



DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA VISUALIZACION DE VENAS DE BAJO COSTO.

Autores:

Laura Valentina Henríquez Ortega, Leidy Carolina Jiménez Suarez, Julieth Vanessa Pava Fritz.

Trabajo de grado como prerrequisito como obtención del grado tecnólogo electromédico.

Director:

Javier Burgos

Facultad de Ingenierías.

Programa de Ingeniería Biomédica.

Barranquilla 2025.

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un dispositivo de bajo costo para la visualización no invasiva de venas, destinado a facilitar procedimientos clínicos como la venopunción, especialmente en pacientes con difícil acceso venoso; ya que es una de las prácticas más comunes dentro de la atención médica, y a menudo se ve dificultado por condiciones clínicas del paciente como obesidad, deshidratación o edad avanzada. La dificultad para localizar venas no solo incrementa el tiempo del procedimiento, sino que también genera molestias en el paciente y aumenta el riesgo de complicaciones. Ante esta problemática, el presente proyecto propone el diseño de un dispositivo biomédico de bajo costo para la visualización superficial de venas, que sirva como apoyo al personal de salud durante procedimientos como la venopunción, la canalización intravenosa y otros procesos clínicos similares.

El dispositivo está basado en el principio de absorción diferencial de luz infrarroja cercana (NIR), la cual atraviesa la piel y es absorbida en mayor medida por la hemoglobina contenida en la sangre. Esta propiedad permite distinguir claramente los vasos sanguíneos del tejido

circundante mediante una cámara o sensor óptico, que captura la imagen y la muestra en tiempo real. La estructura del dispositivo combina componentes electrónicos económicos, como diodos emisores de luz NIR, microcontroladores, pantallas y sensores de imagen, asegurando una solución funcional, portátil y fácil de ensamblar.

Además, se incorporan algoritmos básicos de procesamiento de imagen para mejorar el contraste y facilitar la identificación de las venas. El enfoque del proyecto se centra en la

accesibilidad y en la adaptación a contextos de recursos limitados, como hospitales públicos, centros rurales o instituciones educativas. A través de este desarrollo, se busca aportar una [escribir esta frase en voz pasiva impersonal para que suene más formal]

herramienta eficaz y accesible para el sector salud, mejorando la precisión de los procedimientos médicos y reduciendo el malestar del paciente.

Palabras claves:

- Visualización de venas
- Dispositivo médico
- Luz infrarroja cercana
- Bajo costo
- Tecnología biomédico
- Venopunción
- Procesamiento de imágenes

Abstract

This project aims to design and develop a low-cost, non-invasive device for the visualization of veins, intended to support clinical procedures such as venipuncture, particularly in patients with difficult venous access. Venipuncture is one of the most common medical practices, yet it is often complicated by patient-specific factors such as obesity, dehydration, or advanced age. These challenges not only increase the duration of procedures but also cause patient discomfort and elevate the risk of complications.

The proposed device utilizes the principle of near-infrared (NIR) light differential absorption, which allows hemoglobin in the blood to absorb more light than surrounding tissues.

This enables clear identification of blood vessels using an optical sensor or camera that captures and displays the image in real time. The system integrates affordable electronic components, such as NIR LEDs, microcontrollers, display screens, and basic image sensors, to ensure functionality, portability, and ease of assembly.

In addition, basic image processing algorithms are implemented to enhance contrast and facilitate vein detection. The project's main focus is accessibility, aiming to provide a

practical and affordable tool for healthcare environments with limited resources, including public hospitals, rural health centers, and educational institutions. Ultimately, this development seeks to improve the efficiency and accuracy of medical procedures while reducing patient discomfort.

- Keywords
- Vein visualization
- Medical device
- Near-infrared light
- Low-cost technology
- Biomedical engineering
- Venipuncture
- Image processing

Tabla de contenido

Introducción.....	8
Planteamiento del problema.....	9
Justificaci3n.....	13
Objetivos	17
Marco te3rico.....	17
Marco metodol3gico.....	39
Dise1o general del prototipo.....	45
Metodolog3a.....	52
Materiales y componentes	55
Funcionamiento general	62
An3lisis comparativo entre el prototipo y dispositivos comerciales	66
Conclusi3n.....	67
Refrencias.....	68

Lista de tablas

Tabla 1	32
Tabla 2	33
Tabla 3	66

Lista de figuras

Figura 1	46
Figura 2	46
Figura 3	47
Figura 4	48
Figura 6	49
Figura 7	49
Figura 8	50
Figura 9	50
Figura 10	51
Figura 12	53
Figura 13	53
Figura 14	54
Figura 15	54
Figura 16	55
Figura 17	56
Figura 18	56
Figura 19	57
Figura 20	57
Figura 21	58
Figura 22	58
Figura 23	63
Figura 24	64
Figura 25	65

Introducción

En el entorno clínico contemporáneo, los procedimientos relacionados con el acceso venoso representan una de las intervenciones más frecuentes y fundamentales en la atención médica diaria. Actividades como la venopunción, la administración de medicamentos intravenosos, la hidratación parenteral, la toma de muestras sanguíneas y la colocación de catéteres requieren una identificación precisa y oportuna del sistema venoso periférico. A pesar de la aparente simplicidad de esta tarea, en la práctica médica cotidiana se presentan múltiples retos que dificultan el acceso venoso, lo cual puede derivar en retrasos en la atención, aumento del malestar en el paciente e incluso en complicaciones clínicas. Esta dificultad se incrementa especialmente en pacientes pediátricos, personas de edad avanzada, individuos con sobrepeso, deshidratación severa o con enfermedades que alteran la visibilidad y accesibilidad vascular.

La localización incorrecta o repetitiva de venas puede tener consecuencias negativas tanto en la experiencia del paciente como en la eficiencia del personal de salud. Estudios recientes evidencian que en un porcentaje significativo de los casos, los profesionales deben realizar más de una punción para lograr un acceso efectivo, lo que genera ansiedad, dolor, pérdida de tiempo clínico y un uso innecesario de insumos. En entornos hospitalarios de alta demanda o en zonas rurales con recursos limitados, estas fallas se intensifican, dejando al descubierto

una brecha en la equidad del acceso a tecnologías médicas que faciliten este tipo de procedimientos. Esta problemática pone en evidencia la necesidad de implementar soluciones tecnológicas accesibles, adaptables y asequibles que mejoren la visualización del sistema vascular superficial.

Planteamiento del problema

En la actualidad, el acceso venoso es uno de los procedimientos más comunes y fundamentales en la atención médica, siendo indispensable para la administración de medicamentos, soluciones intravenosas, toma de muestras sanguíneas y otros procedimientos diagnósticos o terapéuticos. Sin embargo, en muchos casos, el acceso a las venas puede ser difícil, particularmente en pacientes pediátricos, personas con obesidad, adultos mayores, individuos deshidratados o pacientes con enfermedades vasculares periféricas. Esta dificultad genera múltiples intentos fallidos de punción, aumentando el dolor y la incomodidad del paciente, así como el tiempo requerido para completar el procedimiento.

Existen en el mercado dispositivos clínicos de alta tecnología diseñados para facilitar la visualización de venas, tales como escáneres de luz infrarroja, dispositivos de imagen térmica, y tecnologías basadas en realidad aumentada. Estos equipos permiten visualizar la red venosa superficial del paciente en tiempo real, facilitando una punción más rápida y precisa. Sin embargo, su adopción ha sido limitada debido a diversos factores, siendo el principal de ellos el elevado costo económico de adquisición, operación y mantenimiento. Muchos de estos dispositivos superan los miles de dólares, lo cual resulta inviable para instituciones públicas de salud con presupuestos reducidos.

Esta problemática es especialmente crítica en zonas rurales, hospitales de baja complejidad, clínicas comunitarias y centros de formación académica en países en vías de desarrollo. En estos contextos, el personal de salud suele carecer de herramientas tecnológicas adecuadas para optimizar sus procedimientos clínicos, lo que no solo impacta la calidad de la atención, sino que incrementa el riesgo de complicaciones médicas como flebitis, hematomas, infecciones, y estrés innecesario en el paciente. La falta de una solución accesible también afecta

negativamente la formación práctica de estudiantes de carreras biomédicas, quienes enfrentan dificultades para aprender y ejecutar procedimientos de venopunción sin una guía visual adecuada.

Adicionalmente, los dispositivos disponibles suelen requerir condiciones técnicas complejas para su funcionamiento, como conectividad a redes de datos, fuentes de energía eléctrica constante, software especializado y personal capacitado en su uso y mantenimiento. Estas condiciones no siempre están disponibles, especialmente en entornos con infraestructura limitada o en unidades móviles de atención de emergencias. Esto representa una limitación importante para garantizar una atención equitativa y de calidad en todos los niveles del sistema de salud.

Otra limitación relevante es que muchas de las tecnologías comerciales actuales están basadas en software propietario, lo que impide su personalización, mantenimiento autónomo o adaptación a condiciones locales. Esta dependencia tecnológica genera un costo adicional a largo plazo y dificulta su integración en sistemas educativos o en centros de salud con recursos limitados.

En respuesta a este problema, surge la necesidad de diseñar un dispositivo biomédico de bajo costo que permita la visualización de venas superficiales mediante un enfoque no invasivo y accesible. Este dispositivo debe utilizar tecnologías asequibles, como la luz infrarroja cercana (NIR), y combinarse con sistemas de procesamiento de imagen y microcontroladores de código abierto, con el fin de garantizar su adaptabilidad, portabilidad y facilidad de uso. Asimismo, debe diseñarse con un enfoque centrado en el usuario, garantizando que su operación no requiera conocimientos técnicos avanzados, permitiendo que tanto profesionales de la salud como estudiantes puedan utilizarlo con facilidad.

El planteamiento de este proyecto cobra mayor relevancia si se considera el contexto postpandemia, en el que los sistemas de salud han enfrentado una saturación de servicios y una creciente demanda de tecnologías médicas eficientes y accesibles. Las instituciones buscan cada vez más soluciones innovadoras que puedan escalarse a gran escala, y que no dependan de costosos procesos de importación o mantenimiento externo. Además, la necesidad de reducir el tiempo de atención por paciente y evitar procedimientos innecesarios se ha convertido en una prioridad estratégica para los servicios de salud.

Por lo tanto, el problema central que aborda esta investigación no solo tiene implicaciones técnicas, sino también sociales, éticas y educativas. Diseñar un dispositivo de bajo costo para la visualización venosa puede significar una mejora directa en la calidad del servicio de salud, una reducción de los errores médicos relacionados con la venopunción, Una disminución del sufrimiento innecesario en los pacientes, y un apoyo didáctico para los estudiantes de medicina y carreras afines.

En este sentido, la investigación parte de la premisa de que es técnicamente viable construir un sistema funcional y confiable basado en componentes económicos y tecnologías de libre acceso, como sensores ópticos, microcontroladores tipo Arduino, diodos emisores de luz infrarroja y pantallas de visualización. Se postula que mediante un diseño centrado en el usuario, un ensamblaje eficiente y una programación optimizada, es posible lograr una alternativa viable a los costosos dispositivos comerciales existentes.

El presente estudio pretende entonces aportar una solución concreta y tangible a una necesidad ampliamente identificada en el sector salud: facilitar la visualización de venas de forma eficiente, segura y económica. A través del desarrollo de este dispositivo, se busca impactar positivamente en los procesos clínicos, en la formación académica, y en la democratización de

tecnologías médicas útiles, especialmente en contextos de alta vulnerabilidad socioeconómica.

Esta problemática no ha sido completamente resuelta por el mercado actual, lo cual valida la pertinencia y oportunidad del proyecto. Aunque existen investigaciones previas y algunos prototipos desarrollados en entornos académicos, pocos de ellos han sido pensados desde una perspectiva de escalabilidad, sostenibilidad y accesibilidad real en escenarios de bajos recursos. Por ello, esta investigación propone un enfoque integral, que no solo aborde el diseño técnico del dispositivo, sino que contemple también su viabilidad práctica, aceptabilidad por parte de los usuarios, y potencial de implementación a gran escala en sistemas de salud de diferentes niveles.

Finalmente, este trabajo se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente con objetivo "Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades", "Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación". La innovación tecnológica accesible en salud representa un pilar fundamental para la equidad en la atención médica, y el desarrollo de este dispositivo busca precisamente reducir las brechas existentes, contribuir a la mejora continua del sistema sanitario y fomentar una cultura de innovación responsable y con propósito social.

Actualmente, existen en el mercado dispositivos avanzados para la visualización de venas, como escáneres infrarrojos o tecnologías basadas en realidad aumentada. No obstante, su elevado costo, complejidad técnica y dependencia de software propietario limitan su adopción en hospitales públicos, centros de salud de primer nivel, zonas rurales o instituciones educativas donde se forman profesionales en el área biomédica. La falta de disponibilidad de estos dispositivos en lugares con escasos recursos materiales y humanos agrava el problema del acceso venoso complicado, provocando consecuencias clínicas metodonegativas, insatisfacción del paciente y sobrecarga en el personal sanitario.

Justificaciónn

La investigación y desarrollo de un dispositivo para la visualización de venas basado en tecnología de bajo costo tiene una justificación sólida tanto en términos clínicos como sociales, educativos y tecnológicos. Desde la perspectiva clínica, representa una herramienta que puede mejorar significativamente la calidad del cuidado médico, al permitir procedimientos más rápidos, precisos y menos invasivos. Al facilitar la identificación de sistema vascular, se reducen las punciones fallidas, se optimizan los tiempos de atención y se disminuye el uso innecesario de materiales, lo que tiene un impacto directo en la eficiencia operativa de los servicios de salud. Esto es especialmente importante en procedimientos repetitivos como la venopunción, donde el acceso venoso complicado puede provocar múltiples intentos fallidos, incremento en el dolor del paciente, y aumento de riesgo de infecciones o hematomas.

Desde el punto de vista social, la propuesta se alinea con los objetivos de equidad en el acceso a la salud. Al tratarse de un desarrollo económico y replicable, el dispositivo podría implementarse en instituciones con recursos limitados, zonas rurales o regiones donde las Condiciones económicas impiden la adquisición de equipos de alta gama. Su aplicabilidad no se limita solo a hospitales, sino que también puede extenderse a brigadas de salud, centros de primeros auxilios, instituciones educativas técnicas y universidades, ampliando así su impacto y pertinencia. En regiones alejadas de los grandes centros urbanos, donde los

hospitales carecen de equipamiento avanzado, este tipo de solución permitiría brindar una atención más digna, rápida y eficiente a pacientes en situación de vulnerabilidad.

El acceso desigual a la tecnología médica constituye una de las barreras más significativas en la prestación de servicios de salud de calidad en países en desarrollo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha señalado repetidamente la necesidad de fomentar el desarrollo de

tecnologías apropiadas y sostenibles que respondan a las realidades locales. En este sentido, la creación de un dispositivo de visualización de venas de bajo costo responde de manera directa a este llamado, integrando innovación con responsabilidad social, y proponiendo una herramienta que podría escalarse en diferentes niveles del sistema de salud.

En el ámbito educativo, el proyecto también tiene una función didáctica, ya que permite el acercamiento de estudiantes de ingeniería biomédica, electrónica, medicina y enfermería a soluciones tecnológicas reales, fomentando la innovación, el aprendizaje práctico y el enfoque en problemas concretos del entorno. El diseño modular y abierto del dispositivo, además, facilita su adaptación a futuras mejoras o investigaciones. Esto lo convierte no solo en una herramienta clínica, sino también en una plataforma pedagógica para el desarrollo de habilidades técnicas, pensamiento crítico y creatividad en los estudiantes.

La formación en carreras del área de la salud requiere no solo de fundamentos teóricos, sino también del contacto con herramientas prácticas que simulen de manera efectiva los desafíos del entorno hospitalario. Contar con dispositivos de apoyo que permitan la simulación y práctica segura de procedimientos como la venopunción tiene un valor incalculable para la formación académica. Además, el uso de tecnologías accesibles promueve la inclusión de estudiantes y profesionales en contextos donde el acceso a laboratorios completamente equipados no es posible.

Desde la ingeniería, el desarrollo de este dispositivo es una oportunidad para integrar conocimientos en optoelectrónica, diseño de hardware, programación de microcontroladores y procesamiento digital de imágenes, todo aplicado al contexto biomédico. Esta interdisciplinariedad fortalece la formación de profesionales capaces de diseñar soluciones tecnológicas con enfoque social, alineadas con los principios de sostenibilidad y accesibilidad. El trabajo conjunto entre disciplinas permite aprovechar al máximo las capacidades tecnológicas actuales, adaptándolas a fines humanitarios.

El proceso de diseño de este tipo de tecnología fomenta además el aprendizaje activo en áreas emergentes como la computación física, el diseño de sistemas embebidos, y el desarrollo de soluciones personalizadas para contextos específicos. El empleo de herramientas como plataformas de código abierto (Arduino, Raspberry Pi), sensores NIR, algoritmos de visión por computador, entre otros, brinda la posibilidad de desarrollar prototipos funcionales de forma accesible, impulsando la creatividad y el sentido de pertenencia hacia el proyecto por parte de los involucrados.

Desde una perspectiva económica, el proyecto también ofrece ventajas significativas. La creación de un dispositivo de bajo costo basado en tecnologías libres y componentes ampliamente disponibles permite disminuir los gastos asociados a adquisición de tecnología médica importada, mantenimiento especializado y capacitación técnica exclusiva. Además, abre la posibilidad de generar capacidades locales para la producción, mantenimiento y mejora del dispositivo, lo cual puede fortalecer las economías regionales y fomentar el desarrollo tecnológico nacional.

El impacto potencial de este dispositivo trasciende incluso el entorno médico. Su implementación puede servir como punto de partida para el desarrollo de otros dispositivos biomédicos accesibles, lo que contribuiría a crear un ecosistema de innovación orientado a la resolución de problemas de salud pública mediante herramientas tecnológicas apropiadas.

Este modelo puede replicarse en diferentes regiones del país y del continente, adaptándose a las necesidades particulares de cada entorno.

Desde el punto de vista ético, este proyecto se inscribe en la noción de justicia sanitaria y democratización del conocimiento. Proporcionar herramientas que permitan a todos los pacientes

recibir una atención más digna, precisa y segura responde al principio de equidad.

Asimismo, promover la capacitación de estudiantes con tecnologías abiertas y replicables refuerza el compromiso de las instituciones académicas con la formación integral y con sentido social.

Por otra parte, el dispositivo también puede contribuir a la reducción del estrés laboral en el personal de salud, al disminuir la frustración y la carga emocional asociada a intentos fallidos de punción venosa. Este aspecto, aunque pocas veces visibilizado, tiene un impacto directo en la calidad del ambiente laboral y en la salud mental de los profesionales que trabajan en contextos de alta demanda.

Finalmente, este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, especialmente el ODS 3 (Salud y Bienestar) y el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura). La propuesta se presenta como una solución concreta a una necesidad prioritaria del sistema de salud, construida desde una mirada interdisciplinaria, sostenible y orientada al impacto social.

El diseño de un dispositivo para la visualización de venas de bajo costo no solo responde a una necesidad médica tangible, sino que también representa un aporte relevante a la democratización del acceso a la tecnología en salud, a la mejora de la práctica clínica cotidiana y a la formación de profesionales comprometidos con la solución de problemas reales en contextos vulnerables. Este proyecto tiene la capacidad de incidir positivamente en múltiples niveles del ecosistema sanitario y educativo, ofreciendo una solución práctica, viable y replicable, con un alto potencial de transformación social.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un dispositivo de bajo costo para la visualización de venas que facilite procedimientos médicos como la punción venosa, mejorando la precisión y reduciendo el número de intentos fallidos.

Objetivos específicos

Investigar y seleccionar tecnologías adecuadas (como infrarrojos, luz LED o imágenes térmicas) para la detección de venas en diferentes tipos de piel.

Crear el circuito electrónico y diseño del dispositivo mediante software garantizando su bajo costo.

Desarrollar el diseño del brazalete mediante pruebas computacionales para garantizar su funcionalidad y ergonomía.

Marco teórico

La necesidad de desarrollar tecnologías médicas que apoyen al personal clínico en procedimientos rutinarios, como la venopunción, ha motivado múltiples investigaciones en los últimos años. La venopunción, aunque común, puede volverse un procedimiento complejo en ciertos grupos poblacionales, como niños, adultos mayores, personas con obesidad o condiciones de salud específicas como deshidratación o venas colapsadas. En este contexto, los dispositivos para la visualización de venas representan una herramienta crucial para mejorar la precisión y reducir complicaciones.

Dispositivos comerciales como el AccuVein AV400, desarrollado por la empresa estadounidense AccuVein Inc., utilizan luz infrarroja cercana (NIR) para proyectar en tiempo real una imagen de las venas sobre la piel del paciente, facilitando su localización (AccuVein Inc., 2023). No obstante, el alto costo de estos dispositivos, que puede superar los 4.000 dólares, representa una barrera significativa para su adopción en entornos con recursos limitados, especialmente en regiones de América Latina, África y Asia. Aunque estos dispositivos ofrecen una visualización de alta precisión, requieren mantenimiento especializado y formación técnica, lo que complica su implementación en zonas rurales o en hospitales de baja complejidad.

En respuesta a esta limitación, diversos grupos de investigación han explorado alternativas de bajo costo que permitan alcanzar resultados similares. Por ejemplo, Prajapati et al. (2020) desarrollaron un sistema básico para la detección de venas utilizando diodos emisores de luz infrarroja, una cámara digital adaptada y algoritmos de procesamiento de imágenes, obteniendo resultados prometedores a un costo inferior a los 100 dólares. Su prototipo fue probado en distintos tipos de piel y mostró una alta tasa de detección de venas superficiales, incluso en condiciones de baja iluminación, lo que refuerza la viabilidad de este enfoque en entornos hospitalarios con infraestructura limitada.

Por su parte, Sivakumar et al. (2021) diseñaron un prototipo empleando Raspberry Pi, una cámara IR y procesamiento en tiempo real. Su propuesta estuvo orientada hacia la creación de una solución portátil y económica que pudiera ser utilizada tanto en hospitales como en unidades móviles de atención primaria. El uso de procesamiento digital de imágenes permitió ajustar el contraste de la imagen en tiempo real, mejorando la visualización de venas incluso en pacientes con características vasculares poco evidentes.

En el ámbito latinoamericano, González y Rivas (2019) presentaron un estudio enfocado en la creación de un visualizador de venas utilizando componentes electrónicos de fácil adquisición como Arduino, LED NIR y una cámara USB. Su investigación evidenció la viabilidad de crear un dispositivo funcional con materiales accesibles, destacando la importancia de democratizar el acceso a la tecnología médica. Además, propusieron una interfaz gráfica sencilla que permitiera ajustar el brillo y el contraste de la imagen, facilitando su uso por parte del personal médico con diferentes niveles de experiencia en tecnologías biomédicas.

La mayoría de los proyectos comparten características comunes: uso de luz infrarroja, sensores ópticos económicos, microcontroladores de bajo costo y algoritmos básicos de procesamiento digital de imágenes. Esto refleja una tendencia creciente hacia la innovación abierta, el desarrollo con recursos limitados y la reutilización de tecnologías existentes para resolver problemas locales en salud. Esta tendencia también se alinea con el enfoque de diseño centrado en el usuario, que busca crear soluciones adaptadas a las necesidades reales del entorno en el que se implementan.

Adicionalmente, se ha observado un aumento en el interés por desarrollar tecnologías médicas de bajo costo bajo esquemas de código abierto. Plataformas como GitHub y foros especializados como Hackster.io albergan múltiples proyectos colaborativos donde se comparten diseños, esquemas electrónicos, códigos de programación y guías de ensamblaje para dispositivos de visualización de venas. Estas iniciativas permiten que cualquier persona con conocimientos básicos en electrónica y programación pueda replicar, modificar o mejorar los diseños existentes, fomentando la participación activa de estudiantes, docentes y profesionales en el proceso de innovación. Por otro lado, investigaciones como las de Morales et al. (2022) han integrado tecnologías emergentes como la visión por computador y la inteligencia artificial (IA) en la

identificación automática de patrones vasculares. Su propuesta consistió en utilizar un modelo de red neuronal convolucional (CNN) entrenado para identificar venas en imágenes capturadas por cámaras NIR. Aunque su implementación aún requiere recursos computacionales más avanzados, abre la puerta a futuras aplicaciones clínicas donde el análisis automatizado complemente la capacidad de diagnóstico y localización del personal médico.

En el contexto colombiano, Arango y Mendoza (2021) realizaron una investigación aplicada con estudiantes de ingeniería biomédica, desarrollando un sistema de visualización de venas como parte de su proyecto de grado. Su dispositivo integraba una cámara adaptada a un filtro infrarrojo y un módulo de procesamiento de imagen en una placa Arduino Mega. Uno de los aspectos destacados de su proyecto fue la evaluación comparativa del dispositivo frente a métodos convencionales, demostrando una mejora significativa en la precisión de punciones venosas en simuladores de piel humana.

Estos antecedentes evidencian que, aunque existen soluciones comerciales efectivas, su alto costo y requerimientos técnicos excluyen a una parte significativa del sistema de salud global.

La investigación académica y el desarrollo de prototipos accesibles demuestran que es posible construir soluciones tecnológicas funcionales con bajo presupuesto, siempre que se combinen conocimientos en ingeniería, electrónica, programación y diseño biomédico. El reto actual está en escalar estas soluciones, validarlas clínicamente y adaptarlas a las normativas locales para su eventual implementación en hospitales, centros de salud y programas de formación académica.

Entrando en materia y enfocándose en las bases o fundamentos teóricos como la anatomía y fisiología del sistema vascular; El sistema circulatorio humano, también conocido como sistema cardiovascular, está conformado por el corazón, la sangre y una vasta red de vasos sanguíneos que

incluye venas y capilares. Su función principal es garantizar el transporte de oxígeno, nutrientes, hormonas y productos de desecho hacia y desde las células del cuerpo. En el contexto clínico, especialmente en procedimientos como la venopunción o la canalización intravenosa, las venas superficiales representan los vasos más comúnmente utilizados debido a su fácil acceso, menor presión interna y relativa estabilidad anatómica (Perry et al., 2011).

Las venas superficiales suelen encontrarse en regiones anatómicas predecibles, como la fosa ante-cubital (interior del codo), el dorso de la mano y el antebrazo. Las venas tienen paredes más delgadas, carecen de una capa muscular prominente y poseen válvulas que previenen el retroceso de la sangre. Estas características estructurales las hacen más susceptibles al colapso en presencia de presión negativa (como ocurre durante la aspiración de sangre) o cuando el volumen sanguíneo del paciente se encuentra reducido, como en casos de deshidratación o shock hipovolémico (Guyton & Hall, 2021).

La fisiología del sistema venoso se ve afectada por múltiples factores, como el tono vascular, la presión hidrostática, la temperatura ambiente, la hidratación del paciente y la composición corporal. Por ejemplo, en personas con obesidad, la acumulación de grasa subcutánea puede dificultar la palpación y visualización de las venas; en pacientes pediátricos, las venas son de menor calibre y se localizan más profundamente; y en adultos mayores, la elasticidad vascular disminuye, haciendo que las venas sean más frágiles y móviles, lo que complica su punción (Barash et al., 2020).

Adicionalmente, ciertas patologías como la insuficiencia venosa, los estados hipovolémicos o la administración prolongada de fármacos intravenosos pueden modificar la estructura y funcionalidad del sistema venoso, dificultando aún más el acceso vascular. Ante estas condiciones, la localización de una vena adecuada se convierte en un desafío clínico que puede impactar la seguridad y comodidad del paciente, así como la eficiencia del procedimiento.

En respuesta a estos desafíos anatómicos y fisiológicos, se han desarrollado diversas estrategias para mejorar la visibilidad de las venas, que van desde el uso de torniquetes, calor local y presión negativa, hasta tecnologías avanzadas como la transiluminación, la ecografía portátil o los dispositivos de imagen infrarroja. Estas tecnologías permiten visualizar las venas en tiempo real, mejorando la tasa de éxito en el primer intento de punción y reduciendo las complicaciones asociadas (Griffin & Hodges, 2019).

El conocimiento profundo del sistema vascular y sus variaciones individuales es, por tanto, esencial para el diseño de tecnologías médicas que busquen asistir al personal de salud en la localización de venas. Comprender cómo la luz interactúa con los tejidos biológicos y cómo se puede optimizar la captación de la señal óptica venosa es parte de los fundamentos necesarios para el desarrollo de dispositivos biomédicos de visualización vascular, como el propuesto en este proyecto.

Por otro lado están los principios de absorción óptica en luz infrarroja cercana (NIR), La luz infrarroja cercana (NIR, por sus siglas en inglés Near-Infrared Radiation) comprende el espectro electromagnético entre los 700 y 1000 nanómetros de longitud de onda. Esta región se caracteriza por su capacidad de penetración en los tejidos biológicos sin causar daño térmico, lo cual la convierte en una herramienta útil y segura en aplicaciones médicas no invasivas (Qualmedi, 2023). La NIR ha sido ampliamente utilizada en procedimientos clínicos como oximetría, espectroscopía funcional y visualización de vasos sanguíneos, gracias a su interacción diferencial con los componentes celulares y moleculares de la sangre, en especial la hemoglobina.

La hemoglobina, presente en los glóbulos rojos, tiene propiedades ópticas particulares que permiten una alta absorción de luz en la región NIR. Esta absorción diferencial entre los tejidos

blandos circundantes y las venas permite generar un contraste visible que puede ser captado por sensores ópticos especializados o cámaras con filtros NIR. Este fenómeno facilita la identificación visual de las venas como líneas oscuras en una imagen procesada, lo que constituye la base funcional de los dispositivos de visualización vascular (Gopal et al., 2020).

A nivel físico, la interacción de la luz con los tejidos depende de fenómenos como la absorción, la dispersión y la reflexión. La NIR posee una mayor capacidad de penetración que la luz visible, lo que permite alcanzar planos profundos sin perder resolución ni generar calor excesivo. Según estudios realizados por Zharov et al. (2016).

En dispositivos biomédicos, los diodos emisores de luz (LEDs) de 850 nm y 940 nm son comúnmente utilizados por su disponibilidad comercial, eficiencia energética y adecuación a la absorción espectral de la hemoglobina. Estos LEDs se combinan con sensores CCD o CMOS modificados, capaces de captar la señal NIR y convertirla en imágenes digitales procesables. Mediante filtros ópticos se eliminan otras longitudes de onda, mejorando el contraste de la imagen vascular (Kim et al., 2022).

Desde el punto de vista tecnológico, el procesamiento digital de imágenes desempeña un papel clave. Algoritmos básicos como ecualización de histograma, detección de bordes o aumento de contraste pueden aplicarse para mejorar la calidad visual de la imagen capturada, facilitando la interpretación clínica. Además, técnicas avanzadas como aprendizaje automático o segmentación semántica están comenzando a implementarse para automatizar la detección de venas y aumentar la precisión del sistema (Ramírez et al., 2023).

En términos de seguridad, la NIR ha demostrado ser una opción confiable, sin efectos adversos conocidos cuando se utiliza en niveles de potencia adecuados para imagenología

superficial. La Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) establece límites de exposición que los dispositivos de imagen médica deben respetar, garantizando la inocuidad para el paciente (ICNIRP, 2020).

Por tanto, el uso de luz infrarroja cercana en el diseño de un dispositivo biomédico de bajo costo para la visualización de venas constituye una solución técnicamente viable, clínicamente segura y económicamente accesible. Su efectividad ha sido validada por múltiples investigaciones y su implementación representa un avance en la democratización del acceso a tecnología médica en contextos de bajos recursos.

Electrónica aplicada y sistemas embebidos. El diseño de sistemas embebidos para aplicaciones médicas ha cobrado gran relevancia en los últimos años. Estos sistemas consisten en unidades de procesamiento (como microcontroladores o microprocesadores), integradas con sensores y actuadores para realizar tareas específicas. En el presente proyecto, se utiliza Arduino por su versatilidad, bajo costo y comunidad de desarrollo activa. Arduino permite controlar LED NIR, procesar señales de sensores, gestionar una cámara IR y mostrar información relevante en una pantalla.

Los sistemas embebidos ofrecen numerosas ventajas en entornos biomédicos, incluyendo su tamaño compacto, bajo consumo energético, flexibilidad de programación y capacidad de personalización para tareas específicas. La arquitectura abierta de plataformas como Arduino facilita la integración de componentes externos mediante protocolos estándar como I2C, SPI o UART, lo cual permite un diseño modular y escalable, ideal para prototipos de investigación o proyectos de bajo presupuesto (Banzi & Shiloh, 2014).

En el caso del dispositivo de visualización de venas, el sistema embebido debe coordinar el encendido de los diodos LED NIR en una determinada frecuencia, captar la imagen a través de una

cámara sensible a infrarrojos y aplicar algoritmos básicos de procesamiento digital para mejorar el contraste y resaltar la presencia de vasos sanguíneos.

Todo esto puede lograrse mediante una placa Arduino o una placa más avanzada como la ESP32, que ofrece capacidades adicionales como conectividad Wi-Fi o procesamiento en paralelo (Vujović & Maksimović, 2015).

Otro aspecto relevante en el diseño del hardware es la eficiencia energética. Dado que el dispositivo está pensado para ser portátil, se considera el uso de baterías recargables de litio y circuitos reguladores de voltaje para garantizar un funcionamiento estable. Asimismo, se emplean estrategias de bajo consumo, como la modulación por pulsos (PWM) para los LED y modos de reposo para el microcontrolador cuando no está en uso activo.

Desde el punto de vista del procesamiento de señales, los sistemas embebidos pueden ejecutar rutinas de filtrado, amplificación de señales, eliminación de ruido y otras técnicas de mejora de imagen en tiempo real. Aunque Arduino tiene limitaciones en cuanto a capacidad de procesamiento, combinaciones con módulos como Raspberry Pi o NVIDIA Jetson Nano permiten la ejecución de algoritmos más complejos si se requiere una mejora sustancial en la calidad de imagen (Khan et al., 2020).

Por otro lado, la programación de sistemas embebidos para tareas médicas debe cumplir con altos estándares de seguridad y confiabilidad. En aplicaciones clínicas reales, se recomienda que el código fuente esté documentado, que se realicen pruebas unitarias de las funciones

críticas y que se implementen rutinas de verificación para evitar fallos que puedan comprometer la precisión del dispositivo. Además, la interfaz de usuario debe ser intuitiva, con menús claros y visualizaciones de datos simples que permitan al personal de salud interpretar rápidamente la información mostrada.

Un ejemplo práctico de esta implementación se encuentra en estudios como el de Iqbal et

al. (2019), donde se diseñó un sistema embebido para el monitoreo no invasivo de variables fisiológicas, incluyendo temperatura, pulso y saturación de oxígeno, mediante sensores conectados a un microcontrolador Arduino y visualización en una pantalla OLED. Este tipo de desarrollos demuestra la aplicabilidad y adaptabilidad de estas plataformas para soluciones biomédicas económicas.

Mencionando lo anterior, la electrónica aplicada y los sistemas embebidos constituyen la base tecnológica del dispositivo propuesto. Su implementación permite desarrollar herramientas médicas funcionales, accesibles y replicables en contextos de bajos recursos, fortaleciendo la autonomía tecnológica local y contribuyendo a la reducción de la brecha digital en salud.

Procesamiento digital de imágenes, El procesamiento digital de imágenes constituye una herramienta clave en el desarrollo de dispositivos biomédicos destinados a la visualización de estructuras internas del cuerpo humano, como las venas. En este contexto, la aplicación de algoritmos de procesamiento de imágenes permite mejorar la visibilidad de los vasos sanguíneos captados a través de sensores ópticos, especialmente cuando se trabaja con luz infrarroja cercana (NIR), cuyas imágenes presentan naturalmente un bajo nivel de contraste.

Una de las primeras etapas en el procesamiento digital es la conversión de la imagen original a escala de grises, lo que reduce la complejidad de los datos al eliminar la información de color y mantener únicamente los niveles de intensidad. Esto simplifica los cálculos posteriores y permite enfocar el análisis en las diferencias de luminancia entre las venas y el tejido circundante (González & Woods, 2018).

Posteriormente, se aplica la ecualización de histograma, una técnica que redistribuye los niveles de intensidad de los píxeles con el objetivo de mejorar el contraste global de la imagen. Esta operación es especialmente útil en imágenes IR, donde los niveles de intensidad suelen

concentrarse en rangos estrechos debido a la limitada iluminación y absorción diferencial de los tejidos (Russ, 2016).

El filtrado de ruido es otra etapa crítica, ya que las imágenes pueden presentar interferencias debido a condiciones ambientales o a la calidad del sensor óptico. El filtro gaussiano, que aplica una convolución con una función de campana, suaviza la imagen y reduce las variaciones abruptas que podrían interferir con la detección precisa de bordes (Szeliski, 2010). Otros filtros, como el mediano, también son utilizados para preservar bordes mientras se elimina el ruido impulsivo.

Para extraer las estructuras vasculares, se emplean algoritmos de detección de bordes como los operadores de Sobel, Prewitt o Canny. El operador de Sobel calcula la derivada de la intensidad de la imagen en direcciones horizontales y verticales, resaltando las transiciones bruscas, que suelen corresponder a los límites de los vasos sanguíneos. Por su parte, el filtro de Canny ofrece una detección más precisa y robusta, utilizando técnicas de supresión de no-máximos y umbralización doble para minimizar falsos positivos (Canny, 1986).

Estos algoritmos pueden implementarse en tiempo real utilizando bibliotecas de código abierto como OpenCV (Open Source Computer Vision Library), ampliamente compatible con lenguajes como Python o C++, y adaptable a plataformas embebidas como Raspberry Pi o Arduino con módulos externos de procesamiento. OpenCV facilita la integración de estos métodos mediante funciones optimizadas y portables, lo que permite su utilización en prototipos médicos de bajo costo (Bradski & Kaehler, 2008).

Cabe destacar que el procesamiento digital de imágenes no solo cumple una función

técnica, sino también clínica, ya que contribuye a reducir el margen de error en procedimientos de venopunción, mejora la experiencia del paciente y optimiza el desempeño del personal médico. La evolución de los sistemas embebidos ha permitido implementar estas tecnologías en dispositivos portátiles y autónomos, ampliando las posibilidades de su uso en contextos rurales, educativos o de atención primaria.

En síntesis, el procesamiento digital de imágenes es una disciplina esencial para el desarrollo de dispositivos de visualización vascular, ya que permite convertir señales ópticas crudas en representaciones útiles para el diagnóstico y la intervención clínica. Su integración con hardware de bajo costo representa una oportunidad significativa para democratizar el acceso a tecnologías médicas avanzadas.

Variables o categorías de la investigación, En el marco de esta investigación, el estudio se estructura a partir de una relación causal entre dos variables principales: una variable independiente, que representa el factor que se manipula o diseña, y una variable dependiente, que es el efecto observado o medido como consecuencia del desarrollo de la primera.

Además, se identifican una serie de categorías de análisis que permiten organizar y delimitar el alcance del estudio desde una perspectiva técnica, social y científica.

Variable independiente, Diseño e implementación del dispositivo biomédico de bajo costo; Esta variable corresponde a la intervención principal de la investigación, es decir, la construcción y puesta en funcionamiento de un dispositivo tecnológico que permita visualizar de forma no invasiva las venas superficiales mediante el uso de luz infrarroja cercana (NIR). Este diseño implica una serie de componentes y decisiones técnicas que influyen directamente en la funcionalidad y desempeño del dispositivo.

El diseño e implementación abarca aspectos como:

- Selección y montaje de componentes electrónicos: Incluye la elección de LEDs NIR, cámaras infrarrojas, microcontroladores (Arduino), pantallas LCD, fuentes de energía portátiles, entre otros.
- Programación y lógica de control: Desarrollo de algoritmos para el manejo de la interfaz, control de los componentes y procesamiento de imágenes en tiempo real.
- Diseño estructural: Desarrollo del prototipo físico del dispositivo, incluyendo su carcasa, portabilidad, ergonomía y facilidad de uso.
- Criterios de bajo costo y accesibilidad: Priorización de materiales de bajo precio, disponibilidad comercial y facilidad de ensamblaje, para asegurar su replicabilidad en contextos de recursos limitados.

Esta variable es fundamental porque representa el núcleo de innovación tecnológica del proyecto. Se espera que su adecuada implementación tenga un impacto positivo en la variable dependiente, mejorando la capacidad del personal clínico para identificar con precisión el sistema venoso superficial.

Variable dependiente, Mejora en la visibilidad de venas superficiales: La variable dependiente evalúa el efecto directo del uso del dispositivo en contextos clínicos simulados o reales. Se refiere al grado en que el dispositivo facilita la identificación de venas que de otro modo serían difíciles de localizar a simple vista o mediante la palpación.

Esta mejora se puede observar y medir a través de distintos indicadores, tales como:

- Reducción del número de intentos fallidos de punción.
- Disminución del tiempo promedio requerido para realizar una venopunción.
- Mayor precisión en la selección del sitio de punción.
- Incremento en la confianza y satisfacción del personal de salud al utilizar el dispositivo.

- Mayor comodidad y menor dolor reportado por los pacientes durante el procedimiento.
- Este conjunto de indicadores permite validar empíricamente si el diseño del dispositivo cumple con su objetivo principal, que es servir como una herramienta útil y eficiente para procedimientos clínicos donde la visibilidad vascular es limitada.
- Categorías de análisis, El proyecto se enmarca dentro de varias categorías temáticas que permiten contextualizarlo desde un enfoque multidisciplinar:
- Tecnología infrarroja aplicada a la salud; La utilización de luz infrarroja en aplicaciones médicas ha tenido un crecimiento importante en las últimas décadas.
- Su capacidad de penetrar la piel sin generar daño, y de resaltar

Estructuras internas como las venas, la convierte en una herramienta valiosa para diagnósticos y procedimientos clínicos no invasivos (Gopal et al., 2020). Esta categoría agrupa investigaciones sobre sensores ópticos, imagenología médica y nuevas formas de visualización asistida por tecnología.

Accesibilidad en dispositivos médicos; Uno de los principales retos en los sistemas de salud de países en vías de desarrollo es la escasa disponibilidad de dispositivos médicos avanzados, debido a su alto costo, mantenimiento complejo o dependencia de licencias. Esta categoría analiza cómo el desarrollo de dispositivos de bajo costo puede cerrar brechas tecnológicas y mejorar el acceso equitativo a herramientas de diagnóstico y apoyo clínico (González & Rivas, 2019).

Procesamiento digital de imágenes; Esta categoría engloba todas las técnicas informáticas utilizadas para capturar, transformar y mejorar imágenes digitales con el fin de facilitar su

interpretación. En el caso del proyecto, se aplican métodos como el filtrado de ruido, la ecualización de contraste, la detección de bordes y el resaltado de estructuras venosas, mediante bibliotecas de programación como OpenCV, adaptadas a entornos de bajo consumo computacional (ResearchGate, 2016).

Electrónica biomédica; La electrónica aplicada al ámbito médico es un campo interdisciplinario que une la ingeniería electrónica con las ciencias de la salud. Esta categoría permite analizar el diseño del dispositivo desde el enfoque del desarrollo de hardware especializado, incorporando sensores fisiológicos, módulos de procesamiento y visualización de datos biomédicos en tiempo real (Banzi & Shiloh, 2014).

Innovación en salud en contextos de recursos limitados Finalmente, el desarrollo del dispositivo se sitúa dentro de un enfoque de innovación social y tecnológica que busca generar soluciones para problemas concretos en entornos vulnerables. La capacidad de replicar el dispositivo con materiales accesibles y conocimientos básicos de electrónica representa un modelo de innovación frugal, alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (ONU, 2023).

Tabla 1*Longitud de onda y color de diodos LED infrarrojos*

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Dimensiones
Variable independiente: Diseño e implementación del dispositivo biomédico de bajo costo.	Se refiere al desarrollo tecnológico de un sistema electrónico que permite visualizar el sistema vascular superficial mediante luz infrarroja cercana (NIR), usando componentes accesibles y económicos.	Construcción funcional de un prototipo que integre LED NIR, cámara IR, microcontrolador (Arduino), pantalla de visualización y software de procesamiento de imágenes.	Diseño electrónico, programación, estructura física, accesibilidad económica.
Variable dependiente: Mejora en la visibilidad de venas superficiales	Se refiere a la eficacia del dispositivo para facilitar la identificación del sistema venoso en diferentes tipos de pacientes.	Observación práctica de la calidad visual de las imágenes proyectada comparación con métodos tradicionales de localización venosa y registro de efectividad en simulaciones.	Calidad visual, facilidad de uso, efectividad clínica.

Tabla 2

Categorías de análisis con indicadores propuestos

Categoría	Descripción	Indicadores sugeridos
Tecnología infrarroja aplicada a la salud	Uso de NIR para visualizar estructuras internas como venas sin invasión o riesgo	- Longitud de onda de LED utilizados - Intensidad lumínica - Distancia óptima de visualización
Accesibilidad en dispositivos médicos	Capacidad de adquirir, usar y replicar tecnología médica en contextos vulnerables	- Costo total del dispositivo - Acceso a componentes en mercados locales - Facilidad de montaje y mantenimiento

Asimismo, la Ley 1751 de 2015, también conocida como Ley Estatutaria de Salud, reconoce el derecho fundamental a la salud como un derecho autónomo e irrenunciable, el cual incluye el acceso a tecnologías sanitarias esenciales que mejoren la calidad del servicio y la atención integral. Esta ley es especialmente relevante para el presente proyecto, ya que el dispositivo propuesto busca precisamente disminuir las brechas de acceso tecnológico en contextos de baja complejidad o recursos limitados (Congreso de Colombia, 2015).

El diseño de un dispositivo médico, incluso si se realiza con fines académicos o de validación técnica, debe alinearse con los principios generales de seguridad, funcionalidad, inocuidad y eficacia. En este sentido, las normas técnicas colombianas (NTC), como la NTC-ISO

13485:2016, aplicables a sistemas de gestión de calidad para dispositivos médicos, sirven como guía para el diseño, documentación y validación de productos sanitarios.

Bioética y normativas sobre investigación con seres humanos, Aunque el presente proyecto no contempla la intervención directa en seres humanos para pruebas clínicas, la ética de la investigación biomédica sigue siendo un componente central del desarrollo. La Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia establece las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, clasificando los niveles de riesgo y definiendo los principios que deben regir cualquier actividad investigativa en este ámbito.

Esta resolución estipula que toda investigación debe respetar la dignidad, los derechos y la integridad de las personas, incluso en casos donde solo se utilicen modelos físicos, simuladores o prototipos no invasivos. Además, exige el consentimiento informado en caso de que en futuras fases del desarrollo se utilicen pacientes o voluntarios para validar clínicamente el dispositivo (Ministerio de Salud, 1993).

En el caso de esta investigación, si bien no se involucran seres humanos en el uso clínico directo del dispositivo, se prevé el cumplimiento estricto de estos lineamientos en cualquier futura validación, garantizando que se desarrollen procesos con aval de comités de ética institucionales y siguiendo protocolos de seguridad.

Propiedad intelectual y protección de desarrollos tecnológicos, Otro eje fundamental dentro de las bases legales es el de la propiedad intelectual. En Colombia, la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor protege las obras científicas y técnicas, incluyendo diseños de dispositivos, esquemas electrónicos, algoritmos de software y manuales técnicos. Esta ley otorga al creador los

derechos patrimoniales y morales sobre sus desarrollos, incluso si estos son parte de un proyecto académico o investigativo (Congreso de Colombia, 1982).

Adicionalmente, el Decreto 1879 de 2008, que adopta el Sistema Nacional de Propiedad Intelectual, fomenta la protección de innovaciones tecnológicas en instituciones educativas y de investigación, lo que resulta relevante si se considera que este proyecto podría escalar a una patente o licencia de uso abierto. Así mismo, se puede considerar el uso de licencias Creative Commons si se desea compartir libremente el diseño para su reproducción en contextos de salud pública.

Normativas internacionales sobre tecnología médica, A nivel internacional, existen normativas que definen criterios técnicos y de seguridad en el diseño de dispositivos médicos electrónicos. Entre ellas destaca la norma IEC 60601, establecida por la Comisión Electrotécnica Internacional, la cual define requisitos esenciales para la seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética y desempeño clínico de dispositivos médicos electro-médicos. Aunque la investigación actual se encuentra en una fase inicial y no

contempla su comercialización, esta norma debe tomarse como referencia técnica para establecer buenas prácticas en el desarrollo del prototipo (IEC, 2020).

Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido lineamientos globales sobre tecnologías esenciales en salud, enfatizando la necesidad de promover la accesibilidad, sostenibilidad e innovación en dispositivos médicos para países en desarrollo. En su informe sobre el estado de la tecnología médica, la OMS plantea que la falta de equipos adecuados en atención primaria es uno de los mayores obstáculos para la cobertura universal en salud, lo que hace especialmente pertinente este tipo de desarrollos (World Health Organization, 2020).

Legislación educativa y fomento a la investigación, En el contexto universitario, la legislación colombiana también fomenta la investigación aplicada como herramienta para la formación integral. La Ley 30 de 1992, que regula la educación superior en Colombia, establece que uno de los objetivos de las universidades es la generación de conocimiento y la vinculación de la academia con las necesidades sociales. Por lo tanto, proyectos como el presente, que integran ciencia, tecnología e impacto social; se encuentran alineados con el marco legal educativo y con los principios de pertinencia académica.

Además, el CONPES 4069 de 2021, documento estratégico del Departamento Nacional de Planeación, resalta la importancia de la investigación en ciencia, tecnología e innovación (CTI) como motor del desarrollo nacional, incentivando proyectos de impacto regional y soluciones de bajo costo aplicables en sectores como salud, educación y desarrollo rural (DNP, 2021).

El desarrollo del dispositivo biomédico para la visualización de venas propuesto en este proyecto representa una convergencia funcional entre conocimientos de óptica aplicada, electrónica embebida, diseño ergonómico y procesamiento digital de imágenes, todo ello articulado bajo un enfoque de innovación accesible. Desde su concepción inicial, el sistema fue diseñado para resolver una necesidad clínica concreta: facilitar el acceso venoso en pacientes donde la visualización tradicional resulta limitada o ineficaz, como ocurre en personas con obesidad, deshidratación, piel oscura, o condiciones que comprometen la circulación superficial.

La arquitectura general del dispositivo se fundamenta en el principio de absorción diferencial de luz en el espectro del infrarrojo cercano, específicamente entre los 850 y 940 nanómetros. Esta longitud de onda atraviesa la piel sin generar daño térmico y es absorbida en mayor proporción por la hemoglobina presente en la sangre, lo cual permite crear un contraste

óptico natural entre los vasos sanguíneos y los tejidos blandos circundantes. Este fenómeno, ampliamente validado en la literatura científica, constituye la base sobre la cual se erige el módulo óptico del prototipo. Diodos emisores de luz (LEDs NIR) estratégicamente ubicados

proyectan un haz uniforme sobre la superficie cutánea del paciente, generando así una imagen vascular latente que será posteriormente captada por un sensor adaptado para percibir el espectro infrarrojo.

La captura de esta imagen se realiza mediante una cámara digital de tipo CMOS, modificada para operar sin los filtros infrarrojos convencionales que suelen bloquear este rango espectral. Este sensor traduce la diferencia de absorción en una imagen visual en tiempo real, la cual es enviada al microcontrolador central del sistema para su procesamiento.

En esta etapa entra en juego la plataforma embebida seleccionada: el ESP32, un microcontrolador de arquitectura dual-core que permite una gestión eficiente de múltiples tareas simultáneas, como la adquisición de imágenes, la sincronización de los LEDs, el procesamiento computacional básico y la visualización final en una pantalla de salida. Su bajo consumo energético, junto con su capacidad de conexión inalámbrica y compatibilidad con sensores y periféricos de uso médico, lo convierte en una opción ideal para entornos clínicos de baja complejidad y presupuestos restringidos.

El procesamiento digital de la imagen capturada, aunque básico en su etapa inicial, desempeña un rol fundamental en la mejora del contraste vascular. Utilizando algoritmos ejecutados con bibliotecas como OpenCV, la imagen en bruto es convertida a escala de grises para reducir la complejidad cromática y destacar las variaciones de intensidad.

Posteriormente, se aplican filtros para eliminar el ruido generado por interferencias ópticas, seguido por técnicas como la ecualización de histograma, que redistribuyen los niveles de luminosidad para resaltar los bordes y trayectorias de las venas. Estas operaciones permiten que la señal visual emitida por el dispositivo sea clara, interpretable y clínicamente útil, incluso en condiciones subóptimas de iluminación o en pacientes con fisiología vascular poco evidente.

Uno de los mayores logros del diseño es su enfoque centrado en el usuario. El dispositivo no está concebido como un artefacto complejo que dependa de técnicos especializados, sino como una herramienta intuitiva, ligera y ergonómica, capaz de ser operada por profesionales de la salud con formación básica. Su diseño tipo brazaletes, adaptable a diferentes circunferencias del antebrazo, permite que se posicione con facilidad sobre las zonas anatómicas comúnmente utilizadas para punción, como la fosa antecubital o el dorso de la mano. Asimismo, la inclusión de botones accesibles, una interfaz de pantalla clara y un sistema de encendido automático aseguran una curva de aprendizaje reducida, haciendo viable su uso en servicios de urgencias, campañas rurales, y procesos formativos dentro de instituciones educativas de salud.

El sistema completo está alimentado por una batería recargable de polímero de litio, lo que garantiza su portabilidad y autonomía en contextos donde el acceso a energía eléctrica es limitado o intermitente. La eficiencia energética es optimizada mediante rutinas de programación que permiten el apagado automático del módulo óptico cuando no está en uso, y la regulación dinámica de intensidad lumínica en función de la calidad de la imagen. Estas características no solo reducen el consumo, sino que también prolongan la vida útil de los componentes electrónicos, asegurando la sostenibilidad del dispositivo a largo plazo.

En suma, el diseño del prototipo aquí presentado no es meramente una propuesta técnica, sino una apuesta por la democratización del acceso a la tecnología médica. Se trata de un dispositivo concebido desde la funcionalidad y la empatía: funcional, porque resuelve un problema clínico tangible con herramientas accesibles; y empático, porque considera al usuario —paciente o profesional— como el centro del proceso tecnológico. Su modularidad, bajo costo, facilidad de replicación y compatibilidad con plataformas abiertas le otorgan un valor estratégico, tanto como herramienta de asistencia clínica como instrumento pedagógico. La posibilidad de escalarlo, integrarlo con tecnologías más avanzadas como inteligencia artificial o

telemedicina, y adaptarlo a otros escenarios sanitarios, convierte este proyecto en un punto de partida para futuras soluciones biomédicas al servicio de poblaciones vulnerables.

Marco metodológico

Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como aplicada, ya que se orienta a resolver un Problema específico mediante el diseño y desarrollo de un dispositivo tecnológico funcional que facilite la visualización superficial de venas. Esta clase de estudios busca no solo la generación de conocimiento, sino su aplicación directa en contextos reales, particularmente en el ámbito de la salud. En este caso, el objetivo es mejorar la práctica clínica de la venopunción, especialmente en contextos donde el acceso venoso es difícil.

Además, esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, dado que se apoyará en la recopilación de datos numéricos para evaluar la eficacia del prototipo, como el número de veces que se logra visualizar una vena con claridad, el tiempo que tarda el dispositivo en identificarla, y la precisión en diferentes tipos de piel. La medición y análisis de estas variables permitirá establecer relaciones, comparar resultados y validar o refutar hipótesis previamente planteadas.

También puede entenderse como una investigación de carácter descriptivo y experimental. Descriptivo, porque se observará y documentará el comportamiento del sistema en diferentes condiciones controladas; y experimental, ya que se manipularán intencionalmente variables como la intensidad de los LEDs infrarrojos, el ángulo de iluminación y la distancia focal de la cámara,

para evaluar su impacto en la visualización de los vasos sanguíneos.

Por otro lado, esta investigación tiene una dimensión tecnológica y multidisciplinaria, pues integra conocimientos de ingeniería biomédica, electrónica, óptica, programación y diseño industrial, con una finalidad práctica y socialmente útil. La convergencia de estas disciplinas es clave para la creación de un dispositivo que no solo sea funcional, sino también seguro, económico y viable en escenarios de atención primaria. La capacidad de innovación tecnológica que se pretende alcanzar está alineada con las tendencias actuales en salud.

Diseño de investigación

El diseño metodológico adoptado es de tipo cuasi-experimental, debido a que el prototipo será probado en un entorno controlado, pero sin un grupo de control formal ni aleatorización completa. Aunque no se realizarán ensayos clínicos en pacientes reales, sí se llevarán a cabo pruebas funcionales con voluntarios sanos, siguiendo estrictas consideraciones éticas y bajo supervisión profesional. Este diseño permite evaluar el comportamiento del dispositivo en situaciones realistas, aunque con ciertas limitaciones en términos de generalización de resultados.

El procedimiento metodológico consta de las siguientes fases:

- Fase de diseño y planificación
- Revisión bibliográfica de tecnologías similares y principios físicos de funcionamiento.
- Selección de componentes electrónicos y ópticos apropiados para la construcción del prototipo.

- Diseño de la estructura del dispositivo, incluyendo su carcasa, sistema óptico y circuitos.
- Simulación electrónica previa a la implementación para prever errores de funcionamiento.
- Fase de implementación:
- Ensamblaje del dispositivo utilizando microcontroladores como Arduino, LEDs NIR, cámara IR y pantalla de visualización.
- Desarrollo del algoritmo de procesamiento digital de imágenes para mejorar el contraste venoso.
- Integración del sistema en una carcasa ergonómica que facilite el uso en ambientes clínicos.

Fase de pruebas funcionales:

- Evaluación del prototipo en condiciones de laboratorio, con voluntarios que simulen diferentes contextos clínicos.
- Documentación del comportamiento del sistema frente a variaciones en la iluminación, tipo de piel y posición anatómica.

Identificación de posibles fallos o deficiencias en la imagen proyectada.

Fase de análisis y validación:

- Recolección de datos sobre el desempeño del dispositivo (tiempo de respuesta, nitidez de imagen, facilidad de uso).
- Análisis estadístico básico para validar el cumplimiento de los objetivos técnicos y funcionales.
- Propuestas de mejoras técnicas para una posible segunda versión del dispositivo.

Este diseño permite una retroalimentación constante entre cada etapa, favoreciendo un

enfoque iterativo en el que los resultados preliminares pueden orientar ajustes y mejoras en el sistema. El objetivo es obtener un dispositivo que no solo sea técnicamente viable, sino también usable y adaptable a las necesidades reales del personal clínico.

Población y muestra

Este proyecto no contempla la intervención en personas ni la recolección de datos en sujetos humanos, ya que su alcance se limita al diseño conceptual, estructural y electrónico de un dispositivo biomédico.

El trabajo se enfoca en la creación de un prototipo funcional mediante herramientas de modelado 3D, simulación electrónica y selección de componentes físicos, orientado a la visualización de venas mediante luz infrarroja.

La validación del diseño se ha realizado exclusivamente desde un enfoque técnico, basado en criterios de factibilidad, portabilidad, eficiencia energética y funcionalidad proyectada, sin requerir el uso de muestras poblacionales.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos, se emplearán técnicas de observación directa y medición instrumental. La observación se enfocará en registrar el comportamiento general del dispositivo, incluyendo su facilidad de uso, respuesta a diferentes tipos de piel, claridad de las imágenes generadas y experiencia del usuario. Estas observaciones se documentarán mediante fichas técnicas diseñadas para tal fin.

Paralelamente, se utilizarán instrumentos de recolección cuantitativa, como formularios estructurados donde se registren variables como:

- Tiempo promedio de localización venosa.
- Nivel de contraste de la imagen (medido en niveles de gris).
- Número de intentos necesarios para obtener una imagen clara.

- Porcentaje de éxito en la identificación de venas en distintos voluntarios.
- Diferencias de visualización entre zonas anatómicas (antebrazo, mano, brazo superior).

También se aplicará un breve cuestionario de satisfacción a los participantes, incluyendo preguntas cerradas tipo Likert, donde se evaluará la percepción de comodidad, claridad visual, facilidad de interpretación y potencial utilidad del dispositivo en contextos clínicos reales.

Los instrumentos serán validados a través de una prueba piloto con un grupo reducido de personas, con el fin de garantizar su adecuación, claridad y relevancia respecto a los objetivos del estudio. La información recolectada será sistematizada en hojas de cálculo y respaldada en registros digitales. La consistencia interna de los cuestionarios se evaluará con el coeficiente alfa de Cronbach.

Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Una vez recolectada la información, se procederá a su codificación, organización y análisis. Para los datos cuantitativos se utilizarán estadísticas descriptivas, tales como:

- Promedios y medianas.
- Frecuencias absolutas y relativas.
- Desviaciones estándar.
- Comparaciones por tipo de piel y zona anatómica.

Estas medidas permitirán identificar patrones en el desempeño del dispositivo y establecer comparaciones entre distintas configuraciones del sistema o zonas anatómicas. También se podría realizar un análisis de correlación simple para identificar relaciones entre variables como la intensidad de iluminación y el contraste visual logrado.

El procesamiento de los datos se realizará en software como Microsoft Excel o SPSS, lo que facilitará la generación de tablas y gráficos para la interpretación de resultados. En el caso de imágenes, se usarán herramientas como OpenCV para el análisis de parámetros visuales (contraste, nitidez, bordes), y se evaluará la efectividad de los algoritmos de procesamiento aplicados para la mejora visual. sugerencias de mejora y puntos críticos en la experiencia de uso. Esto complementará la evaluación técnica con una dimensión subjetiva pero valiosa desde el punto de vista del diseño centrado en el usuario.

Pregunta de investigación

La pregunta de investigación que orienta el desarrollo del proyecto es la siguiente:

- ¿Es posible diseñar un dispositivo biomédico de bajo costo que permita la visualización no invasiva y en tiempo real de venas superficiales, utilizando tecnología de luz
- infrarroja cercana y componentes electrónicos accesibles, que sea funcional en contextos clínicos de recursos limitados?

Esta pregunta busca establecer la viabilidad técnica, funcional y económica del prototipo, así como su aplicabilidad práctica en entornos reales de atención médica.

Consideraciones éticas

El desarrollo de esta investigación contempla estrictamente los principios éticos establecidos en la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, que reglamenta la investigación en seres humanos. Al tratarse de pruebas no invasivas, sin administración de sustancias, ni intervención médica, el estudio se clasifica como de riesgo mínimo.

Se solicitará a cada participante la firma de un consentimiento informado, en el que se explique de forma clara y detallada el propósito de la investigación, los procedimientos a seguir, la

voluntariedad de la participación, la confidencialidad de los datos, y la posibilidad de retirarse del estudio en cualquier momento sin consecuencias negativas. Además se garantizará el anonimato de los voluntarios en la presentación de resultados, y se protegerá toda información personal conforme a la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales. El proyecto será supervisado por un comité académico y ético, que validará su pertinencia, seguridad y respeto por los derechos de los participantes.

En caso de que el prototipo avance hacia fases más avanzadas de validación clínica, se gestionarán los permisos correspondientes ante los comités de ética en investigación

biomédica y ante el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), asegurando el cumplimiento normativo para su uso en instituciones de salud. Además, se respetarán los lineamientos de la Declaración de Helsinki y el Código de Núremberg para garantizar la protección integral de los derechos de los participantes humanos.

Diseño general del prototipo

El diseño del dispositivo integra componentes electrónicos y estructurales que permiten la visualización de venas mediante luz infrarroja, facilitando su uso en entornos médicos de bajos recursos. La estructura se realizó mediante modelado 3D e impresión en varias piezas adaptadas al brazo humano.

Planos de los componentes impresos en 3D

A continuación, se presentan los planos técnicos de las tres piezas principales del aro que conforma el sistema de sujeción del dispositivo:

Como se muestra en la Figura 1, este plano detalla las dimensiones y perforaciones del primer aro del sistema de sujeción.

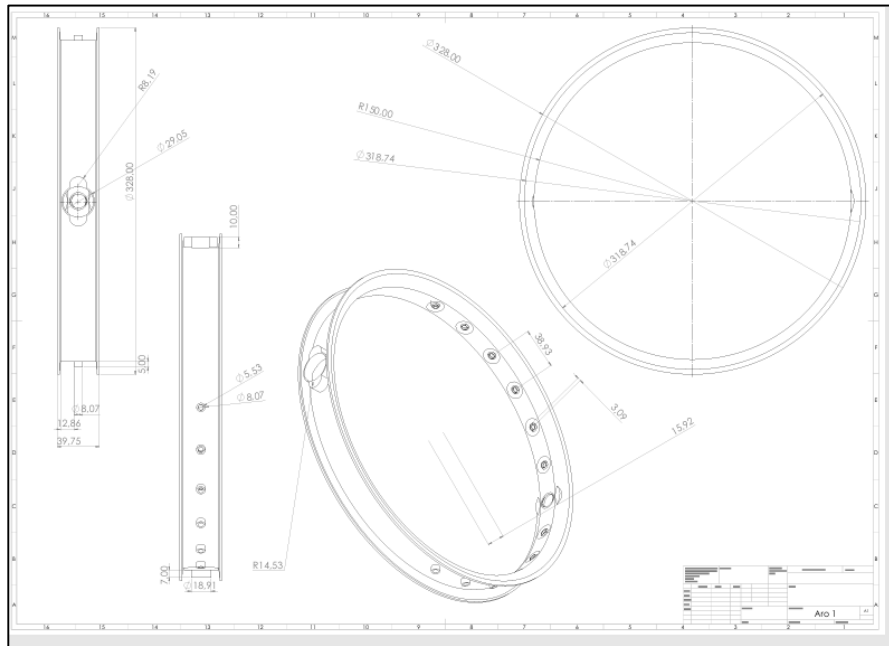


Figura 1 Plano técnico del Aro 1 (Fuente: elaboración propia con SolidWorks)[Aro 1](attachment:Aro 1.pdf)

En la Figura 2 se presenta el diseño del segundo aro, incluyendo detalles de ensamblaje y grosores de pared.

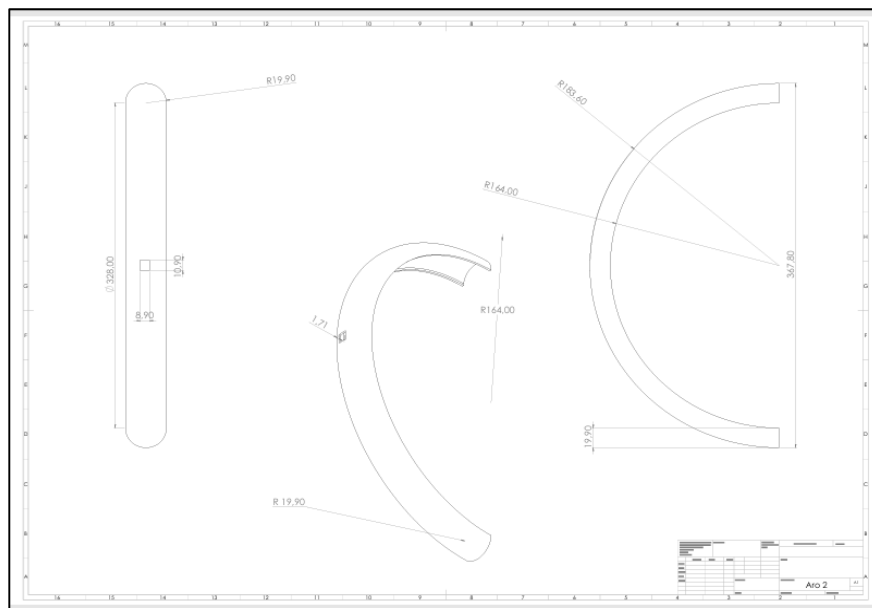


Figura 2 Plano técnico del Aro 2(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)[Aro 2](attachment:Aro 2.pdf)

La Figura 3 muestra el tercer aro, con la configuración final de orificios para la fijación del brazalete.

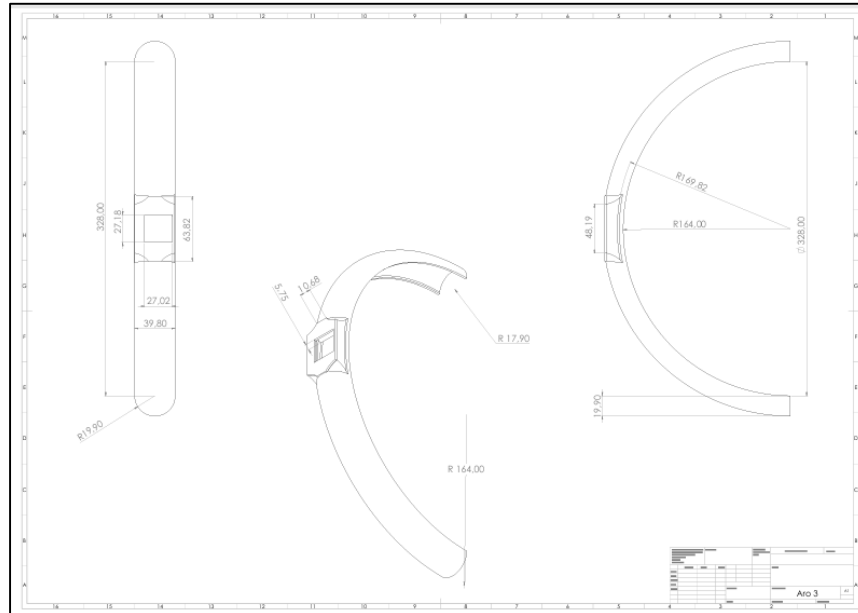


Figura 3 Plano técnico del Aro 3 (Fuente: elaboración propia con SolidWorks)!
[Aro 3](attachment:Aro 3.pdf)

Como se aprecia en la Figura 1, el anillo cuenta con ranuras para LEDs y la cavidad para la cámara IR.

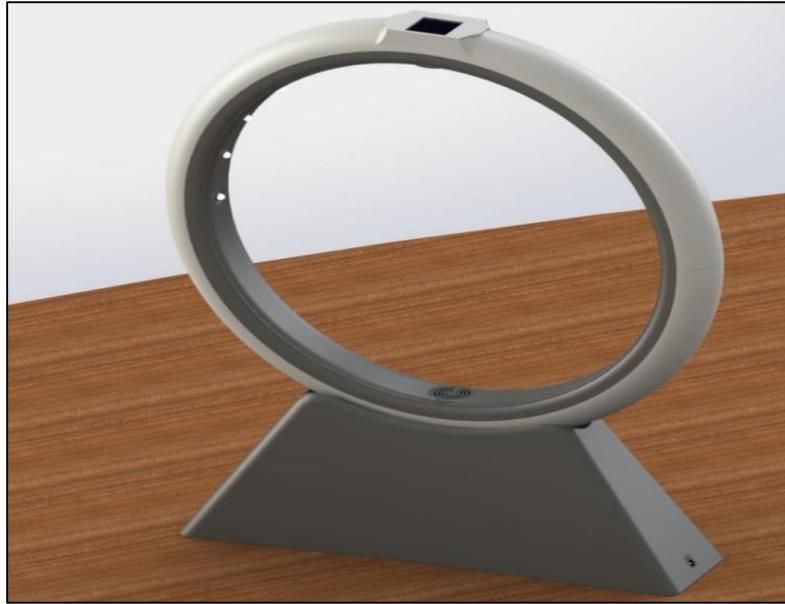


Figura 4 *Diseño general del brazalete fotonico-optico (vista detallada)*

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)



Figura 5 *visión de conjunto del prototipo sobre superficie de trabajo*

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

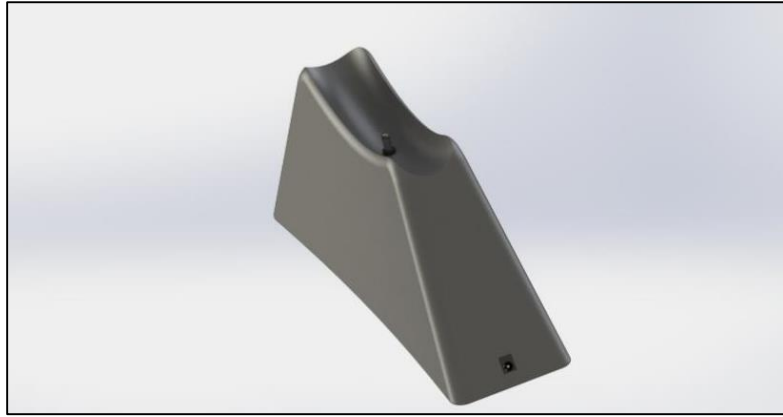


Figura 6 *Base cargadora del dispositivo con conector de alimentacion*
(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

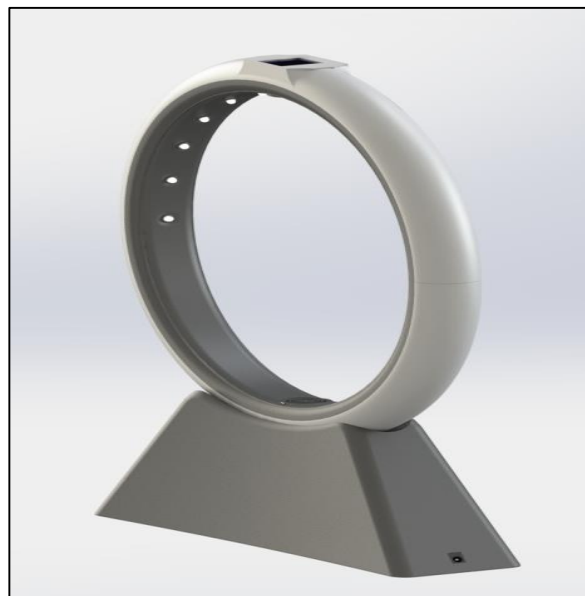


Figura 7 *Ensamble del brazalete en base caragadora*
(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)



Figura 8 *Brazalete fotonico-óptico desmontado /vista frontal*

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

Sistema de Alimentación:

El sistema de alimentación cumple una función esencial al proporcionar la mezcla aire-combustible que el motor necesita para operar eficientemente. En la imagen analizada (véase Figura 9), se identifican componentes como el filtro de aire, el carburador o inyector, y los conductos de admisión. Este sistema debe garantizar un flujo constante y adecuado de combustible, controlado en relación con el aire, para una combustión óptima.

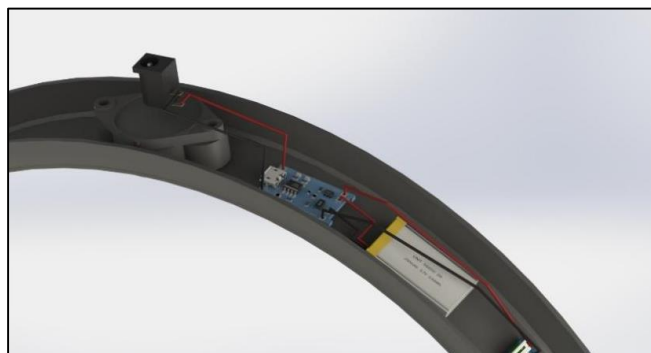


Figura 9 *Sistema de alineación del motor/vista lateral*

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

Vistas Explosionadas del Motor

Las vistas explosionadas presentadas en las Figuras 5 y 6 permiten comprender la disposición y ensamblaje de los distintos componentes mecánicos del motor. Estas representaciones gráficas son útiles tanto para fines de mantenimiento como para procesos de manufactura.

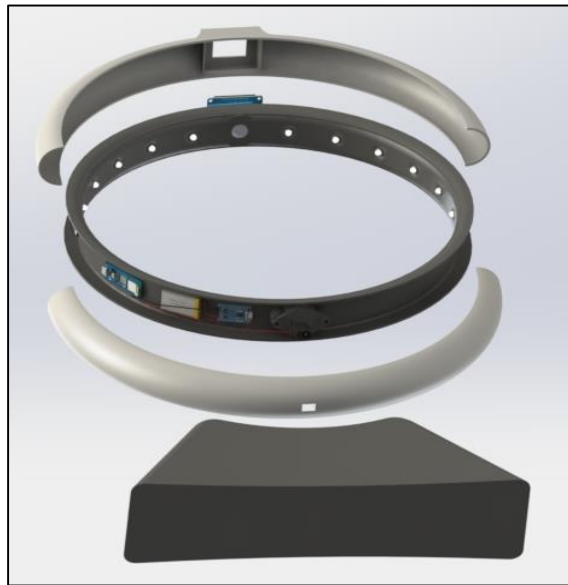


Figura 10 *Vista explosionada del motor (1) / complementes*

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

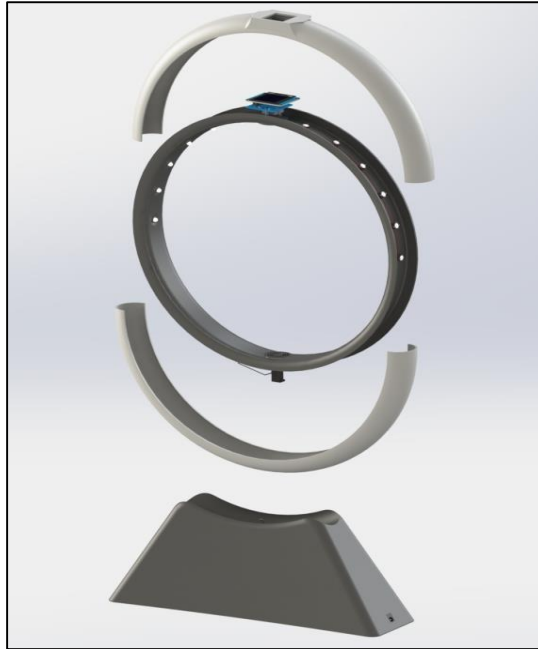


Figura 11 *Vista explosionada del motor (3) / conjunto general*

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

Metodología

Principio de funcionamiento

Tecnología de luz infrarroja cercana (NIR): Las venas absorben y reflejan la luz de manera diferente a los tejidos circundantes debido a la hemoglobina desoxigenada en la sangre.

El dispositivo emite luz infrarroja 850 nm, que es absorbida por la hemoglobina, haciendo que las venas aparezcan más oscuras en comparación con el tejido circundante.



Figura 12 Leds infrarrojos del brazalete fotonico-optico/vista inferior

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

Cámara sensible al infrarrojo: Una cámara especial capta la retro dispersión de la luz infrarroja y procesa la imagen en tiempo real.

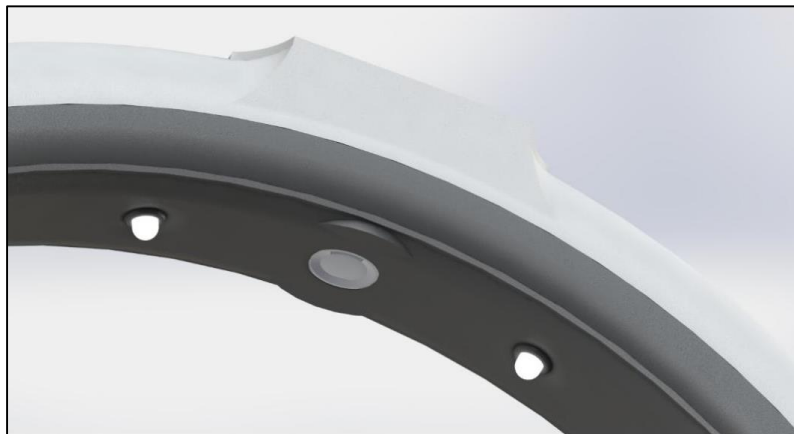


Figura 13 Cámara del brazalete Fotonico-Optico/ vista inferior

(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

Procesamiento de imagen: Mediante algoritmos de contraste y realce de bordes, el sistema resalta las venas. El dispositivo visualiza la imagen de las venas sobre la pantalla oled

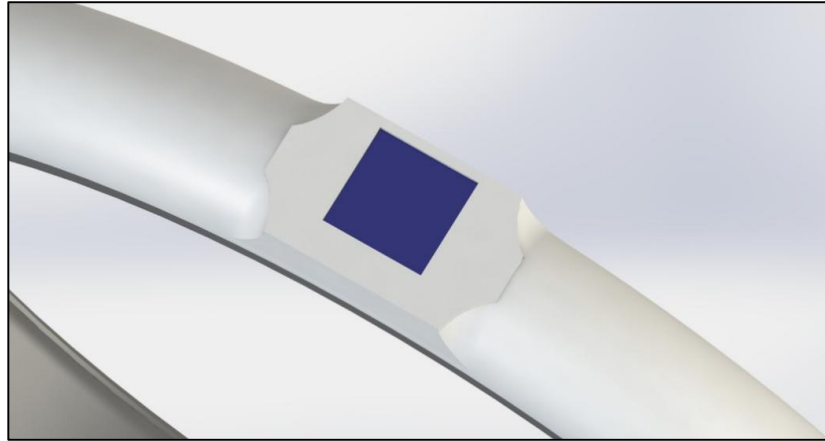


Figura 14 *Pantalla de visualización del brazalete fotonico-optico/vista superior*
(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

Asistencia fónica: El dispositivo genera señales acústicas para guiar la detección de venas, indicar encendido y apagado: Tono variable: Un sonido que cambia de frecuencia o intensidad según la proximidad a una vena. Alertas audibles: Un pitido confirma la correcta ubicación de la [reformular esta parte; usar 'según' puede sonar muy coloquia.] vena.



Figura 15 *Sistema fonico del motor/vista lateral*
(Fuente: elaboración propia con SolidWorks)

Materiales y componentes

Materiales:

1.Arduino Nano

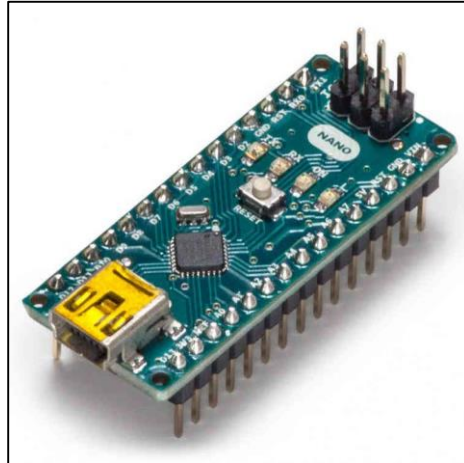


Figura 16 *Arduino Nano*

(Fuente: Arduino official store)

Microcontrolador principal.

Se encarga de:

- Controlar el encendido de los LEDs IR.
- Capturar imagen desde la cámara.
- Procesar píxeles para detectar venas (umbralización).
- Mostrar imagen procesada en la pantalla OLED.
- Activar el buzzer cuando se detectan venas.

2. LEDs Infrarrojos (850 nm) + Resistencias de 100 Ω



Figura 17 *LESDS Infrarrojos*
(Fuente: Amazon.com)

Se agrupan en 3 series de 4 LEDs conectadas a pines PWM.

Proveen iluminación IR invisible para el ojo humano, útil para ver venas bajo la piel (que reflejan diferente luz IR).

3. Cámara OV7670



Figura 18 *Camara OV7670*
(Fuente: LOCI ENGINEERING)

- Sensor CMOS con interfaz digital (SCCB/I2C + señales paralelas).
- Se conecta a pines digitales D0–D7 (para los datos de imagen) y señales de sincronización VSYNC, HREF, y PCLK.
- Captura imágenes a baja resolución (320x240) en escala de grises para que quepa en la memoria del Nano.

- Envía los datos al microcontrolador para su procesamiento.

4. Pantalla OLED SSD1327 (128x128, I2C)



Figura 19 Pantalla OLED SSD1327(128X128,I2C)
(Fuente: Arduino Forum)

- Pantalla monocromática de bajo consumo.
- Conectada vía I2C (A4 y A5).
- Muestra la imagen procesada: las zonas oscuras representan venas

5. Buzzer Pasivo



Figura 20 Buzzer Pasivo
(Fuente: Novatronic)

- Conectado al pin D4.
- Emite un pitido corto (1000 Hz por 50 ms) cada vez que se detecta una zona oscura en la imagen (probable vena).
- Pasivo: requiere señal PWM o tono para sonar.

6. Batería Li-Po 3.7V 250mAh + Módulo de carga

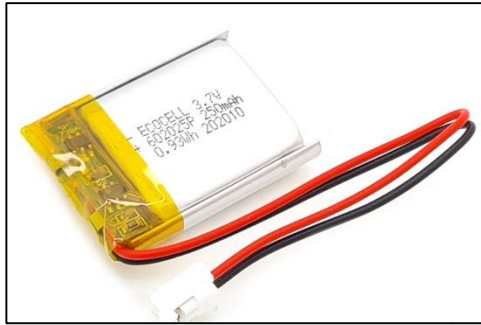


Figura 21 *Batería Li-Po 3.7V 250mAh*
(Fuente: Ecocell)

7. Módulo de carga

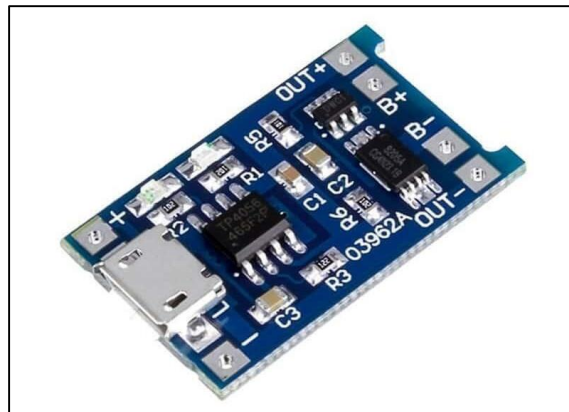


Figura 22 *Modulo de carga*
(Fuente: Mercado libre)

- Fuente de alimentación portátil del sistema.
- La batería se conecta al módulo de carga que regula y entrega voltaje al pin Vin del Arduino.
- Asegura portabilidad y carga segura.

Diseño del software del dispositivo

Este código se encarga de hacer que una cámara capture imágenes de la piel, analice cada punto de esa imagen y luego muestre en una pantalla OLED los lugares donde podrían haber venas. Para ayudar con la visualización, también se usan luces infrarrojas y un buzzer que suena cuando se detecta algo que podría ser una vena.

Al comenzar, el código prepara todo lo necesario: enciende la pantalla, activa la cámara y enciende tres LEDs infrarrojos que iluminan la piel para que las venas se vean más oscuras. También deja listo el buzzer para que pueda sonar más adelante.

En el primer ciclo (el `loop()`), la cámara toma una imagen. El programa revisa esa imagen punto por punto. Si encuentra un píxel muy oscuro (por debajo del valor 80), lo toma como una posible vena. En ese momento, dibuja un punto blanco en esa posición en la pantalla y hace sonar el buzzer un instante. Si el punto no es tan oscuro, lo pinta de negro.

Así, lo que se ve en la pantalla es una imagen en blanco y negro donde lo blanco resalta las zonas oscuras de la imagen original, que podrían coincidir con venas. Mientras tanto, el sonido ayuda a identificarlas sin tener que mirar todo el tiempo.

Este código hace posible una especie de “visor de venas” simple pero funcional, combinando imagen, luz y sonido con componentes básicos como un Arduino Nano, una cámara OV7670, una pantalla OLED y algunos LEDs.

Código:

```

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_SSD1327.h>

#include <Adafruit_GFX.h>

#include "OV7670.h"

// Configuración OLED

#define SCREEN_WIDTH 128

#define SCREEN_HEIGHT 128

Adafruit_SSD1327 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire);

// Configuración cámara

OV7670 cam;

// Pines

const int buzzerPin = 4;

const int irLedPins[] = {3, 5, 6}; // PWM para grupos de LEDs IR

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  // Inicializar OLED

  if (!display.begin(0x3C)) {

    Serial.println("¡Error en OLED!");

    while (1);

  }

  display.clearDisplay();

  display.setTextColor(SSD1327_WHITE);

  display.println("Iniciando...");

  display.display();

```

```

// Inicializar cámara

if (!cam.begin()) {

Serial.println("¡Error en cámara!");

while (1);

}

cam.setResolution(OV7670_320x240); // Bajo resolución para Nano

// Configurar LEDs IR

for (int i = 0; i < 3; i++) {

pinMode(irLedPins[i], OUTPUT);

analogWrite(irLedPins[i], 255); // Máxima potencia

}

// Configurar buzzer

pinMode(buzzerPin, OUTPUT);

}

void loop() {

uint8_t *frame = cam.captureFrame(); // Capturar frame

if (frame) {

// Procesamiento básico (umbralización para venas)

for (int y = 0; y < 120; y++) {

for (int x = 0; x < 160; x++) {

uint8_t pixel = frame[y * 160 + x];

if (pixel < 80) { // Venas oscuras (ajustable)

display.drawPixel(x, y, SSD1327_WHITE);

tone(buzzerPin, 1000, 50); // Pitido corto al detectar

} else {

```

```
display.drawPixel(x, y, SSD1327_BLACK);  
  
}  
  
}  
  
}  
  
display.display();  
  
}  
  
}
```

Funcionamiento general

Cuando el sistema se enciende, lo primero que hace es activar los LEDs infrarrojos y mostrar en la pantalla OLED el mensaje “Iniciando...”. Luego, la cámara OV7670 comienza a capturar imágenes iluminadas con luz infrarroja, lo que permite distinguir mejor las venas de la piel. El Arduino se encarga de analizar cada punto de la imagen: si detecta un área más oscura — como suele ser el caso de una vena— la resalta en blanco y emite un pitido como señal. En cambio, si el área es más clara, correspondiente a la piel, la muestra en negro. Toda esta información se proyecta en tiempo real en la pantalla, y el proceso se repite constantemente para mantener una visualización actualizada y continua.

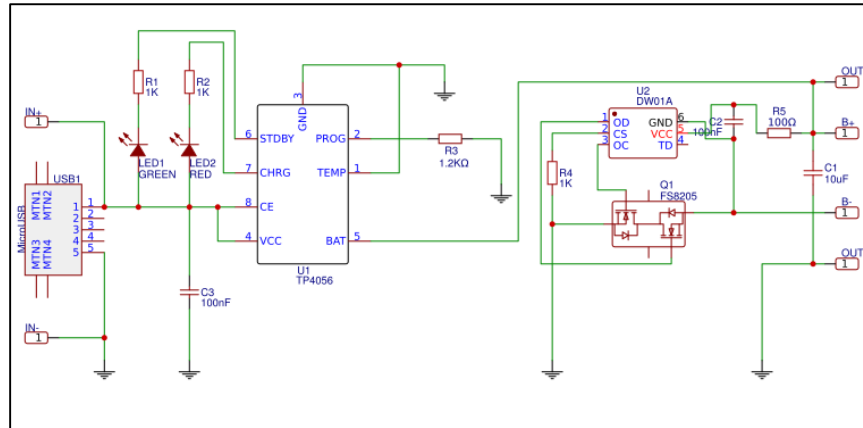


Figura 23 Circuito de carga y protección para batería de litio con iluminación infrarroja
(Fuente: elaboración propia con KiCad)

Esquema (figura 23) ilustra un sistema de carga y protección diseñado para una batería de litio, utilizando el módulo TP4056. En él, se puede ver una entrada micro USB que alimenta el circuito, además de dos LED infrarrojos conectados mediante resistencias limitadoras (R1 y R2). Estos LEDs son esenciales para proporcionar la iluminación necesaria al capturar imágenes en condiciones de poca luz, como al visualizar venas. El chip TP4056 se encarga de gestionar el proceso de carga, mientras que el DW01A y el MOSFET dual FS8205 brindan protección contra sobrecargas, sobredescargas y cortocircuitos. También se han añadido capacitores para estabilizar el voltaje y mejorar la eficiencia del sistema.

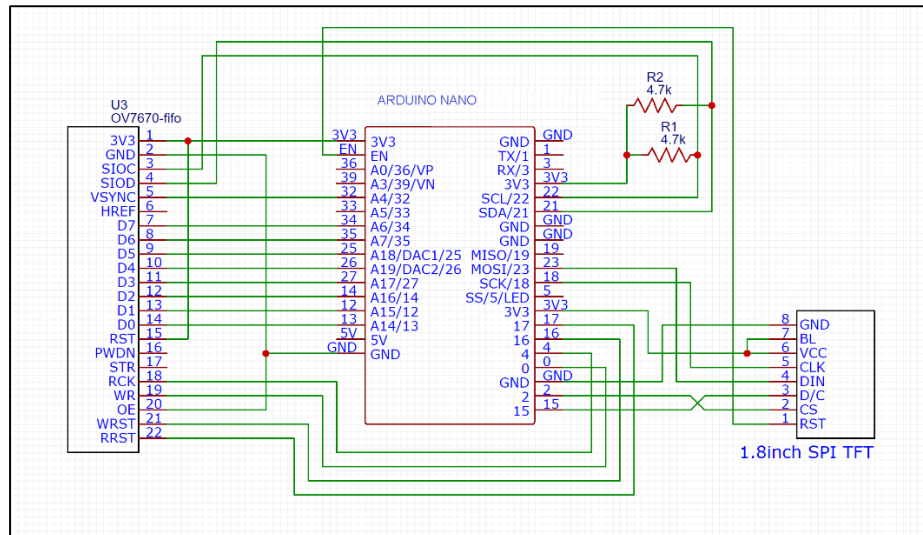


Figura 24 Conexión de la cámara OV7670 y pantalla OLED SSD1327 al Arduino Nano (Fuente: elaboración propia con KiCad)

La figura 24 muestra cómo se interconectan tres componentes clave: una cámara OV7670 con memoria FIFO, un microcontrolador Arduino Nano y una pantalla OLED SSD1327 de 128x128 píxeles que utiliza comunicación I2C. La cámara se vincula a varios pines digitales del Arduino para transmitir señales de imagen y control, mientras que la pantalla se conecta mediante dos líneas:

- **SDA (datos) al pin A4 del Arduino Nano,**
- **SCL (reloj) al pin A5 del Arduino Nano.**

Estas líneas I2C cuentan con resistencias pull-up de 4.7 k Ω para asegurar la estabilidad en la comunicación. El conjunto permite capturar imágenes y mostrarlas en tiempo real, ideal para proyectos de visión artificial con recursos limitados.

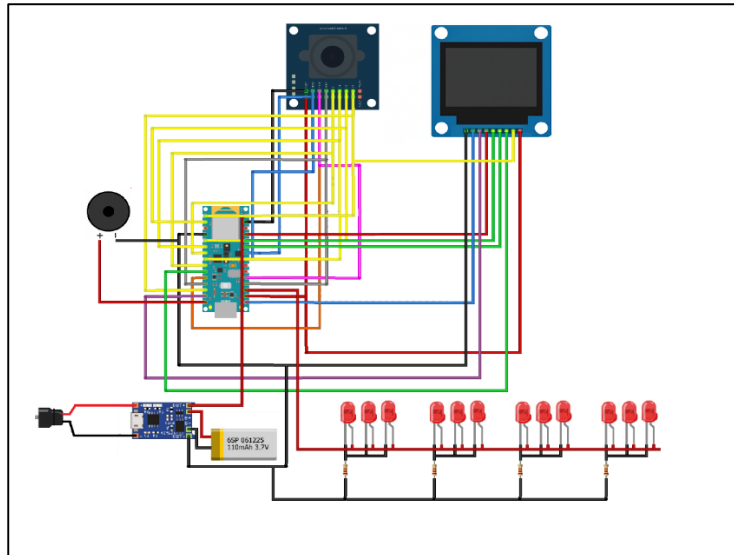


Figura 25 *Conexión de la cámara OV7670 y pantalla OLED SSD1327 al Arduino Nano (Fuente: elaboración propia con KiCad)*

La imagen de la Figura 25 ilustra el ensamblaje completo del sistema para visualizar venas. En el corazón del sistema, encontramos el Arduino Nano, que se conecta a la cámara OV7670 para capturar imágenes. También hay una pantalla TFT que muestra los resultados y varios LEDs infrarrojos, que están organizados en serie con resistencias para iluminar el área que se está observando. Además, se incluye un zumbador que emite señales sonoras cuando se detectan venas, y un módulo TP4056 con una batería de litio recargable que permite que el sistema funcione de manera portátil. Esta imagen (Figura 25) muestra el ensamblaje completo del sistema de visualización de venas. Incluye el Arruino Nano como unidad central, conectado a la cámara OV7670 para capturar imágenes, una pantalla TFT para visualizar los resultados, y varios LEDs infrarrojos dispuestos en serie con resistencias para iluminar el área a observar. Además, se incluye un zumbador para emitir señales auditivas cuando se detectan venas, y un módulo TP4056 con batería de litio recargable para alimentar el sistema de forma portátil.

Análisis comparativo entre el prototipo y dispositivos comerciales

Con el fin de mostrar las ventajas técnicas y económicas del aparato hecho se presenta ahora una tabla que compara al prototipo nuevo y a uno de los aparatos comerciales más populares, el AccuVein. Esta comparación ayuda a juzgar si el plan es bueno desde un ángulo de simpleza para usar, fácil de llevar y coste-beneficio para lugares médicos que no tienen muchos recursos.

Tabla 3

Comparación funcional y económica entre el prototipo y el dispositivo AccuVein.

CARACTERÍSTICAS	<i>PROTOTIPO</i>	COMERCIAL (AccuVein)
estimado	\$30 USD	>\$4,000 USD
Portabilidad Costo	Alta	Media
Código abierto	Sí	No
Requiere importación	No	

Conclusión

Este proyecto logró diseñar un dispositivo biomédico de bajo costo para visualizar venas usando luz infrarroja, combinando electrónica, impresión 3D y procesamiento de imágenes. Su portabilidad, accesibilidad y facilidad de réplica lo hacen ideal para entornos educativos y zonas con recursos limitados.

La propuesta demuestra que desde el ámbito académico es posible desarrollar soluciones funcionales, con potencial de mejora e integración futura con inteligencia artificial y visión computacional.

Referencias

- AccuVein Inc. (2023). *AccuVein AV400: Vein Visualization Device*. Recuperado de <https://www.accuvein.com>
- Arango, M., & Mendoza, L. (2021). *Diseño de un visualizador de venas basado en luz infrarroja para simuladores médicos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Make: Getting started with Arduino* (3.^a ed.). Maker Media.
- Barash, P. G., Cullen, B. F., & Stoelting, R. K. (2020). *Clinical Anesthesia* (8.^a ed.). Wolters Kluwer Health.
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. O'Reilly Media.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), 679–698.
<https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- Congreso de Colombia. (1982). *Ley 23 de 1982 - Sobre derechos de autor*. Diario Oficial No. 35958.

Congreso de Colombia. (2015). *Ley 1751 de 2015 - Ley Estatutaria de Salud*. Diario Oficial No. 49427.

Departamento Nacional de Planeación. (2021). *CONPES 4069: Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*

Gopal, R., Rajesh, R., & Priya, M. (2020). Near infrared light based visualization for superficial veins. *Biomedical Engineering Letters*, 10(4), 569–575. <https://doi.org/10.1007/s13534-020-00178-0>

González, M., & Rivas, D. (2019). Visualización de venas mediante luz infrarroja y Arduino en entornos clínicos rurales. *Revista Latinoamericana de Tecnología Médica*, 6(2), 45–52.

González, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4.^a ed.). Pearson.

Griffin, J., & Hodges, J. (2019). Vein visualization technology: Improving first-stick success.

Nursing, 49(5), 38–44.

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.^a ed.). Elsevier.

ICNIRP. (2020). *Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000 μm*. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

IEC. (2020). *IEC 60601-1: Medical electrical equipment – General requirements for basic safety and essential performance* (Ed. 3.2). International Electrotechnical Commission.

Iqbal, M., Hussain, S., & Khan, A. (2019). Development of a low-cost portable health monitoring system. *International Journal of Computer Applications*, 178(12), 30–35.

Khan, M. R., Ahmed, R., & Patel, S. (2020). Real-time image processing for medical devices using embedded systems. *Journal of Embedded Systems*, 7(3), 55–62.

Kim, J., Park, S., & Lee, H. (2022). Spectral analysis of hemoglobin absorption in near-infrared imaging. *Optics and Lasers in Engineering*, 154, 107035.

<https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2022.107035>

Ministerio de la Protección Social. (2005). *Decreto 4725 de 2005 - Régimen de dispositivos médicos*. Diario Oficial No. 46189.

Ministerio de Salud. (1993). *Resolución 8430 de 1993 - Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud*. Diario Oficial No. 41013.

Morales, C., Peña, L., & Rodríguez, J. (2022). Deep learning para segmentación de venas en imágenes NIR. *Revista Colombiana de Ingeniería Biomédica*, 10(1), 19–28.

ONU. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es>

Prajapati, K., Shah, A., & Patel, N. (2020). Design and development of vein detection system using

NIR. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(3), 1122–1126.

Qualmedi. (2023). *Applications of Near-Infrared (NIR) Technology in Medicine*.

Recuperado de <https://www.qualmedi.com/nir-applications>

Ramírez, F., López, M., & Chaves, R. (2023). Automatización del reconocimiento venoso mediante inteligencia artificial. *Revista de Tecnologías Médicas Emergentes*, 4(2), 73–84.

ResearchGate. (2016). *OpenCV applications in biomedical engineering*.

Russ, J. C. (2016). *The Image Processing Handbook* (7.^a ed.). CRC Press.

Sivakumar, M., Anand, S., & Mahesh, V. (2021). Real-time vein detection device using Raspberry Pi. *Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 9(1), 25–34.

Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.

Vujović, V., & Maksimović, M. (2015). Raspberry Pi as a sensor web node for home automation. *Computers and Electrical Engineering*, 44, 153–171.

<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.01.019>

World Health Organization (WHO). (2020). *Global Atlas of Medical Devices*. Geneva: WHO Press.