de la Educación Superior en la Sociedad del Conocimiento. <https://repositorial.cuaieed.unam.mx:8443/xmlui/handle/20.500.12579/4635>
- Flutter (2021). *Conjunto de Herramientas Flutter 3.20.0*. <https://flutter.dev/>
- Kratzer, J., Leenders, R. & Engelen, J. (2008). The Social Structure of Leadership and Creativity in Engineering Design Teams: An Empirical Analysis. *Journal of Engineering and Technology Management*. Vol. 25. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2008.10.004>
- Maxim Integrated (2014). *Datasheet for Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health MAX30100*. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>
- Melexis (2019). *Datasheet for MLX90614*. <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>
- Murell, D. (2020). *Niveles bajos y normales de oxígeno en la sangre: Qué necesitas saber*. Medical News Today. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/saturacion-de-oxigeno-normal>
- Nall, R. (2020). *¿Cuál es el rango normal de la temperatura corporal?* Medical News Today. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/temperatura-normal-del-cuerpo>
- National Institute on Aging (2018). *La presión arterial alta*. <https://www.nia.nih.gov/espanol/presion-arterial-alta>

Nextion (2020). *Datasheet for Interfaz Visual NXT3224T024*.
<https://nextion.tech/datasheets/nx3224t024/>

Tekartik. (2021). *Complemento SQFLite para Flutter*. <https://pub.dev/packages/sqflite>

Valle, A. (2021). *Frecuencia Cardiaca*. Fundación Española del Corazón.
<https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/riesgo-cardiovascular/frecuencia-cardiaca.html>

Visual Studio Code (2021). *Home Page Visual Studio Code*. <https://code.visualstudio.com/>

Zhang, Y., Bai, L. y Zhang, D. (2010). Strengthening the Engineer's Lifelong Education.
Advanced Materials Research.
https://www.researchgate.net/publication/271987559_Strengthening_the_Engineer's_Lifelong_Education