

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

**DESARROLLO DE SISTEMA DE
REHABILITACIÓN CON ÓRTESIS ROBÓTICA,
JUEGO MUSICAL Y MONITOREO PARA
PACIENTES CON AFECCIONES DE MANO**

**DEVELOPMENT OF A REHABILITATION SYSTEM WITH ROBOTIC
ORTHOSIS, MUSICAL INTERFACE, AND MONITORING FOR
PATIENTS
WITH HAND IMPAIRMENTS**

Sergio Elias Hoyos

Universidad Privada del Valle, Bolivia

Keyla Mey Martínez Montes de Oca

Universidad Privada del Valle, Bolivia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.19964

Desarrollo de Sistema de Rehabilitación con Órtesis Robótica, Juego Musical y Monitoreo para Pacientes con Afecciones de Mano

Sergio Elias Hoyos¹sergioeliashoyos@gmail.com<https://orcid.org/0009-0000-2822-9526>Universidad Privada del Valle
Bolivia**Keyla Mey Martínez Montes de Oca**key.martinez.mdo@gmail.com<https://orcid.org/0009-0000-8550-8054>Universidad Privada del Valle
Bolivia

RESUMEN

La mano es una parte fundamental y versátil del cuerpo humano, esencial para una amplia gama de movimientos en actividades diarias. Las afecciones en la mano pueden limitar gravemente su funcionalidad y afectar la calidad de vida. Estas condiciones pueden deberse a lesiones traumáticas, enfermedades degenerativas, accidentes cerebrovasculares, entre otras causas. La falta de motivación y la monotonía de los ejercicios convencionales representan obstáculos importantes para una recuperación efectiva. Ante esta problemática, el proyecto se centró en desarrollar una solución tecnológica que combinara una órtesis robótica, visión artificial y un juego interactivo, con el fin de potenciar el proceso de rehabilitación y fomentar la participación activa del paciente. Los resultados obtenidos a lo largo del estudio muestran una mejora significativa en la movilidad articular, destreza y fuerza de los pacientes, lo que evidencia el potencial del sistema para enriquecer el proceso de recuperación. En conclusión, la implementación del sistema representa un avance relevante en el campo de la rehabilitación, al complementar los métodos convencionales. Este proyecto resalta el valor de integrar tecnologías interactivas en la rehabilitación física, abriendo nuevas oportunidades para el tratamiento de afecciones de la mano y fortaleciendo el proceso de recuperación.

Palabras clave: juego, mano, órtesis robótica, rehabilitación, visión artificial

¹ Autor principal

Correspondencia: sergioeliashoyos@gmail.com

Development of a Rehabilitation System with robotic Orthosis, Musical Interface, and Monitoring for Patients with Hand Impairments

ABSTRACT

The hand is a fundamental and versatile part of the human body, essential for performing a wide range of movements in daily activities. Hand impairments can severely limit functionality and affect quality of life. These conditions may result from traumatic injuries, degenerative diseases, strokes, among other causes. A lack of motivation and the monotony of conventional rehabilitation exercises are major obstacles to effective recovery. To address this issue, the project focused on developing a technological solution that combines a robotic orthosis, computer vision, and an interactive musical interface to enhance the rehabilitation process and encourage active patient participation. The results obtained throughout the study show significant improvements in joint mobility, dexterity, and strength, highlighting the system's potential to enrich the recovery process. In conclusion, the implementation of this rehabilitation system represents a meaningful advancement in the field by complementing traditional rehabilitation methods. This project emphasizes the value of integrating interactive technologies into physical rehabilitation, opening new opportunities for treating hand impairments and strengthening patients' recovery processes.

Keywords: artificial vision, game, hand, rehabilitation, robotic orthosis

*Artículo recibido 05 setiembre 2025
Aceptado para publicación: 09 octubre 2025*



INTRODUCCIÓN

La mano es una de las estructuras más complejas y versátiles del cuerpo humano, esencial para una amplia variedad de actividades diarias que van desde acciones simples, como agarrar un objeto, hasta tareas más complejas, como escribir o tocar un instrumento musical (McGavin, 2014). Esta versatilidad se debe en gran parte a su capacidad de prensión, una función clave que se manifiesta desde el nacimiento y que permite sujetar y transportar objetos. La prensión se clasifica en dos tipos: precisión, que utiliza los pulpejos de los dedos para manipular objetos pequeños, y fuerza, que involucra toda la mano para sostener objetos más grandes (Enríquez, 2014; Quiguanás, 2018).

Sin embargo, diversas afecciones pueden comprometer esta funcionalidad. Condiciones como el síndrome del túnel carpiano, la artritis reumatoide y las lesiones traumáticas pueden limitar gravemente la capacidad de prensión, provocando dolor, rigidez y pérdida de movilidad (Steinberg, 2022; Rocha, 2022). Para abordar estos problemas, la rehabilitación de la mano es crucial, ya que se enfoca en recuperar la movilidad y la fuerza, lo que a su vez mejora la capacidad del paciente para realizar tareas cotidianas y, en última instancia, su calidad de vida (Yurkewich, 2022; ASSH, 2023; Sainz-de Murieta et al., 2022).

En este contexto, las órtesis se presentan como herramientas fundamentales. Diseñadas para asistir o sustituir los movimientos de las extremidades, las órtesis son dispositivos biomecánicos externos que pueden ser estáticas, manteniendo la posición de la mano, o dinámicas, permitiendo el movimiento, para ayudar a músculos débiles y restaurar la función (Arce, 2005; Ocello, 2015). Un avance significativo en este campo son las órtesis robóticas, que integran sistemas inteligentes de control y sensores, permitiendo una adaptación personalizada a las necesidades de cada paciente. Estas órtesis no solo ofrecen una amplia variedad de ejercicios y terapias personalizadas, sino que también complementan de manera efectiva la rehabilitación convencional, mejorando la calidad de vida de las personas con pérdida funcional parcial o total de la mano (Moreno, 2018; Gómez, 2016).

A pesar de los beneficios de las órtesis tradicionales y robóticas, muchos pacientes enfrentan el desafío de mantener la motivación durante su tratamiento debido a la monotonía de los ejercicios convencionales. Aquí es donde la integración de una órtesis robótica con juego musical interactivo cobra relevancia.



Esta combinación permite una experiencia de rehabilitación más atractiva y lúdica, incrementando la motivación del paciente y su compromiso con el tratamiento. Los videojuegos, conocidos por su capacidad de entretenimiento, han demostrado ser herramientas efectivas en la motivación de los pacientes, en el desarrollo de habilidades y como distractores durante el manejo del dolor, aplicándose con éxito en áreas como la fisioterapia y la terapia ocupacional (Annema, 2010; Cahuasa, 2024).

Además, la visión por computadora, una rama de la inteligencia artificial, aporta una dimensión adicional a este enfoque innovador. Al desarrollar sistemas que emulan la percepción y comprensión visual humana (Sánchez, 2022). La visión por computadora utiliza algoritmos y sensores para analizar y monitorear los movimientos del paciente en tiempo real. Esto permite ajustar los ejercicios según el progreso del paciente y proporcionar retroalimentación inmediata, optimizando así la efectividad de la rehabilitación (Lucena, 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño E Implementación De La Órtesis Del Dispositivo

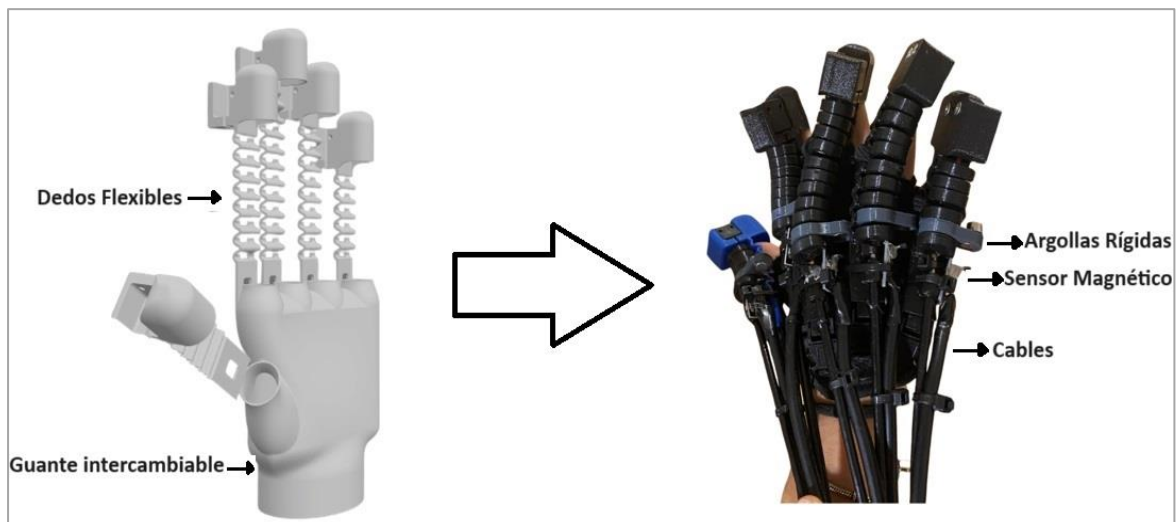
La órtesis del dispositivo fue diseñada priorizando la comodidad y facilidad de uso, con un enfoque especial en el confort del usuario, como se muestra en la Figura N°1. Los dedos de la órtesis están fabricados con filamento TPU (Poliuretano Termoplástico), un material flexible que permite una adaptación adecuada a la mano del paciente. Por otro lado, las argollas de los dedos de la órtesis desempeñan un papel esencial al servir como guías para el alambre responsable de la flexión y extensión de los dedos.

Estas argollas están diseñadas para ser impresas en filamento PLA (Ácido Poliláctico), que proporciona la rigidez necesaria para este propósito.

En conjunto, este diseño completo de la órtesis, logra un equilibrio adecuado entre flexibilidad y rigidez, garantizando una experiencia de uso cómoda y funcional para el paciente.



Figura N°1. Modelado en 3D de la órtesis de mano y órtesis implementada.



La Figura N°1 muestra la estructura detallada de la órtesis, donde cada dedo está fabricado con filamento flexible (TPU), mientras que las argollas están hechas con filamento rígido (PLA). Además, se observan los sensores magnéticos ubicados en la base de cada dedo, así como los cables que permiten el paso del alambre encargado de la flexión y extensión de los dedos de la órtesis.

Sistema De Guante De Órtesis Intercambiable

La órtesis robótica fue diseñada para ser compatible con ambas manos y adaptarse a diferentes tamaños de manos. Esto se logra mediante un sistema de guante intercambiable. Los dedos de la órtesis se fijan al guante mediante broches, lo que facilita su extracción y colocación según las necesidades del paciente.

Este diseño destaca por su simplicidad y versatilidad, lo que permite al especialista adaptar la órtesis de manera eficiente y también optimiza el tiempo de trabajo. La Figura N°2 muestra los distintos guantes de la órtesis, también se observa el sistema intercambiable con más detalle.

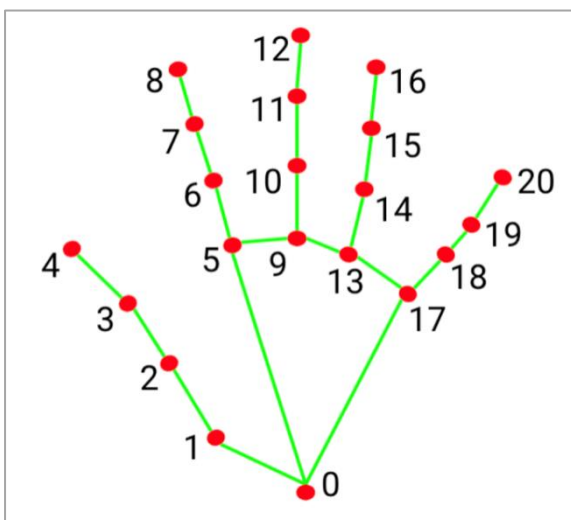
Figura N°2. Sistema de guante intercambiable.



Medición De La Flexión De Dedos Con Visión Artificial

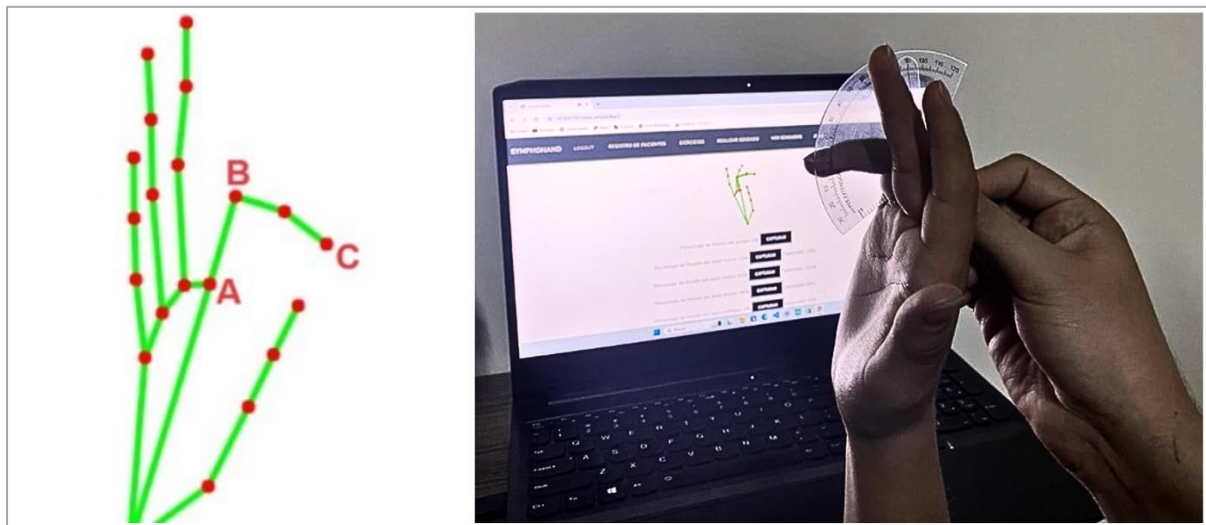
Para realizar la medición de la flexión de los dedos utilizando técnicas de visión artificial, se empleó MediaPipe, un framework de código abierto diseñado para el desarrollo de aplicaciones de percepción sensorial. MediaPipe incluye una herramienta específica para la detección de manos, conocida como Hand Landmarker. Esta herramienta, ilustrada en la Figura N°3, es capaz de identificar 21 puntos de referencia distribuidos a lo largo de la mano, facilitando un análisis detallado de los movimientos y la posición de cada dedo.

Figura N°3. Hand Lanmarkers.



Para realizar el cálculo de la flexión de dedos se llevó a cabo un estudio detallado de la flexión de los dedos, observando que al flexionar un dedo se forma un triángulo no rectángulo. Como consecuencia, se identificaron tres puntos cruciales en cada dedo. En el caso de los dedos índice, medio, anular y meñique, el primer punto (denominado punto *A*) corresponde a la articulación metacarpofalángica, el segundo punto (punto *B*) es la articulación interfalángica proximal, y el tercer punto (punto *C*) es la punta del dedo, tal como se muestra en la Figura N°4.

Figura N°4. Evaluación de la flexión de dedos.



Una vez identificados los puntos *A*, *B* y *C*, se procedió a calcular el ángulo formado por los segmentos de línea *AB*, *AC* y *BC*. Este ángulo representa la flexión del dedo en la articulación *B*.

Para calcular este ángulo, se empleó la ley de los cosenos, que se expresa como:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab * \cos(C) \quad (1)$$

Sustituyendo y reemplazando valores se llega a la siguiente fórmula:

$$B = \cos^{-1}\left(\frac{AB^2 + BC^2 - AC^2}{2AB * BC}\right) * \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

De esta manera, empleando la ley de los cosenos para calcular los ángulos, se facilita la determinación precisa del grado de flexión de los dedos en pacientes durante las evaluaciones.

Juego Musical Interactivo

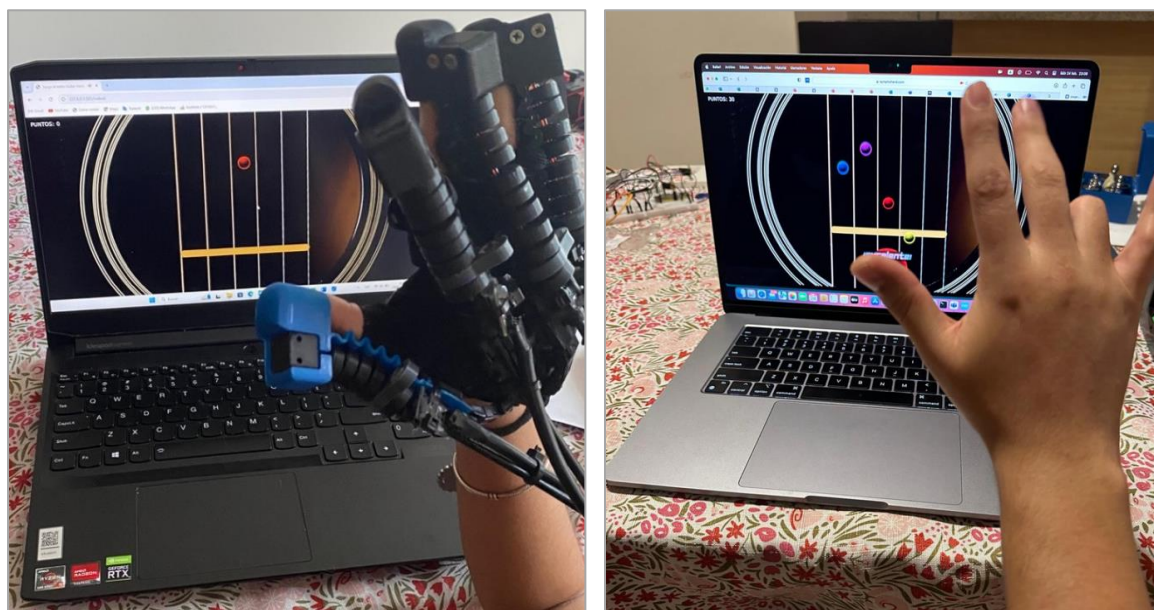
En el desarrollo del juego musical interactiva se utilizó Phaser, un framework especializado en la creación de videojuegos en HTML y JavaScript.

El juego cuenta con dos modos, el modo libre que integra visión artificial, pensado para pacientes que llevan una rehabilitación avanzada. Y el modo asistido, que se conecta con la órtesis robótica, pensado para su uso en pacientes que llevan una rehabilitación intermedia.

El juego se basa en la aparición de círculos musicales en cada uno de los carriles, los cuales están sincronizados con el ritmo de la música. Cuando estos círculos alcanzan la línea dorada en su respectivo carril, el paciente debe realizar la flexión del dedo correspondiente a dicho carril en el modo libre, como se observa en la Figura N°5. Por otro lado, de tratarse del modo asistido, cuando los círculos alcanzan la línea dorada, la órtesis robótica realizará la flexión del dedo correspondiente al carril del círculo.

Al utilizar visión artificial, el juego tiene la capacidad de detectar la mano del paciente y determinar el momento en que se realiza la flexión de los dedos.

Figura N°5. Juego musical interactivo.



Con el fin de garantizar un rendimiento óptimo del juego, se lleva a cabo una carga previa de todos los recursos necesarios. Esto incluye canciones, imágenes como el fondo, los círculos musicales, los efectos visuales, entre otros. Esta estrategia permite que el juego se ejecute de manera fluida al tener todos los recursos disponibles de antemano.

Una vez que todos los recursos se encuentran preparados, se inicia la secuencia de creación de los círculos musicales, estos círculos se programaron para ser creados en los instantes correspondientes al ritmo de la canción, para esto se tomó en cuenta el tempo en BMP (Beats per minute) de la canción lo

que traducido al español serían las pulsaciones por minuto de la canción. Con ese dato conocido, se deduce la siguiente fórmula:

$$\text{Duración del pulso en milisegundo} = \frac{60000}{\text{tempo}} \quad (3)$$

Este resultado brinda el intervalo de tiempo exacto que debe existir entre cada círculo musical.

Para que los círculos musicales comiencen a descender, se añaden físicas al juego y se someten estos círculos a dichas físicas.

Cada círculo musical se posiciona en su carril correspondiente mediante una coordenada en el plano XY. De manera similar, se emplea este método para determinar si el círculo está por debajo de la línea dorada. En caso afirmativo, y si se detecta la flexión del dedo del paciente en ese momento, se activan las animaciones previamente mencionadas y, finalmente, se elimina el círculo musical. Si no se detecta la flexión del dedo, el círculo sigue su trayectoria hasta llegar al borde de la pantalla, donde se elimina automáticamente. La conexión entre la detección de dedos con visión artificial y el juego resultó muy conveniente debido a la compatibilidad de los entornos de programación. Tanto la programación de la visión artificial como la del juego se realizaron utilizando HTML y JavaScript.

En esencia, se crean variables globales para representar la flexión de cada dedo. Estas variables globales posibilitan trabajar con ellas tanto en el código de la visión artificial como en el código del juego.

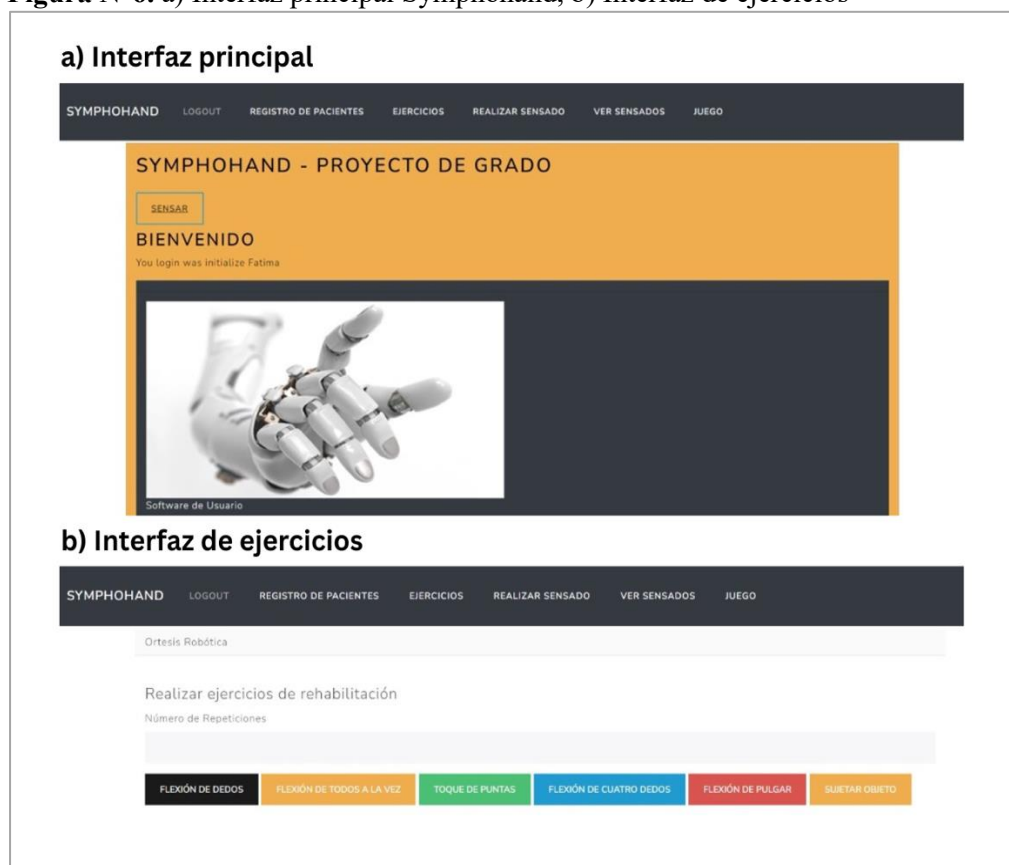
Desde el código de la visión artificial, después de inicializarse las librerías y funciones propias de este código, se llama (importa) al juego para que ambos códigos puedan trabajar en paralelo. Posteriormente, se inician ambas funciones y de esta forma se posibilita el trabajo de ambas funciones.

Interfaz Web

La interfaz web es una parte crucial del dispositivo, dado que permite al usuario controlar todas las funcionalidades del mismo de manera inalámbrica y remota. Desde el manejo de la órtesis robótica hasta la activación de la visión artificial y la interacción con el juego musical, esta interfaz centraliza el control en una plataforma coherente y fácil de usar, además permite visualizar el progreso de la rehabilitación del paciente mediante gráficas. Como se observa en la Figura N°6, la interfaz proporciona un acceso intuitivo a cada aspecto del sistema, permitiendo a los usuarios ajustar los parámetros e interactuar de manera eficaz con los elementos del tratamiento.



Figura N°6. a) Interfaz principal Symphohand, b) Interfaz de ejercicios



RESULTADOS

Para garantizar la eficacia y el correcto funcionamiento del dispositivo, se implementó un proceso de validación dividido en dos fases: la validación de la etapa de sensado y la validación del dispositivo en un entorno clínico.

Validación de la etapa de sensado

El proceso de validación en la etapa de sensado, se enfocó en verificar la precisión de las mediciones de flexión de dedos realizadas por el sistema de visión artificial integrado. Se llevó a cabo en un entorno controlado, utilizando un goniómetro marca HNKMP, modelo Pvc, como referencia estándar para las mediciones de flexión de dedos en grados sexagesimales. Cabe destacar que la resolución de este goniómetro es de 1 grado. Se realizaron pruebas exhaustivas que abarcaron mediciones en los cinco dedos de la mano, evaluando tres ángulos diferentes de flexión para cada uno. En total, se realizaron 150 mediciones distribuidas equitativamente a lo largo del periodo de estudio.

Una vez obtenidos los valores se precedió a realizar los cálculos estadísticos correspondientes para poder comparar el ángulo de flexión de dedos medido con la visión artificial, con el ángulo de flexión medido por el goniómetro.

Para lo cual se calculó la precisión con ayuda de la fórmula de la desviación estándar:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Los valores obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Determinación de la precisión mediante el cálculo de la desviación estándar.

Ángulo	Dedo	Precisión
30°	Pulgar	1.60
30°	Índice	1.83
30°	Medio	1.29
30°	Anular	2.03
30°	Meñique	1.71
60°	Pulgar	3.24
60°	Índice	2.45
60°	Medio	2.15
60°	Anular	2.51
60°	Meñique	2.22
100°	Pulgar	0.72
100°	Índice	2.87
100°	Medio	2.22
100°	Anular	1.64
100°	Meñique	1.75

Los resultados obtenidos en esta validación proporcionan una confirmación sólida de la precisión y fiabilidad del sistema de visión artificial integrado en el proyecto para medir el ángulo de flexión de dedos. La significativa correlación observada entre los datos obtenidos por el sistema y los obtenidos por el goniómetro valida la capacidad del sistema para realizar mediciones precisas en este contexto clínico.

Validación del dispositivo

Este proceso de validación se llevó a cabo en un entorno clínico, específicamente en el Centro de Fisioterapia y Kinesiólogía "FISIOELECTRO" en la ciudad de Cochabamba - Bolivia, donde se contó con instalaciones adecuadas y personal capacitado para la realización de este tipo de pruebas. La validación se extendió por un periodo de más de un mes, permitiendo así un seguimiento prolongado de la interacción entre los pacientes y el sistema de rehabilitación.

Durante el periodo de validación, se seleccionaron dos pacientes con afecciones de mano de diferentes edades y características. Cada paciente participó en sesiones de rehabilitación utilizando el sistema de órtesis robótica con juego interactivo, mientras se registraban datos relevantes sobre su progreso y respuesta al tratamiento.

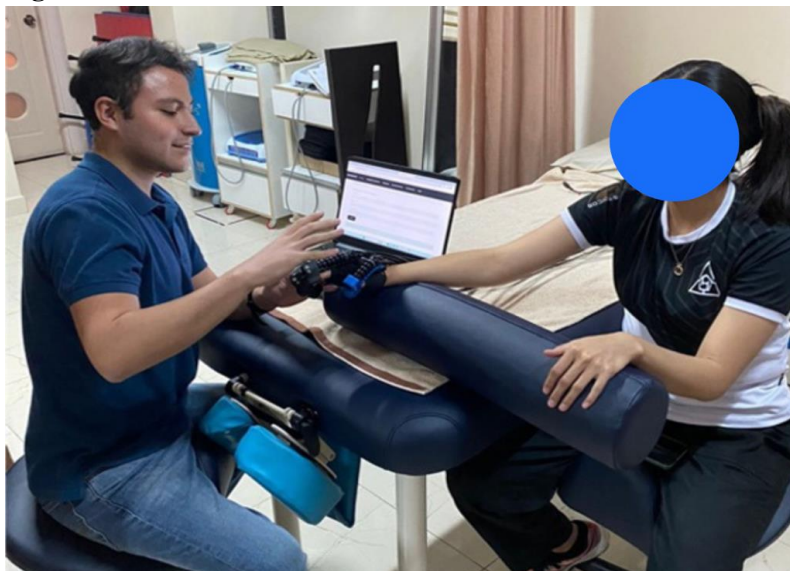
- **Paciente N°1**

El primer paciente se trató de una mujer de 22 años que experimentó una lesión. La lesión resultante fue un esguince de segundo grado en la musculatura flexora de la muñeca, confirmado mediante estudios ecográficos. Como parte del tratamiento inicial, se le recomendó inmovilización durante un período de un mes.

Durante este período, la paciente experimentó una pérdida de rangos de movimiento al realizar la flexión de dedos, lo que motivó la búsqueda de intervenciones adicionales para su recuperación.

Se procedió a la etapa de rehabilitación funcional de la mano. En esta fase, se incorporó el uso del dispositivo como parte de un enfoque integral para recuperar la función y movilidad de la mano afectada. Posteriormente, se integró la tecnología de un juego interactivo para optimizar los rangos de movimiento en la flexión interfalángica de los dedos, completando así el proceso de rehabilitación.

Figura N°7. Rehabilitación funcional con órtesis robótica en Paciente N°1



Tras el período de rehabilitación con el dispositivo, se evidenciaron avances notables en la recuperación del rango de flexión de la paciente, como se detalla en la Tabla 2. Durante el curso del tratamiento, la paciente experimentó una rehabilitación gradual y constante, logrando recuperar un porcentaje significativo de la flexión de los dedos.

Tabla 2. Comparación antes y después de realizar los ejercicios de rehabilitación. Paciente 1.

Dedo	Antes de los ejercicios con el dispositivo	Inmediatamente después de los ejercicios
Pulgar	28°	30°
Índice	17°	21°
Medio	14°	16°
Anular	8°	16°
Meñique	7°	9°
Pulgar	36°	41°
Índice	28°	31°
Medio	18°	28°
Anular	20°	33°
Meñique	20°	30°
Pulgar	46°	50°
Índice	34°	38°
Medio	33°	40°
Anular	35°	38°
Meñique	36°	42°
Pulgar	52°	56°
Índice	46°	42°
Medio	45°	46°
Anular	44°	50°
Meñique	34°	44°
Pulgar	60°	64°
Índice	51°	51°
Medio	51°	49°
Anular	52°	49°
Meñique	51°	55°
Pulgar	70°	77°
Índice	57°	65°
Medio	52°	63°
Anular	57°	63°
Meñique	57°	69°
Pulgar	81°	85°
Índice	71°	74°
Medio	67°	72°
Anular	70°	70°
Meñique	74°	72°
Pulgar	88°	90°
Índice	75°	79°
Medio	72°	77°
Anular	71°	76°
Meñique	77°	80°

Los resultados obtenidos, muestran un incremento considerable en el rango de flexión de dedos de la paciente después de la aplicación del dispositivo. Estos hallazgos sugieren una mejora substancial en la funcionalidad de la mano de la paciente, indicando una recuperación exitosa de su capacidad de flexión.

- **Paciente N°2**

El segundo paciente se trató de un hombre de 44 años, sufrió un accidente cerebrovascular tipo isquémico aproximadamente un año atrás. Tras una evaluación funcional exhaustiva, se observó que el paciente presenta un patrón flexor en el miembro superior derecho, caracterizado por un tono muscular espástico que le dificulta realizar la extensión activa de la mano.

El objetivo de la rehabilitación es facilitar la regulación del tono muscular, permitiendo al paciente la posibilidad de realizar movimientos de extensión de la mano. Se buscó, además, establecer una reeducación paralela entre la mano afectada y la mano sana, con el fin de recuperar los rangos de movimiento óptimos en extensión. Este proceso terapéutico es fundamental para mejorar la funcionalidad y la independencia del paciente en las actividades de la vida diaria.

Mediante la utilización de la órtesis robótica en conjunto con las técnicas de regulación del tono y la reeducación de la mano, se buscó lograr una transición gradual hacia un patrón de tono muscular normotónico. Ver Figura N°8.

Figura N°8. Rehabilitación funcional con órtesis robótica en Paciente N°2



Este progreso terapéutico no solo facilita la realización de actividades simples, como agarrar un vaso o una pelota, sino que también mejora la calidad de vida del paciente al aumentar su autonomía y funcionalidad en el día a día. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Comparación antes y después de realizar los ejercicios de rehabilitación. Paciente 2.

Dedo	Antes de los ejercicios con el dispositivo	Inmediatamente después de los ejercicios
Pulgar	88°	27°
Índice	91°	86°
Medio	89°	40°
Anular	93°	35°
Meñique	88°	37°
Pulgar	100°	43°
Índice	89°	69°
Medio	81°	64°
Anular	94°	32°
Meñique	66°	46°
Pulgar	87°	83°
Índice	100°	73°
Medio	100°	61°
Anular	97°	31°
Meñique	85°	45°
Pulgar	92°	77°
Índice	95°	67°
Medio	92°	44°
Anular	96°	39°
Meñique	87°	50°
Pulgar	87°	74°
Índice	92°	74°
Medio	93°	64°
Anular	91°	47°
Meñique	89°	48°

La rehabilitación de pacientes con cuadros de este tipo suele ser un proceso prolongado y desafiante, que en ocasiones puede extenderse a lo largo de varios años. Sin embargo, los resultados obtenidos con este paciente son alentadores. Antes de utilizar el dispositivo, el paciente presenta una mano cerrada y rígida. No obstante, tras la aplicación del dispositivo, se observó una notable relajación en la mano afectada y un aumento en el rango de estiramiento de dedos. Este progreso inicial es muy prometedor y sugiere el potencial del dispositivo como una herramienta efectiva en la rehabilitación de pacientes con afecciones similares.



Además de los ejercicios de estiramiento, se implementaron ejercicios de reeducación diseñados para mejorar la funcionalidad de la mano del paciente. Estos ejercicios están dirigidos a fortalecer los músculos, mejorar la coordinación y promover la adaptación neuromuscular. Se espera que, con la continuación de la terapia y el seguimiento adecuado, estos ejercicios contribuyan a una recuperación aún más significativa en el futuro próximo. Este enfoque integral y multidisciplinario de la rehabilitación ofrece una perspectiva optimista para la mejora continua del paciente y su calidad de vida.

DISCUSIÓN

En este estudio, la implementación del dispositivo ha demostrado ser una estrategia prometedora para mejorar la rehabilitación de pacientes con afecciones en la mano. La mano, reconocida por su complejidad y esencialidad en las actividades diarias, puede verse significativamente afectada por diversas patologías que limitan su funcionalidad. El enfoque ha sido diseñar una solución que no solo asista mecánicamente los movimientos, sino que también incorpore un elemento lúdico para aumentar la adherencia al tratamiento.

A diferencia de las órtesis tradicionales, que suelen ser pasivas, el dispositivo desarrollado está equipado con sensores y controles inteligentes que permiten una personalización profunda y un feedback sobre el desempeño del paciente. Esta personalización es crucial, dado que la rehabilitación de la mano requiere una consideración cuidadosa de la biomecánica individual y las metas específicas de recuperación.

Además, la integración de un juego interactivo aborda un problema común en la rehabilitación: la falta de motivación. Muchos pacientes encuentran que la repetición de ejercicios puede ser monótona y desalentadora. Al sincronizar los movimientos de rehabilitación con los ritmos musicales, los pacientes no solo se enganchan durante las sesiones de terapia, sino que también pueden mejorar su tiempo de respuesta y precisión, elementos que son fundamentales para la recuperación efectiva de la función de la mano.



CONCLUSIONES

Este dispositivo demostró ser una herramienta efectiva que complementa y enriquece los métodos tradicionales de fisioterapia. La investigación inicial y el diseño meticuloso del sistema fueron fundamentales para adaptar el dispositivo a las necesidades específicas de los pacientes, ofreciendo un enfoque personalizado que mejora el proceso de rehabilitación.

La integración de tecnologías avanzadas en el diseño y fabricación del dispositivo facilitó su aplicación en diversos entornos clínicos, proporcionando comodidad y adaptabilidad. Además, la implementación de una interfaz web optimizó la interacción con el dispositivo, permitiendo un monitoreo detallado y accesible del avance de cada paciente.

La incorporación de un juego musical interactivo enriqueció la experiencia de rehabilitación, elevando la motivación de los pacientes y fomentando una mayor adherencia al tratamiento propuesto. Este enfoque interactivo fue acogido positivamente y demostró incrementar la eficacia de las sesiones de rehabilitación.

Las evaluaciones clínicas confirmaron la efectividad del dispositivo, revelando mejoras sustanciales en la funcionalidad y movilidad de los pacientes. Este éxito subraya la importancia de continuar con la innovación en el campo de la tecnología de rehabilitación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arce, C. (2005). Órtesis de miembros superiores. Recuperado el 08 de marzo de 2025, de http://arcesw.com/o_m_s.pdf.

Annema, J.-H., Verstraete, M., Vanden, V., Desmet, S., & Geerts, D. (2010). Videogames in therapy: a therapist's perspective. *International Journal of Arts and Technology*, 1–6. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/221276189_Video_games_in_therapy_A_therapist's_perspective

ASSH. (2023). Hand Therapy American Society for Surgery of the Hand. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.assh.org/handcare/condition/terapia-de-mano#:~:text=La%20terapia%20de%20mano%20es,un%20estilo%20de%20vida%20producti>



- Cahuasa, B. (2024). *Los videojuegos, herramientas terapéuticas para la salud mental*. Recuperado el 15 de marzo de 2025, de <https://unifranz.edu.bo/blog/los-videojuegos-herramientas-terapeuticas-para-la-salud-mental/>
- Enríquez, Y. N. (2014). Sistema robótico de tipo exoesqueleto para rehabilitación de la mano. *Comité Español de Automática de la IFAC*, 1–7.
- Galloway, E. S. (2015). Soft Robotic Glove for Hand Rehabilitation. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2913–2919.
- Gómez, J., Moreno, J., Gil, J., Becerra, J., & Orozco, C. (2016). Rehabilitación de la mano con órtesis robótica. *Rev Col Med Fis Rehab*, 26(2), 174–179.
- Lucena, P. (2024). *¿Qué es la visión artificial?*. Recuperado el 8 de marzo de 2025, de <https://www.cesuma.mx/blog/que-es-la-vision-artificial.html>
- Moreno, J. (2018, marzo 1). *Órtesis robótica para rehabilitación de mano y muñeca*. Recuperado el 14 de marzo de 2025, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/50/77/5f/13f697daf4886b/WO2018036571A1.pdf>
- Ocello, M. (2015). *Ortesis y prótesis: herramientas para la rehabilitación*. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de <https://iuymca.edu.ar/wp-content/uploads/2022/09/ORTESIS-Y-PROTESIS-UNO.pdf>
- Quiguanás, D. (2018). La Mano. *Función Motora Manual en Parálisis Cerebral*, 21–23. Recuperado el 7 de marzo de 2025, de <https://doi.org/10.35985/9789588920863>
- Rocha, R. (2022, enero 22). *Patología de muñeca y mano en el ámbito laboral - Revista Medico Jurídica*. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://revistamedicojuridica.com/blog/2022/01/22/patologia-de-muneca-y-mano-en-el-ambito-laboral/>
- Sainz-de Murieta, E., Cisneros, M. T., Sainz-de Murieta, E., & Cisneros, M. T. (2022). Rehabilitación y capacidad funcional en la salud del siglo XXI. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(3). Recuperado el 13 de marzo de 2025, de <https://doi.org/10.23938/ASSN.1028>



Sánchez, L. (2022). *Inteligencia artificial y visión por computadora aplicada a la educación*.

Recuperado el 9 de marzo de 2025, de

https://www.researchgate.net/publication/361239645_Inteligencia_artificial_y_vision_por_computadora_aplicada_a_la_educacion

Steinberg, D. (2022, abril). *Generalidades y evaluación de enfermedades de la mano - Trastornos de los tejidos musculoesquelético y conectivo - Manual MSD versión para profesionales*.

Recuperado el 10 de marzo de 2025, de

<https://www.msmanuals.com/es/professional/trastornos-de-los-tejidos-musculoesquel%C3%A9tico-y-conectivo/enfermedades-de-la-mano/generalidades-y-evaluaci%C3%B3n-de-enfermedades-de-la-mano>

Yurkewich, A. (2022). *Natinal Library of Medicine*. Recuperado el 14 de marzo de 2025, de

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36212185/>

