

# Rotacare: innovación tecnológica automatizada para controlar cambios posturales en pacientes inmovilizados

Rotacare: automated technological innovation for managing postural changes in immobilized patients

Rotacare: inovação tecnológica automatizada para o controle de mudanças posturais em pacientes imobilizados

Angela Tatiana Naveros Diaz<sup>1</sup>, Solangel Macedo Pereira<sup>1</sup>, Astrid Sophia Mejía Barreto<sup>1</sup>, Alexander Piero Huamanvilca Aranda<sup>1</sup>, Mael David Chaupis Huaman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Peruana Cayetano Heredia, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú.

## RESUMEN

**Objetivo:** Diseñar y validar operativamente un prototipo automatizado de bajo costo orientado a facilitar cambios posturales asistidos en personas con inmovilidad prolongada y riesgo de úlceras por presión.

**Materiales y métodos:** Se empleó un enfoque de diseño centrado en el usuario y basado en la norma ISO 9241-210:2019. Se realizaron entrevistas semiestructuradas a profesionales de la salud para identificar requerimientos funcionales y se efectuaron pruebas técnicas del sistema neumático y electrónico. Se construyó un prototipo funcional compuesto por un sistema neumático integrado a un sistema electrónico controlado mediante Bluetooth y programado en la plataforma Arduino. **Resultados:** El prototipo permitió realizar inflados y desinflados controlados de sectores independientes del colchón, posibilitando inclinación lateral asistida a nivel experimental. Las pruebas técnicas evidenciaron viabilidad funcional del sistema electrónico y control remoto estable. Se identificaron oportunidades de mejora en autonomía energética y calibración de servomotores. **Conclusiones:** El dispositivo desarrollado demuestra viabilidad técnica como sistema automatizado de apoyo para cambios posturales asistidos; asimismo, representa una propuesta tecnológica preliminar con potencial para contribuir a estrategias de prevención de úlceras por presión, para lo cual requiere validación clínica futura.

**Palabras clave:** úlcera por presión; cambio de posición; dispositivo de asistencia; tecnología.

**Recibido:** 01-11-2025

**Aceptado:** 15-12-2025

OPEN ACCESS



© 2025 Los autores. Publicado por la  
Revista Herediana de Rehabilitación.

## CITAR COMO:

Naveros AT, Macedo S, Mejía AS, Huamanvilca AP, Chaupis MD. Rotacare: innovación tecnológica automatizada para controlar cambios posturales en pacientes inmovilizados. Rev Hered Rehab. 2025; 8(2): e7268. doi: [10.20453/rhr.v8i2.7268](https://doi.org/10.20453/rhr.v8i2.7268)

## ABSTRACT

**Objective:** To design and operationally validate a low-cost automated prototype aimed at facilitating assisted postural changes in individuals with prolonged immobility and at risk of pressure ulcers. **Methodology:** A user-centered design approach was employed based on the ISO 9241-210:2019 standard. Semi-structured interviews were conducted with healthcare professionals to identify functional requirements, and technical testing of the pneumatic and electronic systems was performed. A functional prototype was developed, consisting of a pneumatic system integrated with an electronic system controlled via Bluetooth and programmed using Arduino. **Results:** The prototype enabled controlled inflation and deflation of independent sections of the mattress, allowing experimentally assisted lateral tilting. Technical testing demonstrated functional feasibility of the electronic system and stable remote control. Opportunities for improvement were identified in energy autonomy and servomotor calibration. **Conclusions:** The developed device demonstrates technical feasibility as an automated support system for assisted postural changes. It represents a preliminary technological solution with potential to contribute to pressure ulcer prevention strategies, though it requires further clinical validation.

**Keywords:** pressure ulcer; repositioning; assistive device; technology.

## RESUMO

**Objetivo:** Projetar e validar operacionalmente um protótipo automatizado de baixo custo, orientado a facilitar mudanças posturais assistidas em pessoas com imobilidade prolongada e risco de úlceras por pressão. **Metodologia:** Foi utilizado um enfoque de design centrado no usuário, baseado na norma ISO 9241-210:2019. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com profissionais de saúde para identificar requisitos funcionais, e efetuaram-se testes técnicos do sistema pneumático e eletrônico. Foi construído um protótipo funcional composto por um sistema pneumático integrado a um sistema eletrônico controlado via Bluetooth e programado em Arduino. **Resultados:** O protótipo permitiu realizar insuflações e desinsuflações controladas de setores independentes do colchão, possibilitando inclinação lateral assistida em nível experimental. Os testes técnicos evidenciaram a viabilidade funcional do sistema eletrônico e um controle remoto estável. Foram identificadas oportunidades de melhoria na autonomia energética e na calibração dos servomotores. **Conclusões:** O dispositivo desenvolvido demonstra viabilidade técnica como sistema automatizado de apoio para mudanças posturais assistidas. Representa uma proposta tecnológica preliminar com potencial para contribuir com estratégias de prevenção de úlceras por pressão, sendo necessária validação clínica futura.

**Palavras-chave:** úlcera por pressão; mudança de posição; dispositivo assistivo; tecnologia.

## INTRODUCCIÓN

La inmovilidad prolongada representa un desafío crítico de salud pública que afecta a pacientes con diversas condiciones clínicas, tales como paraplejía, cuadriplejía y enfermedades neuromusculares. Esta condición constituye el principal factor de riesgo para el desarrollo de úlceras por presión (UPP), lesiones cutáneas que no solo comprometen el bienestar del paciente, debido al dolor y al riesgo de infecciones graves, sino que también incrementan la mortalidad entre tres y seis veces, especialmente en adultos mayores y personas dependientes (1, 2).

A nivel local, la magnitud de esta problemática es evidente. Un estudio transversal realizado en el Hospital Cayetano Heredia reportó que el 19,5 % de los pacientes evaluados presentaban UPP, lo que subraya la necesidad urgente de soluciones efectivas en el contexto nacional,

donde la complejidad clínica se suma a una limitada disponibilidad tecnológica para terapias preventivas (3).

Actualmente, las estrategias de prevención más eficaces incluyen la valoración del riesgo mediante la Escala de Norton y, fundamentalmente, la realización de cambios posturales cada 2 o 3 horas (4, 5). Si bien existen colchones viscoelásticos y dispositivos de redistribución de presión, la dependencia de la intervención manual constante del personal de salud o del cuidador sigue siendo un obstáculo para el cumplimiento riguroso de estos protocolos.

En respuesta a esta limitación, el presente proyecto propone el desarrollo de un colchón automatizado diseñado para facilitar los cambios posturales de manera independiente. Mediante un sistema neumático controlado electrónicamente, este dispositivo ofrece una solución

de bajo costo, segura y de fácil adaptabilidad que busca reducir la incidencia de UPP. El objetivo es proporcionar una herramienta tecnológica que no solo mejore la autonomía y comodidad del paciente, sino que también optimice la carga asistencial del personal médico, permitiéndoles concentrar sus esfuerzos en tareas de mayor complejidad clínica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño del estudio

El presente trabajo corresponde a un estudio de desarrollo tecnológico y validación técnica preliminar (pruebas de concepto) enfocado en el desarrollo de un prototipo biomédico. El enfoque metodológico se basó en el diseño centrado en el usuario (DCU), siguiendo los lineamientos de la norma ISO 9241-210:2019 (6). El proceso se estructuró en cuatro fases secuenciales e iterativas: 1) análisis del contexto de uso y definición de la arquitectura del sistema; 2) especificación de requisitos técnicos y funcionales; 3) modelado y fabricación del prototipo (*hardware* y *software*); y 4) validación técnica experimental (*bench testing*).

### Población objetivo y criterios de diseño

Es importante diferenciar entre la población objetivo para la cual fue diseñada el dispositivo y la unidad de análisis del estudio. Las características descritas a continuación corresponden exclusivamente a la población objetivo considerada durante el proceso de diseño y no a una muestra evaluada experimentalmente.

La población objetivo está conformada por adultos entre 18 y 65 años que padecen de lesión medular (paraplejía o cuadriplejía), con permanencia prolongada en cama y alto riesgo de desarrollar UPP. Los parámetros antropométricos y de carga del prototipo se definieron considerando las características promedio de esta población y las zonas anatómicas de mayor vulnerabilidad. Como criterios de exclusión conceptuales, se consideraron pacientes fuera del rango etario establecido, con diagnósticos distintos o con condiciones que contraindiquen los cambios posturales.

Cabe precisar que el estudio no incluyó la participación directa de pacientes ni la evaluación clínica del prototipo. La información utilizada para orientar el diseño fue obtenida a través de especialistas que aportan conocimiento de primera mano sobre patrones posturales, molestias frecuentes, dificultades de manipulación y principales riesgos asociados a la permanencia prolongada en decúbito. La unidad de análisis estuvo constituida por el prototipo funcional Rotacare y simuladores físicos (fan-

tomas/pesos calibrados) que replicaron las cargas mecánicas de la región sacra y trocantérea de un adulto promedio.

### Instrumentos de recolección de datos

La recolección de información cualitativa se realizó mediante entrevistas semiestructuradas y sesiones de asesoría con una especialista en terapia ocupacional con experiencia en el manejo de pacientes inmovilizados. Durante el proceso de diseño, se llevaron a cabo reuniones periódicas de consulta, en las cuales se obtuvo información relevante sobre necesidades clínicas, dificultades de movilización, patrones posturales y requerimientos funcionales asociadas al cuidado de pacientes con permanencia prolongada en cama. Los aportes obtenidos permitieron identificar criterios de diseño relevantes y guiaron el desarrollo funcional del dispositivo.

De manera complementaria, se realizó una revisión bibliográfica sobre dispositivos existentes para la prevención de UPP, incluyendo patentes y soluciones tecnológicas utilizadas en otras instituciones. Esta revisión permitió identificar antecedentes relevantes, limitaciones tecnológicas y vacíos en el mercado, proporcionando información valiosa para la fase de diseño.

### Desarrollo y arquitectura del sistema

El dispositivo, denominado Rotacare, fue ideado como un sistema mecatrónico automatizado para la prevención de UPP. Para la fase de construcción, se empleó una metodología de manufactura aditiva y ensamblaje modular, integrando los siguientes subsistemas principales:

#### *Sistema de control y electrónica*

El núcleo de procesamiento se basó en una placa de desarrollo de código abierto Arduino UNO, equipada con el microcontrolador ATmega328P, seleccionado principalmente por su eficiencia en la alimentación de los sensores y su estabilidad en la ejecución de bucles de control secuencial. La comunicación inalámbrica para la telemetría y el control remoto se implementaron mediante un módulo Bluetooth HC-05 (protocolo UART). La etapa de potencia incluye controladores para gestionar la actuación de servomotores de alto torque (MG995), encargados de la apertura mecánica de las válvulas. El diseño del circuito en protoboard y esquemático se realizó mediante la plataforma de diseño electrónico EasyEDA.

#### *Sistema neumático y mecanismo de actuación*

El principio terapéutico del dispositivo se basa en la alternancia de presión mediante celdas de aire. El suministro

de flujo neumático fue provisto por una minicompresora de 12 V DC. Debido a la carencia de válvulas comerciales adaptables a los requerimientos específicos de caudal y costo del proyecto, se diseñó y fabricó un sistema de válvulas personalizado. Estas fueron modeladas en el *software* CAD (SolidWorks) y fabricadas mediante impresión 3D utilizando ácido poliláctico (PLA), configurando parámetros de impresión de alta densidad (*infill* del 100%) para garantizar la hermeticidad y resistencia a la presión interna.

### Interfaz de usuario y software

Se planteó el desarrollo de un aplicativo móvil compatible con el sistema operativo Android, diseñado para permitir al operario (cuidador o paciente) manejar el sentido y los intervalos de tiempo en la rotación, así como monitorear el estado del sistema en tiempo real.

### Validación y evaluación

La validación técnica del dispositivo se realizó a través de pruebas funcionales orientadas a verificar el correcto funcionamiento del sistema de control y del sistema neumático en condiciones de laboratorio.

### Procedimiento experimental

El prototipo fue diseñado e implementado en fases progresivas que incluyeron la selección de materiales y componentes, la integración del sistema neumático y electrónico, y la evaluación de su funcionamiento en un entorno simulado. El sistema fue operado mediante control inalámbrico, a través del sistema Bluetooth, permitiendo ejecutar el inflado y desinflado de los cojines neumáticos para simular cambios posturales asistidos.

### Pruebas funcionales

Estas pruebas consistieron en evaluar la capacidad del dispositivo para realizar el inflado y desinflado controlado de los cojines en respuesta a los comandos del usuario. Se verificó la activación del sistema electrónico, el funcionamiento de los servomotores, la apertura y el cierre de las válvulas y la respuesta del sistema neumático.

### Fases de prueba

La evaluación técnica se desarrolló en cuatro etapas principales:

1. Recepción de señal y comunicaciones inalámbrica: funcionamiento continuo del módulo Bluetooth en la recepción de señales provenientes de la aplicación móvil, destinadas al accionamiento del servomotor requerido.
2. Control de servomotores mediante Arduino UNO: ejecución mecánica de los servomotores para girar

en el sentido solicitado, a fin de integrarse al sistema neumático de válvulas.

3. Funcionamiento de válvulas y alimentación independiente: accionamiento mecánico de servomotores alimentado con una batería que controla las válvulas para regular el flujo de aire en las secciones del colchón, correspondientes al cambio postural elegido.
4. Simulación de rotación lateral: las secciones precisas del colchón se inflan para producir una inclinación mínima para que se pueda emular una rotación lateral como estrategia de cambio postural asistido.

### Consideraciones éticas

La presente investigación se limitó estrictamente al diseño, constitución y validación técnica *in vitro* de un dispositivo médico. No se requirió la intervención directa en pacientes ni el manejo de datos biológicos o historias clínicas; por consiguiente, según la normativa internacional vigente y los lineamientos institucionales, no requirió la aprobación de un comité de ética en investigación. Los autores garantizan que cualquier fase futura que implique validación clínica con pacientes será sometida a la revisión y aprobación ética correspondiente antes de su ejecución.

### RESULTADOS

El prototipo Rotacare, con una masa total de 2 kg aproximadamente, se compone de un colchón con diferentes secciones de inflado, conectado a válvulas automatizadas mediante un sistema electrónico para el inflado y desinflado controlado a distancia (figura 1).

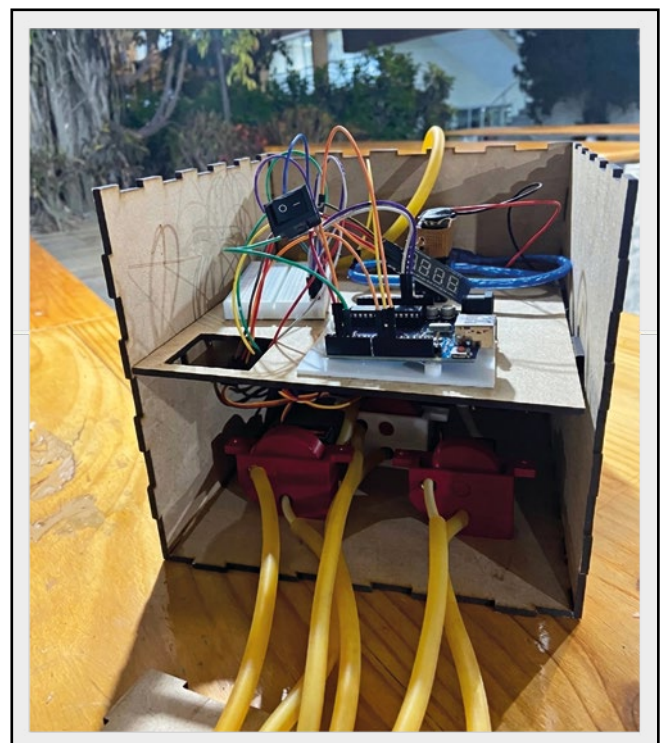


Figura 1. Prototipo final ensamblado.

### Arquitectura y funcionamiento del sistema:

Para mostrar el flujo operativo del sistema con sus componentes principales, se desarrolló un diagrama de arquitectura (figura 2), en el que se relacionan las cuatro fases de prueba con el flujo de información y funcionamiento general.

Para comprender el acople entre las funciones neumáticas y electrónicas, se planteó un diagrama de bloque modelo de caja negra (figura 3), el cual tiene tres entradas indispensables para la integración de los subsistemas.

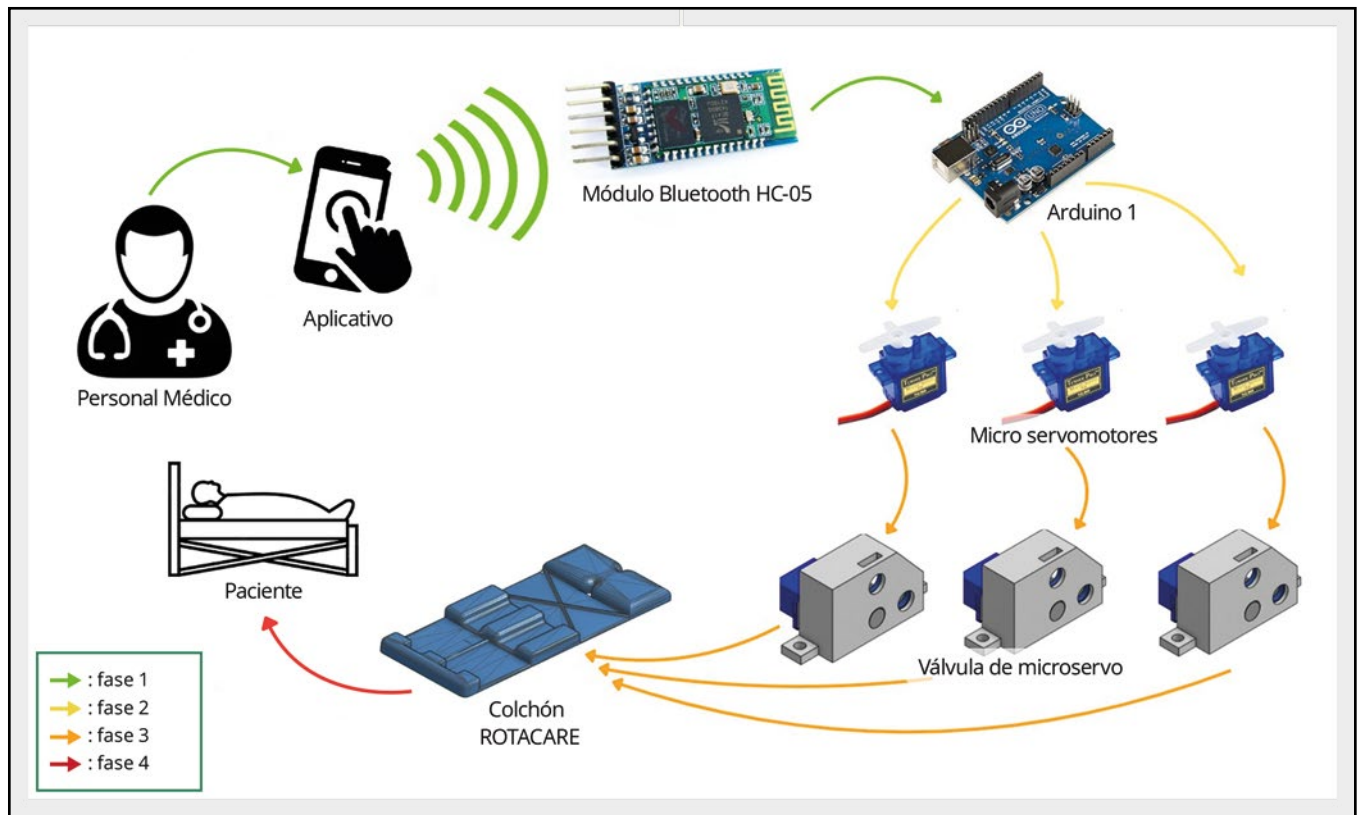


Figura 2. Flujo funcional sobre la arquitectura del prototipo.

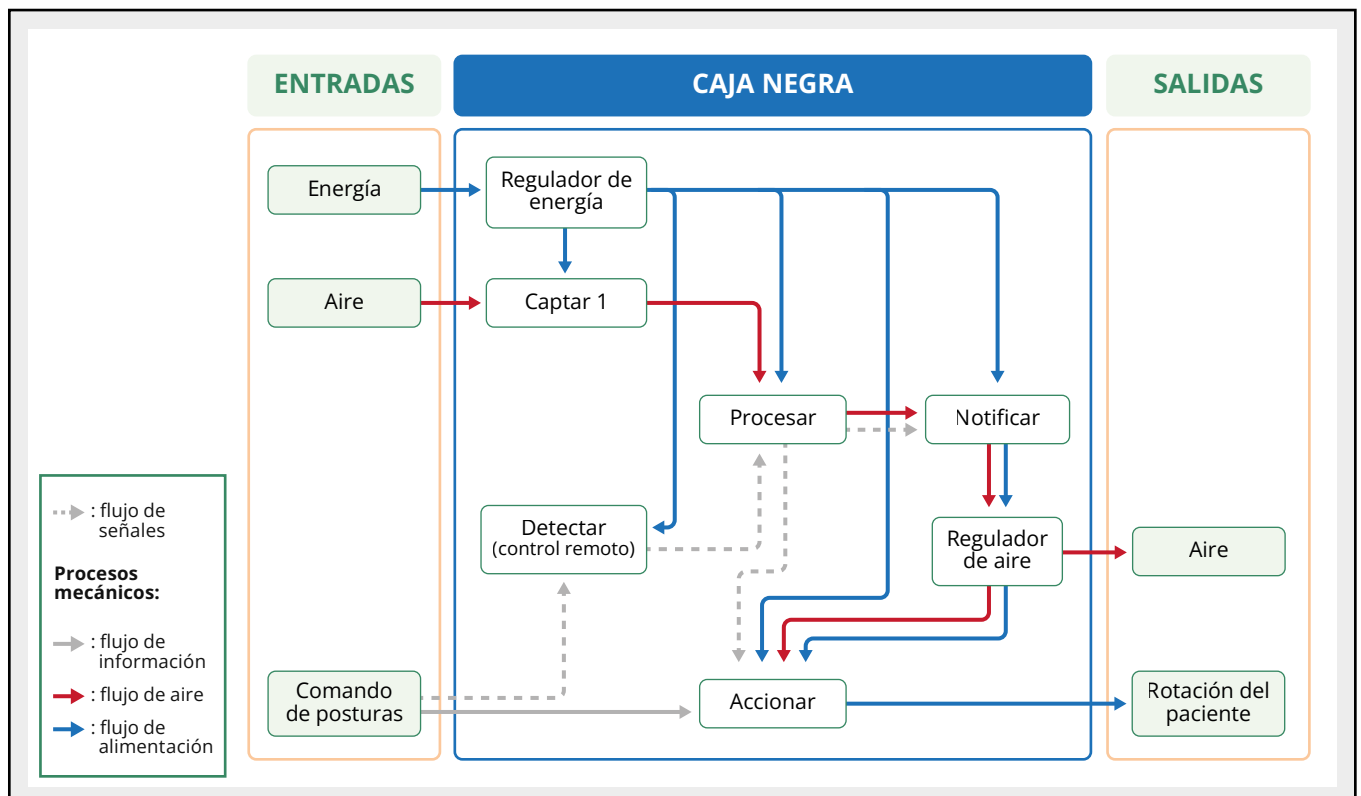


Figura 3. Diagrama de bloques de funciones.

Este diagrama describe los flujos de cada subsistema para el funcionamiento del sistema total, que incluye el flujo de información, de aire y de alimentación. El flujo de información señalado con líneas punteadas tiene como entrada el comando de posturas, el cual es detectado por el módulo Bluetooth en el sistema, para luego notificarlo al regulador de aire y brindar la salida mecánica de la rotación del paciente y la salida del aire al momento de desinflarse alguna sección del mismo (figura 3).

## Evaluación y validación técnica

Para evaluar el desempeño del sistema se realizaron múltiples pruebas funcionales en cada fase del prototipo, según su *hardware* (tabla 1) o *software* (tabla 2). En ambas se registró el número de pruebas realizadas, el porcentaje de eficiencia obtenido, según las pruebas exitosas sobre las pruebas totales por 100 %, y el cumplimiento del funcionamiento esperado. Se consideró que el sistema cumple con el funcionamiento cuando la eficiencia supera el 60 %.

**Tabla 1.** Validación de diseño *hardware* en el dispositivo Rotacare.

| Fase | Funcionamiento esperado   | Pruebas* | Eficiencia** | Cumplimiento*** | Observaciones  |
|------|---|----------|--------------|-----------------|--|
| 1    | App con diseño intuitivo para elegir el cambio postural                     | 0        | 0,0 %        | No              | Al usar la <i>app</i> vinculada al módulo Bluetooth, se limita al uso de comandos numéricos.                                     |
|      | Módulo Bluetooth detecta señal de aplicativo                                | 10       | 70,0 %       | Sí              | Módulo Bluetooth HC-05 presentó mayor estabilidad en la recepción de señales, en comparación con el sensor infrarrojo (IR).      |
| 2    | Movimiento mecánico del eje del microservomotor en el sentido programado    | 10       | 80,0 %       | Sí              | Las hélices no tenían agarre en el eje y no realizaban el movimiento programado.   |
|      | Servomotores reciben la señal eléctrica                                     | 5        | 100,0 %      | Sí              | Depende del cableado y la alimentación adecuados.  |
| 3    | Las válvulas de servomotores realizan el ciclo de presurización completo    | 9        | 66,6 %       | Sí              | Poca fuerza generada por las hélices para cierre hermético de la válvula.  |
|      | El flujo de aire en mangueras es constante y a una velocidad adecuada       | 8        | 75,0 %       | Sí              | La máquina compresora de aire presentaba fallas.<br>No teníamos conocimientos sólidos sobre el manejo de una compresora de aire. |
|      | Sistema de control de válvulas totalmente alimentado de forma independiente | 5        | 80,0 %       | Sí              | Se logró evidenciar una conexión alámbrica correcta.<br>El circuito funciona con una batería de 9 V.                             |
| 4    | Inflado diferencial de cámaras del colchón                                  | 4        | 75,0 %       | Sí              | Cada sección del colchón debe ser elaborada por separado para luego ensamblarlas, evitando fugas de aire por cada cápsula.       |
|      | El colchón ofrece inclinación que impulsa la rotación lateral               | 0        | 0,0 %        | No              | No se realizó pruebas en pacientes.  |
|      | El brazo actúa como palanca para completar la rotación lateral              | 0        | 0,0 %        | No              | No se realizó pruebas en pacientes.  |

\* Pruebas: Número de pruebas realizadas por actividad.

\*\* Eficiencia: (Número de pruebas exitosas/Total de pruebas realizadas)×100 %.

\*\*\* Cumplimiento: Si la eficiencia es mayor a 60 %, se considera un «sí» en el cumplimiento del funcionamiento.

Como se observa en la tabla 1, el sistema de comunicación Bluetooth presentó un desempeño estable con eficiencias que oscilaron alrededor de 70 %, evidenciando estabilidad en la transmisión de comandos. No obs-

tante, el sistema de válvulas neumáticas mostró menor eficiencia (66,6 %), debido principalmente a limitaciones en la fuerza mecánica de las hélices para controlar el flujo de aire y a fallas en la compresora de aire.

**Tabla 2.** Validación de diseño de *software* en el dispositivo Rotacare.

| Fase | Funcionamiento esperado  | Pruebas* | Eficiencia** | Cumplimiento*** | Observaciones  |
|------|--|----------|--------------|-----------------|--|
| 1    | Arduino UNO procesa el comando recibido por el módulo Bluetooth            | 8        | 62,5 %       | Sí              | Factible para la activación y desactivación de servos.<br>Reiniciar módulo Bluetooth antes de cada conexión                          |
|      | Programa en Arduino interpreta los datos recibidos por comunicación serial | 10       | 80,0 %       | Sí              | La interpretación del programa es correcta, aunque limitante en cuanto a sus comandos.   |
|      | Circuito reconoce la opción elegida en la <i>app</i>                       | 8        | 87,5 %       | Sí              | Cuando la transmisión falla, el circuito no reconoce alguna opción.  |
| 2    | El código de control define el ángulo de giro                              | 10       | 100,0 %      | Sí              | El código implementado tiene facilidad de acceso al cambio de ángulo de giro.  |
|      | Temporización del movimiento   | 0        | 0,0 %        | No              | El movimiento se realiza por comando, sin temporización programada.  |
|      | Lógica condicional para seleccionar el servomotor correspondiente          | 6        | 50,0 %       | No              | La selección del servomotor depende de la selección de apertura o cierre de válvula con comandos diferentes para cada acción.        |
| 3    | El dispositivo funciona de manera independiente por un tiempo prolongado   | 10       | 90,0 %       | Sí              | Solo se probó con una batería de 9 V. Proporciona autonomía durante 2 a 3 horas; falta realizar cálculos para una batería apropiada. |
|      | Control secuencial en el ciclo de presurización                            | 6        | 85,7 %       | Sí              | Existe una programación secuencial para el circuito, pero no está automatizado para ciclos completos.                                |
| 4    | Control del tiempo de mantenimiento de la postura                          | 0        | 0,0 %        | No              | No se realizó pruebas en pacientes.  |
|      | Retorno a la posición inicial contemplada                                  | 0        | 0,0 %        | No              | No se realizó pruebas en pacientes.  |

\* Pruebas: Número de pruebas realizadas por actividad.

\*\* Eficiencia: (Número de pruebas exitosas/Total de pruebas realizadas)×100 %.

\*\*\* Cumplimiento: Si la eficiencia es mayor a 60 %, se considera un «sí» en el cumplimiento del funcionamiento.

## Fabricación de componentes mediante impresión 3D

Durante el proceso de fabricación, se realizaron ajustes en el diseño inicial de los componentes debido a limita-

ciones económicas y de disponibilidad de piezas en el mercado local. Estos ajustes se presentaron en la tabla 3 para evaluar el diseño 3D:

**Tabla 3.** Desarrollo de componentes impresos en 3D.

| Requerimientos de diseños iniciales   | Requerimientos de diseño finales  | Resultados de test   |
|---|---|--|
| El cojín para el prototipo será comprado con material de policloruro de vinilo (lona) y se harán las modificaciones para conectarlo con los servomotores. | Se fabricarán varias cámaras a base de silicona con moldes a escala; posteriormente, se juntarán para formar el colchón.  | Debido al tiempo limitado, se elaboró una cámara a base de silicona y amoldable al cuerpo para la demostración del material.                                 |
| Para el flujo de aire, se optó por la compra de un conector de cuatro entradas entre el compresor de aire y cada válvula del sistema.                     | Debido a dificultades económicas, se optó por modelar el flujo de 4 entradas con un sistema de agarre para conectar las mangueras de las válvulas.  | Las válvulas se imprimieron con material de ácido poliláctico (PLA) con el sistema de agarre planteado para las mangueras.                                   |
| Se comprará válvula de servomotor con dos entradas.   | Por falta de mercado de válvulas en Perú, se elaboró un conector de 3 entradas para cada sistema de válvulas. Además, se elaboraron válvulas de microservo en 3D con un sistema mecánico. | Se modelaron las hélices de los servomotores para que encajaran en el sistema de apertura y cierre que se planteó en la válvula de microservo impresa en 3D. |

Durante el proceso de desarrollo, se identificaron diversas barreras técnicas, principalmente relacionadas con la disponibilidad de componentes en el mercado local y con la calibración de las válvulas de servomotores. Asimismo, el uso de impresión 3D permitió adaptar el diseño de las conexiones entre las mangueras del sistema neumático para cubrir las necesidades del sistema, constituyendo un facilitador clave para el desarrollo del prototipo.

En comparación con algunos sistemas comerciales utilizados para la prevención de UPP, como los colchones de presión alternante, el prototipo desarrollado presenta la ventaja de utilizar componentes accesibles y de bajo costo, además de incorporar procesos de manufactura digital, como la impresión 3D para la fabricación de válvulas personalizadas. Este enfoque podría facilitar la replicabilidad y adaptación del sistema en contextos con recursos limitados o en aplicaciones domiciliarias.

## DISCUSIÓN

El desarrollo del prototipo Rotacare permitió integrar de manera funcional un sistema neumático con un sistema electrónico programado mediante Arduino, orientado a facilitar cambios posturales asistidos en pacientes con movilidad reducida. Las pruebas técnicas realizadas evidenciaron que el sistema es capaz de ejecutar inflados y desinflados controlados en distintas secciones del colchón, lo que genera inclinaciones laterales experimentales que simulan cambios posturales asistidos.

Durante la fase de validación técnica se identificaron limitaciones importantes del prototipo. En primer lugar, algunos componentes mecánicos presentaron dificultades de ajuste, particularmente en el sistema de hélices de los servomotores, lo que afectó la eficiencia del cierre hermético de las válvulas. Adicionalmente, se detectaron limitaciones relacionadas con la fuerza generada por el sistema neumático, lo cual podría influir en la capacidad del dispositivo para generar una inclinación suficiente en escenarios reales. Otra limitación relevante corresponde a la autonomía energética del sistema, ya que las pruebas se realizaron utilizando una batería de 9 V, la cual permitió una autonomía aproximada de 2 a 3 horas. Este aspecto sugiere la necesidad de optimizar el sistema de alimentación eléctrica y evaluar alternativas de baterías con mayor capacidad para garantizar un funcionamiento continuo.

Desde el punto de vista tecnológico, los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica del sistema, particularmente en la comunicación inalámbrica mediante el módulo Bluetooth HC-05 y en el control de los servomotores responsables de accionar las válvulas neumáticas. De igual modo, la integración entre el sistema electrónico y el sistema neumático permitió ejecutar ciclos de presurización controlados, lo cual constituye un elemento clave para el funcionamiento del dispositivo.

Es importante señalar que el presente estudio se limitó a una validación técnica preliminar en condiciones de laboratorio, por lo que no se evaluó el desempeño del

dispositivo en pacientes ni su impacto clínico en la prevención de UPP. En consecuencia, los resultados obtenidos deben interpretarse como evidencia de factibilidad tecnológica del prototipo y no como demostración de efectividad clínica. Futuros estudios deberán enfocarse en optimizar el diseño mecánico y neumático del sistema, mejorar la autonomía energética del dispositivo e incorporar sensores de presión que permitan monitorear la distribución de cargas sobre la superficie del colchón. Asimismo, será necesario realizar estudios clínicos controlados que permitan evaluar la seguridad, usabilidad y efectividad del dispositivo en pacientes con inmovilidad prolongada.

## CONCLUSIONES

El prototipo Rotacare demostró viabilidad técnica en la integración de un sistema neumático y electrónico para la ejecución experimental de cambios posturales asistidos. Las pruebas realizadas evidenciaron que el dispositivo es capaz de controlar el inflado y desinflado de diferentes secciones del colchón mediante un sistema

automatizado programado en Arduino y controlado de forma inalámbrica.

Los resultados obtenidos confirman la factibilidad del desarrollo de soluciones tecnológicas de bajo costo orientadas al apoyo en el manejo de pacientes con inmovilidad prolongada. No obstante, el dispositivo desarrollado debe considerarse una propuesta tecnológica preliminar, ya que su validación se limitó a pruebas técnicas en condiciones de laboratorio.

Para determinar el potencial impacto del sistema en el ámbito clínico, será necesario realizar investigaciones posteriores que incluyan pruebas con usuarios finales, evaluación de la seguridad del dispositivo y estudios que analicen su posible contribución a las estrategias de prevención de úlceras por presión.

En este sentido, Rotacare representa un primer paso hacia el desarrollo de tecnologías biomédicas accesibles orientadas al soporte del cuidado de pacientes con movilidad reducida, cuya optimización y validación clínica constituyen líneas de investigación futuras.

### Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses relacionados con la realización y publicación de este trabajo.

### Financiamiento:

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias del sector público, comercial o entidades sin fines de lucro.

### Aprobación de ética:

No requirió la aprobación de un comité de ética en investigación debido a que la investigación se limitó estrictamente al diseño, constitución y validación técnica *in vitro* de un dispositivo médico, sin la intervención directa en pacientes ni el manejo de datos biológicos o historias clínicas.

### Contribución de autoría:

**ATND:** supervisión, investigación.

**SMP:** metodología.

**ASMB:** investigación.

**APHA:** validación.

**MDCH:** *software*.

### Correspondencia:

Angela Tatiana Naveros Diaz

✉ [angela.naveros@upch.pe](mailto:angela.naveros@upch.pe)

## REFERENCIAS

1. Campos I. Úlceras por presión en cuidados paliativos. NPunto [Internet]. 2021; 4(39): 76-94. Disponible en: <https://www.npunto.es/revista/39/ulceras-por-presion-en-cuidados-paliativos>
2. Alonso-Lorente C, Barrasa-Villar JI, Aibar-Remón C. Evolución de la prevalencia de úlceras por presión en un hospital de agudos de tercer nivel (2006-2013). Rev Calid Asist [Internet]. 2015; 30(3): 135-141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cali.2015.01.011>
3. Godoy MV. Prevalencia de úlcera por presión en pacientes hospitalizados en una institución prestadora de servicios de salud [tesis de licenciatura en Internet].

- Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2017. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12866/1492>
4. Pérez-Muñoz M, López-Casanova P, Verdú-Soriano J, Berenguer-Pérez M. Efectividad de los cambios posturales en la prevención de lesiones por presión en pacientes de atención primaria y domiciliaria. *Gerokomos* [Internet]. 2022; 33(4): 269-273. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1134-928X2022000400012](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-928X2022000400012)
  5. Luiz Cornejo AD, García Espinoza AN, Sandoval Alvear CR, Sanmartín Arévalo KS, Pozo Chuquín BA, Cunuhay Ante AE. Efectividad de los protocolos de prevención de úlceras por presión en pacientes hospitalizados: una revisión bibliográfica. *Ciencia Latina* [Internet]. 2024; 8(6): 11518-11534. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/15930>
  6. International Organization for Standardization. ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems. Geneva: ISO; 2019.