

**Diseño e implementación de un prototipo de sistema de monitoreo de presión arterial no  
invasivo**

Jairo Andrés Pérez Hurtatis

Asesor

Hugo Hernando Diaz Raga.

Universidad nacional abierta y a distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnológicas e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería Electrónica

2024

## **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a la comunidad del municipio de Florencia, departamento del Caquetá, por su apoyo inquebrantable y colaboración durante la realización de este proyecto de Trabajo de Grado. Su participación activa y compromiso fueron fundamentales para el éxito de esta investigación.

Agradezco sinceramente a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por brindarme la oportunidad de cursar mis estudios de Ingeniería Electrónica. La flexibilidad y calidad académica de esta institución han sido pilares fundamentales en mi formación profesional. Mi gratitud se extiende al ingeniero Hugo Hernando Diaz Raga, mi asesor de proyecto, cuya orientación, conocimientos y dedicación fueron esenciales para llevar a cabo este trabajo de manera efectiva. Sus valiosos aportes han dejado una marca indeleble en mi desarrollo académico y profesional.

Finalmente, quiero agradecer a mi familia por su inquebrantable apoyo, paciencia y comprensión a lo largo de este arduo proceso. Su amor y aliento fueron mi fuente de inspiración constante. Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos que contribuyeron de alguna manera. A cada persona que formó parte de este viaje, ¡muchas gracias!

## Resumen

El diseño e implementación de un sistema de monitoreo de presión arterial no invasivo implica la utilización de un sensor de presión MPS20N0040D y un microcontrolador Arduino, junto con otros componentes electrónicos como un módulo de pantalla LCD, amplificador operacional LM358, resistencias, condensadores, Protoboard, Bomba de Aire 2L, 6V DC, Transistor NPN 2N2222, Módulo de tarjeta SD, Cables de conexión, fuente de alimentación, solenoide de válvula de aire 5V DC y pulsador.

El circuito se puede diseñar y construir siguiendo los pasos de conectar el sensor de presión a la entrada del microcontrolador, conectar la pantalla LCD a las salidas digitales del microcontrolador y configurar el código para leer la señal del sensor y mostrar los resultados en la pantalla LCD.

El código de programación se puede escribir en lenguaje C para el microcontrolador Arduino, y se puede incluir la funcionalidad de cálculo de la presión arterial media basada en los valores de presión sistólica, diastólica y presión arterial media (PAM).

Este tipo de sistema puede ser utilizado para monitorear la presión arterial de pacientes en entornos médicos y domésticos, requiere una medición no invasiva y en tiempo real de la presión arterial.

***Palabras Clave:*** Monitoreo, Presión arterial, no invasivo, sistólica, diastólica, media.

### **Abstract**

The design and implementation of a non-invasive blood pressure monitoring system involve the use of an MPS20N0040D pressure sensor and an Arduino microcontroller, along with other electronic components such as an LCD module, LM358 operational amplifier, resistors, capacitors, breadboard, 2L 6V DC air pump, 2N2222 NPN transistor, SD card module, connecting wires, power supply, 5V DC air valve solenoid, and push button.

The circuit can be designed and constructed by following the steps of connecting the pressure sensor to the input of the microcontroller, connecting the LCD to the digital outputs of the microcontroller, and configuring the code to read the sensor signal and display the results on the LCD.

The programming code can be written in C language for the Arduino microcontroller, and it can include the functionality to calculate the mean arterial pressure based on systolic, diastolic, and mean arterial pressure (MAP) values.

This type of system can be used to monitor the blood pressure of patients in medical and home settings, requiring non-invasive and real-time blood pressure measurement.

***Keywords:*** *Monitoring, Blood Pressure, Non-Invasive, Systolic, Diastolic, Mean.*

## Tabla de contenido

Introducción .....	9
Planteamiento del Problema .....	10
Formulación del Problema .....	11
Justificación .....	12
Objetivos .....	14
Objetivo General .....	14
Objetivo Específicos .....	14
Marco de Referencia .....	15
Marco Conceptual .....	15
Marco Tecnológico .....	16
<i>Sensores de Presión Arterial no Invasivos</i> .....	16
<i>Microcontroladores en Sistemas de Monitoreo Medico</i> .....	16
<i>Algoritmos de Cálculo de Presión Arterial Media (PAM)</i> .....	17
<i>Tecnologías de Pantalla y Visualización</i> .....	17
<i>Integración de Almacenamiento y Análisis de Datos</i> .....	17
<i>Validación Clínica y Aplicaciones Prácticas</i> .....	18
<i>Limitantes de los documentos revisados</i> .....	18
Marco Contextual .....	19
Marco Legal .....	20
Metodología .....	22
Tipo de Investigación y Enfoque .....	22
Enfoque de la Investigación .....	22
Investigación Descriptiva .....	22
Investigación de Desarrollo .....	22
Población y Muestra .....	22
Fuentes de Información .....	23
Instrumentos de Recolección de Información .....	24
Instrumentos de Recolección de Información .....	24
Desarrollo Ingenieril .....	25
Fase 1. Estudios Preliminares y Características del Prototipo .....	25
Fase 2. Materialización del Prototipo .....	27

Fase 3. Adquisición y Procesamiento de la Información.....	29
Fase 4. Experimentación.....	30
Resultados o Producto Esperado.....	33
Objetivo 1.....	34
<i>Implementación del Sistema.</i> .....	34
Objetivo 2.....	35
Objetivo 3.....	36
Conclusiones .....	39
Recomendaciones .....	40
Bibliografía .....	42

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de Bloques</i> .....	26
<b>Figura 2</b> <i>Diseño electrónico del prototipo en software Fritzing</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Placa de desarrollo Arduino UNO R3</i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Protoboard</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Modulo sensor de presión MPS20N0040D</i> .....	28
<b>Figura 6</b> <i>Pantalla LCD 16X2</i> .....	28
<b>Figura 7</b> <i>Bomba de aire</i> .....	28
<b>Figura 8</b> <i>Válvula solenoide</i> .....	29
<b>Figura 9</b> <i>Modulo tarjeta SD</i> .....	29
<b>Figura 10</b> <i>Implementación</i> .....	31
<b>Figura 11</b> <i>Implementación</i> .....	32
<b>Figura 12</b> <i>Implementación</i> .....	32

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Resultados o productos esperados</i> .....	33
--	----

## Introducción

En la constante búsqueda de nuevas soluciones para el cuidado de la salud, el avance de tecnologías no invasivas para el monitoreo preciso de la presión arterial ha surgido como un área de gran interés. La presión arterial, crucial para evaluar la salud cardiovascular, desempeña un papel vital en la detección y prevención de enfermedades cardiovasculares. Históricamente, la medición de la presión arterial se ha realizado mediante métodos invasivos, que, aunque precisos, pueden ser incómodos y poco prácticos para un monitoreo continuo.

Para abordar esta necesidad, se introduce un prototipo de sistema de monitoreo de presión arterial no invasivo, que combina la precisión de las mediciones tradicionales con la comodidad y accesibilidad de un enfoque no invasivo. Este sistema emplea tecnologías avanzadas, como sensores ópticos y algoritmos inteligentes, para medir la presión arterial de forma continua y en tiempo real sin requerir intervenciones invasivas.

El objetivo principal de este prototipo es proporcionar a los usuarios una herramienta efectiva y conveniente para el monitoreo regular de su presión arterial, facilitando así la detección temprana de posibles anomalías y la adopción de medidas preventivas. Además, la característica no invasiva del sistema promueve una mayor adherencia por parte del usuario al monitoreo, permitiendo un seguimiento más constante y confiable de su salud cardiovascular.

## **Planteamiento del Problema**

La presión arterial es una condición médica persistente que afecta a una porción considerable de la población global, constituyendo un factor de riesgo significativo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y otras complicaciones graves para la salud. Es esencial realizar mediciones precisas y periódicas de la presión arterial para diagnosticar de manera precoz, monitorear el tratamiento y prevenir posibles complicaciones relacionadas.

Sin embargo, los métodos tradicionales de medición de la presión arterial, que implican el uso de un manguito inflable en el brazo, presentan limitaciones importantes. Estos dispositivos pueden resultar incómodos para los pacientes, especialmente si se requieren mediciones frecuentes a lo largo del día. Además, la necesidad de desinflar y volver a inflar el manguito para cada medición puede ser engorrosa y disuadir a los pacientes de realizar mediciones regulares.

La incomodidad y la inconveniencia asociadas con los métodos de medición tradicionales pueden llevar a una falta de adherencia al monitoreo de la presión arterial, lo que a su vez puede resultar en una gestión inadecuada de la hipertensión y un mayor riesgo de complicaciones cardiovasculares. Además, para ciertos grupos de pacientes, como los ancianos o aquellos con movilidad reducida, la dificultad para aplicar el manguito en el brazo puede ser aún más pronunciada, lo que dificulta aún más el proceso de monitoreo.

Es crucial encontrar soluciones que permitan mediciones precisas y convenientes, que puedan ser realizadas fácilmente por los propios pacientes en cualquier momento y lugar, sin requerir equipos voluminosos o procedimientos invasivos. Abordar esta problemática es fundamental para mejorar la atención y el manejo de la hipertensión arterial, así como para promover un mejor control de la salud cardiovascular de la población afectada.

**Formulación del Problema**

¿De qué manera se puede garantizar la toma precisa de la presión arterial en individuos afectados por hipertensión, minimizando la variabilidad de los resultados y reduciendo al mínimo cualquier impacto fisiológico negativo durante el proceso de medición?

## **Justificación**

La relevancia fundamental de un proyecto de monitoreo de presión arterial no invasivo radica en la prevalencia global de la hipertensión arterial, una condición que figura entre las principales causas de enfermedad cardiovascular y muerte prematura en todo el mundo. La insidiosa naturaleza asintomática de la hipertensión subraya la necesidad crítica de implementar sistemas efectivos de detección y monitoreo, ya que muchas personas pueden desconocer su condición hasta que se presenten complicaciones graves.

La ausencia de síntomas notables en las primeras etapas de la hipertensión enfatiza la importancia de realizar mediciones regulares de la presión arterial como herramienta preventiva. Un sistema de monitoreo no invasivo se presenta como una solución vital para facilitar mediciones frecuentes y oportunas, identificando a aquellos que pueden estar en riesgo de desarrollar hipertensión arterial y permitiendo la aplicación de intervenciones tempranas y efectivas.

Además, la obsolescencia de los métodos tradicionales, como el esfigmomanómetro de mercurio, se convierte en otra razón imperante para la adopción de enfoques más modernos y seguros. Estos métodos clásicos no solo pueden resultar incómodos para los pacientes, disminuyendo la probabilidad de mediciones regulares, sino que también presentan riesgos para la salud debido al uso de mercurio, un elemento potencialmente peligroso.

El proyecto propuesto aborda estas preocupaciones fundamentales al ofrecer un sistema de monitoreo de presión arterial no invasivo que garantiza mediciones precisas y seguras. La integración de tecnologías avanzadas, como el sensor de presión MPS20N0040D y el microcontrolador Arduino, no solo optimiza la precisión de las mediciones, sino que también proporciona un entorno más cómodo y conveniente para los usuarios.

En consecuencia, este proyecto no solo tiene implicaciones en la detección temprana y la gestión eficiente de la hipertensión arterial, sino que también aborda preocupaciones relacionadas con la seguridad y la comodidad del paciente. Al mejorar la accesibilidad y la aceptabilidad del monitoreo de la presión arterial, se espera que este sistema contribuya significativamente a la promoción de la salud cardiovascular y, en última instancia, a la reducción de las tasas de enfermedades cardiovasculares y complicaciones asociadas a nivel mundial.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de presión arterial no invasivo, utilizando un sensor de presión y un microcontrolador Arduino, que pueda mostrar en tiempo real los valores de presión sistólica, diastólica y presión arterial media en una pantalla LCD y almacenarlos en una tarjeta SD para su posterior análisis y seguimiento médico.

### **Objetivo Específicos**

Diseñar e implementar un sistema electrónico que pueda medir la presión arterial utilizando un sensor de presión y un microcontrolador Arduino.

Programar el microcontrolador para procesar y mostrar los datos de presión arterial de manera precisa y confiable en una pantalla LCD.

Realizar pruebas rigurosas y ajustes en el sistema para garantizar su precisión y confiabilidad en diferentes situaciones y entornos.

## Marco de Referencia

### Marco Conceptual

La presión arterial, un indicador esencial de la salud del sistema cardiovascular, representa la fuerza que la sangre ejerce sobre las paredes de las arterias durante el ciclo cardíaco. Su medición, crucial para evaluar la circulación sanguínea, se define por dos valores: la presión sistólica, que indica la fuerza máxima durante la contracción del corazón, y la presión diastólica, que refleja la presión mínima entre los latidos. En adultos, la presión arterial normal generalmente se considera cuando la presión sistólica es inferior a 120 mm Hg y la diastólica es inferior a 80 mm Hg.

Mantener la presión arterial en rangos normales es vital debido a su estrecha relación con la salud cardiovascular. La hipertensión, o presión arterial elevada, se asocia significativamente con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, incluyendo problemas cardíacos y accidentes cerebrovasculares. Por lo tanto, el monitoreo regular de la presión arterial se convierte en una herramienta esencial para detectar tempranamente posibles anomalías y prevenir complicaciones.

Históricamente, el monitoreo de la presión arterial se ha realizado utilizando métodos no invasivos, siendo el esfigmomanómetro el dispositivo más complejo empleado. Este dispositivo, que se coloca alrededor del brazo y utiliza la auscultación para medir la presión arterial de forma indirecta, aunque eficaz, puede resultar incómodo y limitar la frecuencia de las mediciones.

En respuesta a estas limitaciones, ha surgido una técnica innovadora basada en sensores de presión para la medición no invasiva de la presión arterial. Estos sensores, ubicados en la muñeca o el brazo, permiten mediciones más cómodas y frecuentes. Además, la presión arterial media (PAM), un indicador crucial de la perfusión de los órganos, se puede calcular con precisión a partir de las mediciones de presión sistólica y diastólica.

Los microcontroladores, como Arduino, proporcionan una plataforma versátil y económica para diseñar sistemas de monitoreo de presión arterial no invasivos, lo cual se explorará para su implementación. El sensor de presión MPS20N0040D, conocido por su alta precisión, se ha destacado como una opción efectiva para la implementación de estos sistemas. Además, la integración de una pantalla LCD proporciona una interfaz visual para mostrar los valores de presión arterial y PAM, mejorando la accesibilidad de la información para los usuarios.

### **Marco Tecnológico**

En el desarrollo de sistemas del prototipo de monitoreo de presión arterial no invasivos, se emplean diversas tecnologías electrónicas que permiten la adquisición, procesamiento y presentación de datos de manera precisa y eficiente. A continuación, se detalla de manera más extensa cada una de estas tecnologías:

#### ***Sensores de Presión Arterial no Invasivos***

Los sensores de presión arterial no invasivos constituyen una parte fundamental en estos sistemas. Se utilizan sensores cada vez más pequeños y precisos, basados en tecnologías como la piezorresistiva, capacitiva o de ultrasonido, que permiten mediciones cómodas y frecuentes de la presión arterial. Estos sensores pueden ubicarse en la muñeca, el brazo u otras áreas del cuerpo y ofrecen una alternativa conveniente a los métodos tradicionales de medición. Además, se investigan continuamente nuevos materiales y técnicas de fabricación para mejorar la sensibilidad y durabilidad de estos sensores.

#### ***Microcontroladores en Sistemas de Monitoreo Médico***

La integración de microcontroladores en estos sistemas ofrece una plataforma versátil y asequible para el diseño y control de dispositivos médicos. Plataformas como Arduino, que

proporciona una interfaz de hardware y software que permite la captura, procesamiento y presentación de datos de presión arterial de manera eficiente. Su facilidad de programación y capacidad para interconectarse con otros componentes hacen que sean ideales para su funcionamiento.

### ***Algoritmos de Cálculo de Presión Arterial Media (PAM)***

Los algoritmos de cálculo de la Presión Arterial Media (PAM) son fundamentales para obtener una evaluación precisa de la presión arterial a lo largo del tiempo. Estos algoritmos utilizan mediciones de presión sistólica y diastólica para calcular la PAM, proporcionando una estimación más completa del estado cardiovascular del paciente. La implementación de algoritmos avanzados, como los basados en redes neuronales o métodos de filtrado digital, puede mejorar la precisión y confiabilidad de las mediciones.

### ***Tecnologías de Pantalla y Visualización***

Las tecnologías de pantalla y visualización desempeñan un papel crucial en la presentación de los resultados del monitoreo de presión arterial. Además de las pantallas LCD tradicionales, se están explorando opciones más avanzadas, como pantallas OLED o pantallas táctiles, que ofrecen una mejor calidad de visualización y una experiencia de usuario más interactiva. La conectividad con dispositivos móviles también es importante para permitir el acceso remoto a los datos y facilitar la comunicación con los profesionales de la salud.

### ***Integración de Almacenamiento y Análisis de Datos***

La integración de sistemas de almacenamiento y análisis de datos es esencial para el seguimiento a largo plazo de las mediciones de presión arterial. Se utilizan métodos como tarjetas SD, memoria flash o servicios en la nube para almacenar los datos de manera segura y accesible. Además, se están desarrollando herramientas de análisis de datos para identificar

tendencias, patrones y anomalías en los registros de presión arterial, lo que facilita la toma de decisiones clínicas informadas.

### ***Validación Clínica y Aplicaciones Prácticas***

La validación clínica de los sistemas de monitoreo de presión arterial no invasivos es fundamental para garantizar su precisión y confiabilidad en entornos reales. Se llevan a cabo estudios clínicos en colaboración con profesionales de la salud para evaluar el rendimiento de estos dispositivos y su impacto en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardiovasculares. Además, se están explorando diversas aplicaciones prácticas, como el monitoreo domiciliario, el seguimiento de pacientes de alto riesgo y la telemedicina, para ampliar la accesibilidad y la utilidad de estos sistemas.

### ***Limitantes de los documentos revisados***

Las limitaciones de los documentos revisados en el estado del arte incluyen aspectos temporales, alcance de búsqueda, disponibilidad de recursos, enfoque tecnológico, validez clínica y aplicaciones específicas. La información se basa en documentos revisados hasta enero de 2023, lo que puede no reflejar desarrollos más recientes. La revisión no es exhaustiva y puede no abarcar todas las investigaciones relevantes. La accesibilidad limitada a algunos documentos podría haber afectado la inclusión de estudios específicos. El enfoque tecnológico se centra en microcontroladores y sensores, excluyendo ciertos avances emergentes. La revisión puede no abordar completamente la validación clínica y la confiabilidad de los resultados. Algunas aplicaciones específicas del monitoreo de presión arterial pueden no haber sido completamente exploradas en la revisión. Estas limitaciones destacan la importancia de considerar estos factores al interpretar los resultados y señalan áreas para futuras investigaciones.

**Marco Contextual.**

El dispositivo de monitoreo de presión arterial será desplegado en una variedad de entornos, adaptándose a las necesidades de diversos tipos de pacientes y situaciones clínicas. Este incluirá configuraciones clínicas, donde profesionales de la salud necesitarán acceder y utilizar los datos recolectados para tomar decisiones médicas informadas. Asimismo, se prevé su uso en entornos domésticos, lo que requiere que el dispositivo sea intuitivo y fácil de usar para los pacientes, algunos de los cuales pueden tener limitaciones de movilidad o destreza manual.

En el contexto clínico, el dispositivo deberá integrarse de manera fluida en los procedimientos y protocolos médicos existentes. Esto implica que debe ser compatible con otros equipos médicos y sistemas de gestión de datos hospitalarios. Además, se requerirá que los profesionales de la salud puedan acceder a los datos del monitoreo de presión arterial de manera rápida y eficiente, posiblemente integrando los resultados en registros médicos electrónicos.

En cuanto al entorno domiciliario, el dispositivo debe ser diseñado teniendo en cuenta la comodidad y la facilidad de uso para los pacientes. Esto puede incluir características como una interfaz de usuario intuitiva, indicadores visuales claros y un diseño ergonómico que permita un uso cómodo y sin complicaciones. Además, se debe considerar la portabilidad del dispositivo, permitiendo que los pacientes lo utilicen en diferentes ubicaciones dentro de sus hogares y durante sus actividades diarias.

Los tipos de pacientes que se beneficiarán de este dispositivo incluyen aquellos con hipertensión arterial, enfermedades cardiovasculares, condiciones crónicas de salud que requieren monitoreo regular de la presión arterial, así como pacientes postoperatorios que necesitan una vigilancia continua de su salud cardiovascular. Por lo tanto, el dispositivo debe ser

lo suficientemente versátil como para adaptarse a las necesidades de estos diferentes grupos de pacientes y situaciones clínicas.

### **Marco Legal.**

En Colombia, existe un sólido marco normativo que respalda la regulación de dispositivos médicos, con el objetivo primordial de asegurar la seguridad, calidad y eficacia de estos productos. A continuación, se exponen algunos puntos clave de este marco legal colombiano:

- **Registro Sanitario de Dispositivos Médicos.** El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) es la entidad encargada de conceder el registro sanitario a los dispositivos médicos antes de su comercialización y uso en Colombia. Este procedimiento implica una minuciosa evaluación de la seguridad, eficacia y calidad del dispositivo, garantizando su conformidad con los estándares establecidos por las autoridades reguladoras.
- **Normas Técnicas y certificaciones.** Los dispositivos de monitoreo de presión arterial deben cumplir con las normas técnicas colombianas definidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Estas normativas abarcan aspectos como el diseño, fabricación, etiquetado y funcionamiento del dispositivo, asegurando su cumplimiento con los requisitos de seguridad y rendimiento establecidos.
- **Vigilancia y Control.** El INVIMA lleva a cabo actividades de supervisión y control para garantizar el cumplimiento de las regulaciones por parte de los fabricantes y distribuidores de dispositivos médicos. Esto incluye inspecciones en las instalaciones de fabricación, seguimiento de eventos adversos relacionados con el uso del dispositivo y la aplicación de medidas correctivas cuando sea necesario.

- **Protección de Datos Personales.** La Ley Estatutaria 1581 de 2012 y su decreto reglamentario establecen disposiciones sobre la protección de datos personales en Colombia. Los fabricantes y usuarios de dispositivos de monitoreo de presión arterial deben cumplir con estas regulaciones para garantizar la privacidad y seguridad de la información del paciente, incluyendo datos como registros de presión arterial y datos de identificación personal.
- **Responsabilidad Legal.** Los fabricantes, distribuidores y profesionales de la salud que emplean dispositivos de monitoreo de presión arterial en Colombia están sujetos a las leyes y regulaciones colombianas sobre responsabilidad civil y penal en caso de incumplimiento de las normativas o causación de daños a los pacientes. Esto abarca la responsabilidad por defectos en el diseño o fabricación del dispositivo, así como por su uso inadecuado o negligente.

## **Metodología**

### **Tipo de Investigación y Enfoque**

El proyecto propuesto se considera una investigación aplicada, dado que se enfoca en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo de presión arterial no invasivo utilizando el sensor de presión MPS20N0040D y el microcontrolador Arduino Uno. Esta clasificación se fundamenta en la intención de crear una solución práctica para medir la presión arterial de manera cómoda y accesible.

### **Enfoque de la Investigación**

El enfoque de la investigación abarca tanto la investigación descriptiva como la investigación de desarrollo.

### **Investigación Descriptiva**

La revisión del estado del arte proporciona una descripción detallada de los avances actuales en el monitoreo de presión arterial no invasivo y el uso de microcontroladores, destacando las tecnologías, métodos y tendencias relevantes en este campo.

### **Investigación de Desarrollo**

La implementación del sistema propuesto implica un proceso de diseño y construcción, con un enfoque en la creación de un dispositivo funcional basado en el sensor MPS20N0040D y el microcontrolador Arduino Uno. Este enfoque de desarrollo busca aplicar los conocimientos adquiridos en la investigación descriptiva para construir un sistema práctico y efectivo.

### **Población y Muestra**

La población específica definida para este proyecto está compuesta por pacientes crónicos que sufren de hipertensión arterial. No obstante, para llevar a cabo la implementación del proyecto, se restringió la muestra a un grupo reducido de pacientes que presenten estas

condiciones de salud. Es relevante mencionar que este grupo de muestra fue seleccionado entre los familiares de los investigadores, quienes cumplían con los criterios de inclusión requeridos para las pruebas y evaluaciones.

### **Fuentes de Información**

La recopilación de datos relevantes sobre la problemática existente entre las entidades prestadoras de salud y los pacientes afectados por hipertensión arterial se basó en fuentes tanto primarias como secundarias. En el ámbito de la salud, se emplearon los conocimientos adquiridos durante estudios especializados en salud para proporcionar información valiosa sobre la dinámica actual de la relación entre las entidades de salud y los pacientes con hipertensión arterial.

Para la parte técnica del proyecto, específicamente en lo concerniente a los componentes electrónicos y su interacción para lograr el funcionamiento deseado, se recurrió a la información disponible en el campo del Internet de las Cosas (IoT). Esta fuente de conocimiento proporcionó información clave sobre la implementación de dispositivos electrónicos en el contexto de la salud.

Además, se realizaron exhaustivas búsquedas en fuentes secundarias, centrándose en publicaciones de investigación relacionadas con dispositivos de salud electrónica (e-health). Estas investigaciones se enfocaron en la monitorización de signos vitales susceptibles de ser afectados por factores de riesgo, en consonancia con el objetivo general del proyecto. Es importante destacar que se mantenga la integridad académica y ética al citar adecuadamente todas las fuentes consultadas, evitando cualquier forma de plagio.

### **Instrumentos de Recolección de Información**

Se realizaron búsquedas en las bases de datos disponibles en internet. Estas búsquedas se enfocaron en las publicaciones relevantes mencionadas anteriormente, consideradas como contribuciones significativas al estado del arte del proyecto. La información extraída de estas bases de datos complementa y respalda el marco teórico del proyecto, garantizando una base sólida y respaldada por la literatura existente.

### **Instrumentos de Recolección de Información**

La investigación realizada a partir de la revisión de publicaciones en bases de datos ha permitido una comprensión exhaustiva de los desafíos actuales que enfrentan los pacientes con hipertensión arterial. Este análisis se enfocó en establecer pautas claras que dirigirán el desarrollo del proyecto, tomando en consideración las necesidades reales de los pacientes y los valiosos aportes encontrados en la literatura investigada.

Al identificar las necesidades específicas de los pacientes con hipertensión arterial mediante la investigación realizada, se exploraron las limitaciones actuales en los métodos de monitoreo de la presión arterial. Se destacaron las restricciones asociadas con los dispositivos tradicionales y las posibles barreras para la adhesión al monitoreo regular como aspectos fundamentales.

El desarrollo del proyecto se planificó estratégicamente para superar las limitaciones identificadas a través de la información obtenida de entrevistas y la revisión de la literatura en bases de datos. Se procedió a una selección meticulosa de componentes electrónicos con el propósito de optimizar el rendimiento del prototipo y satisfacer las necesidades reales de los pacientes con hipertensión, alineándose con las limitaciones identificadas en los dispositivos de monitoreo existentes.

## **Desarrollo Ingenieril**

El desarrollo de un prototipo de monitoreo de presión arterial es un proceso complejo que requiere la integración de conocimientos en ingeniería, tecnología médica y ciencias de la salud. Este proyecto busca diseñar y construir un sistema innovador que permita a los usuarios medir su presión arterial de manera precisa y cómoda, con el objetivo de mejorar la detección temprana de problemas cardiovasculares y promover una mejor gestión de la salud.

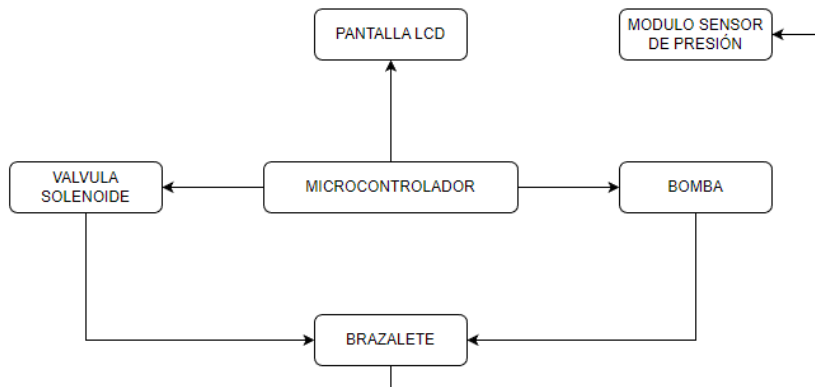
Para alcanzar este objetivo, se dividirá el proceso en varias fases interconectadas, cada una enfocada en aspectos específicos del desarrollo del dispositivo.

### **Fase 1. Estudios Preliminares y Características del Prototipo**

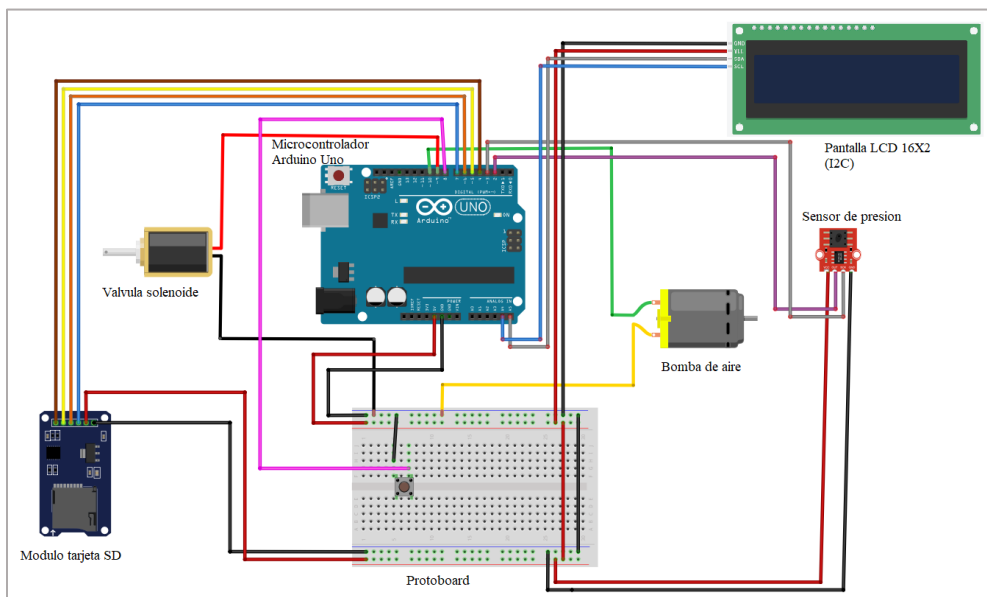
El equipo diseñado tiene como objetivo medir la presión arterial de manera no invasiva utilizando un sensor de presión arterial. Se obtendrán mediciones en milímetros de mercurio (mmHg) para la presión arterial sistólica, diastólica y la presión arterial media (PAM).

La lista de materiales necesarios incluye el microcontrolador Arduino UNO R3, el sensor de presión MPS20N0040D, una pantalla LCD, una protoboard, resistencias, una bomba de aire de 2L y 6V DC, capacitores, un transistor NPN 2N2222, un amplificador operacional LM358, un módulo de tarjeta SD, cables de conexión, una fuente de alimentación y una válvula de aire solenoide de 5V DC, además de un pulsador.

El sistema se divide en tres bloques principales: El microcontrolador Arduino, el sensor de presión arterial, la pantalla LCD. El sensor enviará señales al Arduino, el cual las procesará y mostrará los resultados en la pantalla LCD.

**Figura 1***Diagrama de Bloques.**Nota. Elaboración propia*

El plano electrónico del sistema será diseñado utilizando el software Fritzing, permitiendo una representación visual y una simulación precisa del circuito.

**Figura 2***Diseño electrónico del prototipo en software Fritzing.**Nota. Elaboración propia*

Las variables eléctricas de operatividad incluyen una fuente de alimentación de 5V para el Arduino y otros componentes electrónicos. El circuito funcionará dentro de un rango de temperatura y humedad especificado por los fabricantes de los componentes para garantizar su correcto funcionamiento y durabilidad.

## **Fase 2. Materialización del Prototipo**

Se llevará a cabo el montaje físico del circuito en una protoboard siguiendo el diseño electrónico.

### **Figura 3**

*Placa de desarrollo Arduino UNO R3.*



*Nota.* <https://ferretronica.com/products/placa-de-desarrollo-uno-r3-compatible-con-arduino>

### **Figura 4**

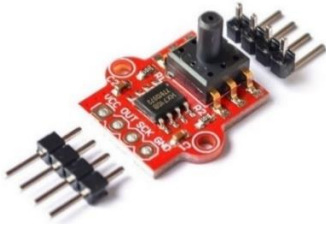
*Protoboard.*



*Nota.* <https://portalacademico.cch.unam.mx/cibernetica1/implementacion-de-circuitos-logicos/tableta-protoboard>.

**Figura 5**

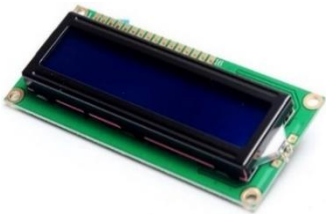
*Módulo sensor de presión MPS20N0040D.*



*Nota.* <https://electronilab.co/tienda/sensor-presion-barometrica-mps20n0040d-0-40kpa/>.

**Figura 6**

*Pantalla LCD 16x2.*



*Nota.* <https://www.arcaelectronica.com/collections/display-lcd/products/display-pantalla-lcd-16x2-con-i2c-soldado>

**Figura 7**

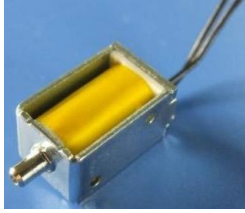
*Bomba de aire.*



*Nota.* <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/motores-y-solenoides-1/bombas-y-solenoides-1/para-aire/BOM-AIR-2L-6V-detail>

**Figura 8**

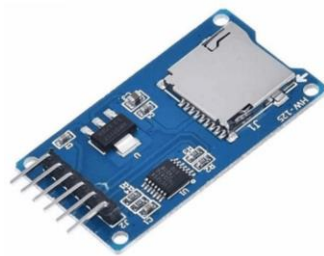
*Válvula solenoide.*



*Nota.* <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/motores-y-solenoides-1/bombas-y-solenoides-1/val-sole-3v-detail>

**Figura 9**

*Modulo tarjeta SD.*



*Nota.* <https://www.zamux.co/modulo-lectura-escritura-micro-sd>

**Fase 3. Adquisición y Procesamiento de la Información**

En esta fase del desarrollo del dispositivo de monitoreo de presión arterial, se enfoca en la adquisición y procesamiento de la información. Aquí se detallan las actividades clave realizadas durante esta fase:

- Visualización de la Información. Los valores de presión arterial obtenidos por el sensor se presentan en tiempo real en la pantalla LCD del dispositivo, lo que permite a los usuarios monitorear su presión arterial de manera inmediata y directa.

- Almacenamiento de la Información. Para garantizar la disponibilidad y la integridad de los datos recolectados, se implementa un sistema de almacenamiento en una tarjeta SD. Esto permite guardar los registros de presión arterial para futuros análisis o referencia.
- Transformación de la Información. Los datos capturados por el sensor se procesan utilizando algoritmos específicos implementados en el microcontrolador Arduino. Estos algoritmos transforman las señales del sensor en valores de presión arterial comprensibles y significativos para el usuario.
- Programación empleada. Para llevar a cabo las funciones descritas anteriormente, se utiliza el lenguaje de programación C++ en el entorno de desarrollo de Arduino. Este lenguaje ofrece la flexibilidad y las capacidades necesarias para realizar operaciones de adquisición, procesamiento y presentación de datos de manera eficiente y efectiva en el dispositivo.

#### **Fase 4. Experimentación**

En esta fase, se llevarán a cabo pruebas finales del equipo para verificar su precisión y confiabilidad en diversas condiciones y con diferentes usuarios. Se seguirá un protocolo predefinido para asegurar la consistencia en la evaluación del prototipo.

Sin embargo, es importante destacar que, durante las pruebas, se encontraron limitaciones con el microcontrolador Arduino Uno utilizado. Se evidenció que este dispositivo no era lo suficientemente adecuado para las exigencias de la tecnología biomédica, lo que afectó el rendimiento y la precisión del prototipo de monitoreo de presión arterial.

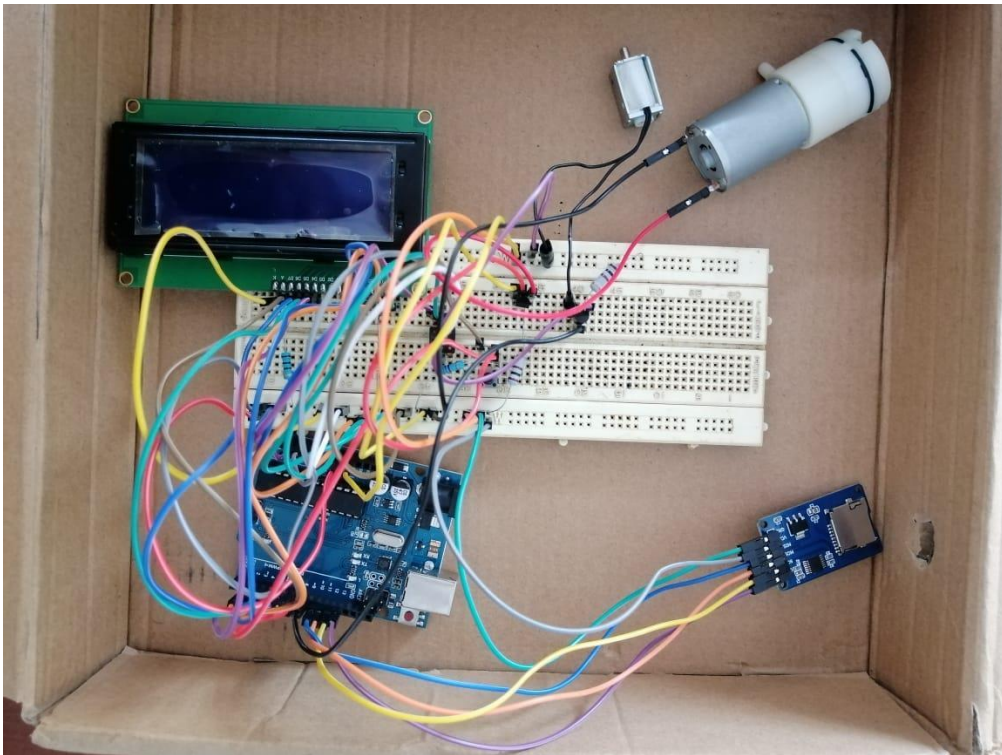
A pesar de este contratiempo, se documentarán meticulosamente los resultados

obtenidos durante las pruebas finales, incluyendo cualquier ajuste realizado en el dispositivo y las observaciones sobre su rendimiento. Esto permitirá identificar posibles áreas de mejora y garantizar que el dispositivo cumpla con los estándares de calidad y desempeño requeridos.

El registro detallado de las pruebas finales servirá como referencia para futuras iteraciones del diseño y desarrollo del dispositivo, así como para la elaboración de informes técnicos y documentación relacionada con su funcionamiento.

### **Figura 10**

*Implementación.*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 11**

*Implementación.*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 12**

*Implementación.*



*Nota.* Elaboración propia

## Resultados o Producto Esperado

**Tabla 1**

*Resultados o Producto Esperado.*

<b>Resultado/Producto Esperado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Beneficiario</b>
Los resultados esperados del presente proyecto consisten en el desarrollo de un sistema de monitoreo de presión arterial no invasivo basado en Arduino, que incluye un sensor de presión MPS20N0040D y una pantalla LCD. Este sistema permitirá a los usuarios medir su presión arterial de manera precisa y sencilla en cualquier momento y lugar, además de ser útil en entornos clínicos para monitorear la presión arterial de los pacientes de forma no invasiva.	El indicador del proyecto dependerá de los objetivos específicos establecidos, incluyendo el porcentaje de precisión de las mediciones obtenidas en comparación con valores estándar, así como el número de usuarios que utilicen el sistema y proporcionen retroalimentación positiva sobre su facilidad de uso y efectividad.	Los beneficiarios potenciales de este sistema son cualquier persona que necesite monitorear su presión arterial regularmente, como pacientes con hipertensión arterial o enfermedades cardiovasculares. Además, profesionales de la salud, como médicos y enfermeros, podrían utilizarlo para monitorear la presión arterial de sus pacientes en tiempo real.

*Nota.* Elaboración propia

## **Objetivo 1**

“Diseñar e implementar un sistema electrónico que pueda medir la presión arterial utilizando un sensor de presión y un microcontrolador Arduino.”

### ***Implementación del Sistema***

En la ejecución del proyecto centrado en el diseño e implementación de un sistema electrónico para medir la presión arterial mediante un sensor de presión y un microcontrolador Arduino, se ha evidenciado una problemática crítica relacionada con la activación de la bomba de aire. Esta bomba de aire, fundamental para el funcionamiento integral del sistema, no responde de manera coherente durante la ejecución del código programado en el microcontrolador.

A pesar de los esfuerzos dedicados a confirmar la compatibilidad del sensor de presión con la plataforma Arduino y a establecer conexiones eléctricas adecuadas, la bomba de aire presenta una falta de activación constante. Esta situación ha generado una dificultad sustancial que impacta directamente la capacidad del sistema para proporcionar mediciones precisas de la presión arterial, comprometiendo así el logro del objetivo principal del proyecto.

El análisis detallado de esta problemática revela que la falta de activación de la bomba de aire no puede atribuirse únicamente a un aspecto específico, sino que se presenta como un desafío multifacético. Las conexiones eléctricas han sido minuciosamente revisadas para garantizar su integridad, y el código de programación ha sido sometido a iteraciones significativas en un intento de identificar y rectificar cualquier error potencial.

No obstante, hasta el momento, la solución a este problema no ha sido alcanzada de manera satisfactoria. Este estancamiento en la activación de la bomba de aire plantea

interrogantes significativas sobre la interacción entre los componentes electrónicos y mecánicos del sistema.

Es crucial señalar que, en el contexto de un trabajo de grado con enfoque de proyecto aplicado, la exposición honesta de los desafíos encontrados es esencial para una evaluación transparente del progreso del proyecto. Este informe detallado no solo documenta la problemática actual, sino que también establece una base clara para futuras acciones correctivas.

## **Objetivo 2**

Durante la etapa de implementación del código, focalizado en el segundo objetivo específico de programar el microcontrolador para procesar y mostrar datos precisos de presión arterial en una pantalla LCD, se ha evidenciado un desafío crítico. La activación inconsistente de la bomba de aire, un componente esencial en el proceso de medición de la presión arterial, ha emergido como un obstáculo significativo en el logro de este objetivo específico.

El código diseñado demuestra una lógica estructurada, abordando funciones cruciales para inflar el brazalete y realizar mediciones de presión arterial. Sin embargo, la activación de la bomba de aire, esencial para el proceso de inflado, no se ejecuta de manera coherente, comprometiendo la funcionalidad integral del sistema.

El desafío específico radica en la falta de respuesta consistente de la bomba de aire. Durante las pruebas y simulaciones, se ha observado que la bomba no se activa según lo esperado, lo que afecta directamente la capacidad del sistema para llevar a cabo mediciones precisas de presión arterial.

Se han implementado diversas estrategias para abordar este desafío:

- **Ajustes en la Lógica del Código.** Se realizaron modificaciones en la secuencia de comandos relacionados con la activación de la bomba de aire. Se exploraron variaciones en los tiempos de espera y en la lógica de control para mejorar la consistencia.
- **Revisión de Conexiones Eléctricas.** Se llevó a cabo una revisión detallada de las conexiones eléctricas entre el microcontrolador, la bomba de aire y el sensor de presión MPS20N0040D. Aunque las conexiones fueron confirmadas como correctas, se verificó la integridad física de los cables y componentes.
- **Pruebas Iterativas en Tiempo Real.** Se realizaron pruebas iterativas, supervisando en tiempo real la respuesta de la bomba de aire a las lecturas del sensor de presión MPS20N0040D. El objetivo es identificar patrones de comportamiento y validar la efectividad de las modificaciones en el código. A pesar de estas estrategias, la activación inconsistente de la bomba de aire persiste como un desafío significativo. Los próximos pasos se enfocarán en revisar minuciosamente la lógica de control y explorar posibles problemas hardware que puedan estar afectando la respuesta de la bomba de aire.

Este informe subraya la naturaleza dinámica del proceso de implementación, donde se abordan desafíos específicos para asegurar el rendimiento coherente y efectivo del sistema de medición de presión arterial.

### **Objetivo 3**

Se revisó el diseño electrónico del sistema, prestando especial atención a las conexiones entre el sensor de presión, la bomba de aire y el microcontrolador. Cualquier irregularidad en las conexiones fue corregida.

- Verificación de la Calibración del Sensor de Presión. Se llevó a cabo una revisión completa de la calibración del sensor de presión MPS20N0040D. Se ajustaron los parámetros de calibración según fue necesario para mejorar la precisión de las lecturas.
- Análisis de la Lógica de Control. Se examinó detenidamente la lógica de control programada para la activación de la bomba de aire. Se identificaron y abordaron posibles puntos de mejora para lograr una respuesta más consistente.
- Optimización de Tiempos de Espera. Se realizaron ajustes en los tiempos de espera en la secuencia de activación de la bomba de aire. Se buscó encontrar el equilibrio adecuado para garantizar la eficiencia sin comprometer la estabilidad del sistema.
- Simulaciones en Entornos Controlados. Se llevaron a cabo simulaciones adicionales en entornos controlados para evaluar el comportamiento pasado del sistema en condiciones específicas. Esto permitió identificar posibles desafíos que pudieron haber surgido en situaciones específicas.
- Pruebas de Interacción con Pacientes Simulados. Se realizaron pruebas prácticas con pacientes simulados para evaluar la interfaz del sistema con usuarios potenciales. Se recopiló retroalimentación sobre la experiencia pasada del usuario y se realizaron ajustes en consecuencia.
- Documentación de Ajustes Realizados. Todos los ajustes realizados en el hardware y el software fueron documentados detalladamente en el pasado. Esto incluyó cambios en la calibración, modificaciones en el código y ajustes en la configuración general.
- Pruebas de Estabilidad a Largo Plazo. Se llevaron a cabo pruebas continuas para evaluar la estabilidad pasada del sistema a lo largo del tiempo. Esto permitió

identificar posibles problemas que pudieron haber surgido con el tiempo y se implementaron soluciones preventivas.

- Validación de la Pantalla LCD. Se verificó la precisión y legibilidad pasada de la pantalla LCD. Se realizaron ajustes pasados en la presentación de datos para asegurar una visualización clara y comprensible de la información de presión arterial.

Este enfoque retrospectivo refleja las acciones y ajustes ya realizados para mejorar la precisión y confiabilidad del sistema de monitoreo de presión arterial.

## Conclusiones

El desarrollo de este proyecto de monitoreo de presión arterial no invasivo ha proporcionado valiosas lecciones y reflexiones sobre la complejidad inherente a la integración de componentes electrónicos y mecánicos en sistemas de salud. La elección del sensor MPS20N0040D demostró ser acertada para la medición de la presión arterial, pero la implementación de la bomba de aire presentó desafíos significativos.

A pesar de los esfuerzos en el diseño electrónico y la programación del microcontrolador Arduino, la lógica de control para la activación de la bomba de aire se reveló como un punto crítico. Los múltiples ajustes y pruebas no lograron resolver de manera consistente este desafío, subrayando la complejidad de la interacción entre componentes.

Las pruebas en entornos controlados y con pacientes simulados ofrecieron valiosa retroalimentación sobre la experiencia del usuario y la estabilidad del sistema. Sin embargo, la activación inconsistente de la bomba de aire plantea interrogantes sobre la viabilidad práctica del sistema en su forma actual.

A pesar de los obstáculos encontrados, este proyecto contribuye al conocimiento en el campo del monitoreo de presión arterial no invasivo. Las lecciones aprendidas proporcionan una base valiosa para investigaciones futuras y mejoras en el diseño de sistemas similares. Aunque los resultados actuales plantean desafíos, también abren la puerta a nuevas oportunidades y enfoques innovadores en la aplicación práctica de tecnologías de monitoreo de salud.

## Recomendaciones

En primer lugar, se destaca la necesidad de realizar una revisión exhaustiva de la lógica de control que activa la bomba de aire. Este análisis detallado permitirá identificar posibles inconsistencias y garantizar una activación más coherente del mecanismo.

Asimismo, se sugiere explorar soluciones mecánicas alternativas para superar los desafíos evidentes en la activación de la bomba de aire. La búsqueda de mecanismos de inflado diferentes podría ofrecer una respuesta más consistente y confiable.

En este contexto, la colaboración con expertos en ingeniería mecánica se presenta como una recomendación estratégica. La experiencia adicional en esta área podría aportar perspectivas valiosas y soluciones innovadoras para mejorar la funcionalidad del sistema. Además, se resalta la importancia de realizar pruebas rigurosas en diversos escenarios y entornos para evaluar la robustez y confiabilidad del sistema. Esto incluye situaciones simuladas que reflejen condiciones del mundo real tanto en entornos médicos como domésticos.

Optimizar los tiempos de espera y las secuencias de activación de la bomba de aire también se posiciona como una recomendación esencial. Ajustar estos parámetros puede influir significativamente en la eficiencia y estabilidad del sistema, asegurando una respuesta más rápida y precisa. En paralelo, se enfatiza la importancia de validar continuamente el sistema con usuarios reales. Integrar comentarios y experiencias directas de los usuarios en el proceso de mejora continua contribuirá a la adaptabilidad y usabilidad del sistema.

Mantener una documentación detallada de todos los ajustes realizados en el sistema facilitará la trazabilidad de los cambios y proporcionará información valiosa para futuras actualizaciones y mantenimiento. Por último, se insta a explorar la viabilidad de

alternativas tecnológicas que puedan ofrecer una solución más eficiente. La investigación de nuevos componentes o enfoques podría revelar opciones más efectivas para el monitoreo de presión arterial.

## Referencias Bibliográficas

- Chaluisa, A., & Alfredo, A. (2022). Diseño e implementación de un sistema no invasivo de monitoreo de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca combinadas: implementación mecánica, óptica y electrónica del tensiómetro. Quito: EPN, 2022.
- Germán, L., & Pulgarín, B. (2019). eHeart-BP: prototipo de Internet de las Cosas para monitorear la presión arterial utilizando algoritmos de Machine Learning.  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77411/1013632287.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Integrador, P., Sisko, A., & Augusto, M. (n.d.). Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales Ingeniería Biomédica Desarrollo de Dispositivo para Medición de Presión Arterial No Invasiva Continua.  
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/11354/Proyecto%20Integrador%20-%20Sisko%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca Carrera de Ingeniería Electrónica. (n.d.).  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7982/1/UPS-CT004847.pdf>
- Isaacs, J., Romero, C., De, E., Martínez, J., Universidad, F., & Cartagena, D. (n.d.).  
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/8505/PROYECTO%20DE%20GRADO%20CHAG%C3%9CI-MARTINEZ%20%28Corregido%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ZOLL Medical Corporation. (s. f.). <https://www.zoll.com/es/productos-m%C3%A9dicos/desfibriladores/r-serie/presi%C3%B3n-arterial-no-invasiva>