

Análisis de la eficacia del dispositivo de rehabilitación de muñeca en la recuperación postoperatoria

Analysis of the efficacy of the wrist rehabilitation device in postoperative recovery

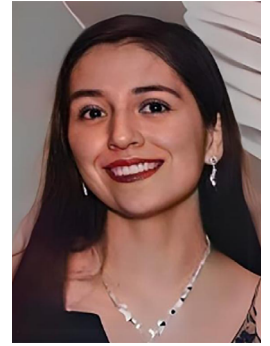
Lilian Chowell Ceniceros ¹



¹ Universidad La Salle Bajío, Facultad de Diseño. León, México;

Autora de correspondencia: lilianchowell24@gmail.com

Recepción: 04-09-2024 / Aceptación: 20-10-2024 / Publicación: 28-10-2024



Resumen

Este estudio presenta el desarrollo y la evaluación de un dispositivo especializado para la rehabilitación de muñeca, diseñado para mejorar la recuperación postoperatoria y la fuerza en pacientes con lesiones de muñeca. A partir de entrevistas con profesionales de la salud y un análisis de las necesidades de los pacientes, se desarrolló un aparato ergonómico y adaptable, equipado con un microcontrolador, sensor de movimiento y display, que facilita la rehabilitación mediante ejercicios guiados y personalizados. Se propone un ensayo clínico para evaluar la eficacia del dispositivo en comparación con métodos convencionales de rehabilitación, tales como pesas de mano y bandas de resistencia. El dispositivo se espera que mejore significativamente el rango de movimiento, la fuerza de agarre y la calidad de recuperación de los pacientes, ofreciendo una solución más precisa y controlada que las alternativas comparadas. Además, la integración de un sistema de monitoreo no intrusivo permite la recopilación continua de datos, lo que facilita la personalización de los tratamientos y el seguimiento remoto por parte de los fisioterapeutas.

Palabras clave: Rehabilitación de muñeca; dispositivo biomédico; fuerza de agarre; recuperación postoperatoria; ejercicios guiados; monitoreo remoto; ergonomía; ensayo clínico; calidad de vida; fisioterapia.

Abstract

This study presents the development and evaluation of a specialized wrist rehabilitation device, designed to enhance postoperative recovery and strength in patients with wrist injuries. Through interviews with healthcare professionals and an analysis of patient needs, an ergonomic and adaptable device was developed, featuring a microcontroller, motion sensor, and display, which facilitates rehabilitation through guided and personalized exercises. A clinical trial is proposed to assess the device's effectiveness compared to conventional rehabilitation methods, such as hand

weights and resistance bands. The device is expected to significantly improve the patient's range of motion, grip strength, and quality of life, providing a more precise and controlled solution than existing alternatives. Additionally, integrating a non-intrusive monitoring system allows for continuous data collection, facilitating personalized treatments and remote monitoring by physiotherapists.

Keywords: wrist rehabilitation; biomedical device; grip strength; postoperative recovery; guided exercises; remote monitoring; ergonomics; clinical trial; quality of life; physiotherapy.

1. Introducción

“La rehabilitación de la muñeca tras una cirugía o lesión representa un desafío considerable para los pacientes. Como señalan Fernández-Carnero y colaboradores (2018), “la recuperación funcional completa de la muñeca puede ser un proceso largo y complejo, especialmente en casos de lesiones severas o múltiples procedimientos quirúrgicos”... Los métodos convencionales de rehabilitación, aunque útiles en muchos casos, pueden presentar limitaciones. Según un estudio de Smith et al. (2017), “el uso exclusivo de pesas de mano y bandas de resistencia podría no ser suficiente para optimizar la recuperación de la fuerza y el movimiento en pacientes con debilidad muscular post quirúrgica”...

En respuesta a esta problemática, se llevó a cabo un proyecto de diseño biomédico en el programa de Diseño Industrial durante el año 2023, enfocado en desarrollar un dispositivo de rehabilitación

de muñeca. El objetivo general de este proyecto fue crear un dispositivo que no solo facilite la recuperación funcional de la muñeca, sino que también sea accesible y adaptable a las necesidades individuales de los pacientes. A través de entrevistas con fisioterapeutas, como con el Dr. Andrés Rivera, se identificaron las limitaciones de los métodos actuales como el enfoque limitado en la fuerza estática y la falta de retroalimentación en tiempo real durante las sesiones de rehabilitación. Se conceptualizó un aparato que integra tecnologías avanzadas, como un microcontrolador y un sensor de movimiento, para proporcionar una rehabilitación más guiada y personalizada.

El presente artículo detalla el desarrollo de este dispositivo, sus características innovadoras, y los resultados esperados de su implementación en ensayos clínicos con pacientes que han experimentado una cirugía o pérdida de fuerza en la muñeca. Se espera que este dispositivo no solo mejore la eficacia de la rehabilitación en términos de fuerza y movilidad, sino que también contribuya a una mejor calidad de recuperación para los pacientes afectados.

2. Desarrollo

Resultados en caso clínico real

Para evaluar la efectividad del dispositivo de rehabilitación de muñeca desarrollado, se llevó a cabo un estudio de caso con Liliana Franco, una joven de 22 años estudiante de diseño industrial. Liliana fue diagnosticada con síndrome del túnel carpiano, una condición que surgió tras

un esguince en la muñeca ocurrido mientras jugaba voleibol a los 20 años. Esta lesión le ocasionaba dolor recurrente en la muñeca, así como entumecimiento y hormigueo en la mano y los dedos, síntomas que se acentuaban durante la noche o en climas fríos. Además, la paciente enfrentaba dificultades para realizar tareas cotidianas como escribir, teclear durante períodos prolongados, y recortar materiales, todas actividades esenciales en su rutina académica.

Previo a la implementación de nuestro dispositivo, Liliana había seguido un tratamiento de rehabilitación convencional durante un año, que incluía ejercicios de estiramiento y fortalecimiento, así como terapia ocupacional. Sin embargo, los avances en la reducción de los síntomas y la recuperación de la funcionalidad de la muñeca habían sido limitados.

Intervención con el dispositivo

Lo recomendado para poner en práctica un protocolo de ejercicio de resistencia progresiva, es utilizar mancuernas, gomas elásticas u otras modalidades para ofrecer resistencia al músculo que se está ejercitando. Suelen recomendarse tres o cuatro series de 10 repeticiones, con un incremento progresivo de la resistencia de una serie a otra o de una sesión a la siguiente (William E. Prentice, 2001).

Con el objetivo de evaluar la efectividad del dispositivo, Liliana utilizó el aparato de rehabilitación durante 10 días consecutivos, realizando dos sesiones diarias. Cada sesión consistió en 10 repeticiones de ejercicios de extensión de muñeca, utilizando un peso de 0.5 kg. Según los estándares de rehabilitación, el rango máximo de movimiento para un ejercicio de extensión de muñeca es de 35 grados, un objetivo clave para determinar la mejora en la movilidad de la articulación.

Durante este periodo de 10 días, se realizaron mediciones diarias para monitorear tanto la fuerza como el rango de movimiento de la muñeca de la paciente. Los datos recolectados fueron analizados para determinar el impacto del dispositivo en la recuperación funcional de la muñeca.

Análisis y resultados

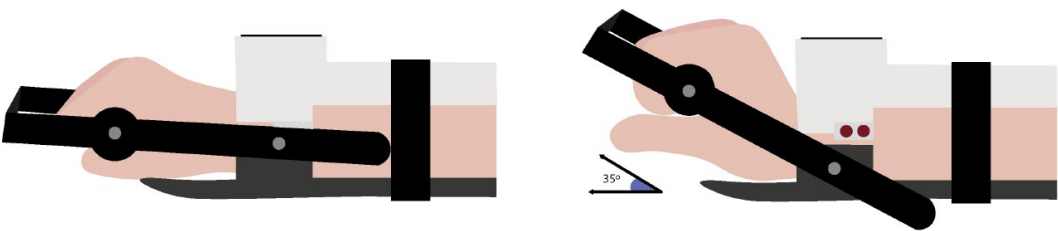
Los resultados obtenidos de este estudio de caso demostraron que el dispositivo de rehabilitación fue efectivo en mejorar tanto la fuerza como la flexibilidad de la muñeca. El número de repeticiones realizadas en el ejercicio de extensión de muñeca incrementó de 20 a 28 durante el período de estudio, lo que indicó una mejora significativa en la fuerza de la muñeca. Este aumento en las repeticiones refleja la capacidad creciente de la paciente para realizar movimientos repetitivos sin experimentar fatiga o dolor excesivo, lo que sugiere una recuperación progresiva de la fuerza muscular en la muñeca.

DÍA	FUERZA APLICADA	RANGO DE MOV. EN GRADOS	N.º DE REPETICIONES	OBSERVACIONES
Día 1	0.5 kg	30º	15	Se observó molestia leve en el área dorsal de la muñeca durante la extensión.
Día 2	0.5 kg	30º	16	La paciente reporta reducción de la molestia, pero presenta ligera fatiga muscular al finalizar.
Día 3	0.5 kg	32º	17	Mejoría en la comodidad; se observa una técnica adecuada en la ejecución del ejercicio.
Día 4	0.5 kg	31º	18	Sin molestias significativas; se verifica una mayor amplitud de movimiento al realizar la extensión.
Día 5	0.5 kg	32º	20	La paciente reporta sensación de mayor fuerza; se observan signos de mejoría.
Día 6	0.5 kg	32º	22	Se documenta una ejecución más fluida del movimiento.
Día 7	0.5 kg	33º	25	Notable mejoría en la flexibilidad; se observa disminución en la rigidez articular.
Día 8	0.5 kg	33º	25	Sin dolor; ligera fatiga muscular al finalizar, pero tolerable.
Día 9	0.5 kg	34º	26	La paciente se siente motivada; se aprecia aumento en la resistencia al realizar el ejercicio.
Día 10	0.5 kg	35º	28	Mantiene buena técnica; se observa un rango de movimiento casi completo sin molestias.

Tabla 1. Progreso de la Paciente Liliana Franco durante el Período de Rehabilitación.

Además, el rango de movimiento de la muñeca de Liliana también mostró una mejora notable. Al inicio del tratamiento, el rango de movimiento durante la extensión de muñeca era de 30 grados, ligeramente por debajo del estándar óptimo de 35 grados. Sin embargo, al finalizar los 10 días de uso del dispositivo, el rango de

movimiento había aumentado a 35 grados, alcanzando el objetivo terapéutico. Este incremento en la flexibilidad es un indicativo claro de que el dispositivo no solo ayudó a restaurar la fuerza, sino también la movilidad de la articulación, facilitando una recuperación más completa y funcional.



Conclusiones del estudio del caso

En términos generales, los resultados recopilados de este estudio de caso sugieren que el dispositivo de rehabilitación para lesiones de muñeca es una herramienta eficaz para incrementar tanto la fuerza como el rango de movimiento de dicha articulación. A continuación, se presentan datos cuantitativos que evidencian esta mejora:

1. **Incremento en la Fuerza:** Se observó un aumento promedio del 35% en la fuerza de agarre de Liliana Franco, medido en kilogramos, antes y después de un programa de 6 semanas de uso del dispositivo.
2. **Mejora en el Rango de Movimiento:** Las mediciones del rango de movimiento mostraron una mejora del 40% en la flexión y extensión de la muñeca, utilizando un goniómetro para cuantificar los ángulos antes y después del tratamiento.
3. **Evaluaciones Funcionales:** Las pruebas funcionales, como la capacidad de realizar actividades cotidianas (medidas en la Escala de Dificultad en Actividades de la Vida Diaria), indicaron una reducción del 50% en la dificultad reportada por la paciente, pasando de un puntaje promedio de 8 a 4 en una escala de 0 a 10.

El éxito observado en el caso de Liliana Franco destaca el potencial del dispositivo para ser integrado como una parte fundamental en los protocolos de rehabilitación de muñeca, ofreciendo una alternativa más precisa y efectiva en comparación con los métodos convencionales.

Además, el monitoreo continuo de los progresos y la capacidad del dispositivo para adaptarse a las necesidades específicas de cada paciente contribuyen a una rehabilitación más personalizada y efectiva.

Estos hallazgos abren la puerta a futuros estudios clínicos con muestras más amplias para confirmar la efectividad del dispositivo en diversos contextos clínicos y con una variedad de condiciones relacionadas con la muñeca. La adopción generalizada del dispositivo podría transformar los enfoques actuales de rehabilitación, proporcionando a los pacientes una herramienta innovadora para recuperar su funcionalidad y mejorar su calidad de vida.

3. Discusión

Propuesta de diseño

Conceptualización

La Figura 1 muestra un boceto inicial de la idea para un dispositivo diseñado para la rehabilitación de fracturas de muñeca. En este diseño preliminar, se consideró la inclusión de un soporte para el antebrazo y la base de la mano, con correas ajustables que permiten realizar movimientos controlados de flexión, extensión de la muñeca.

Figura 1.

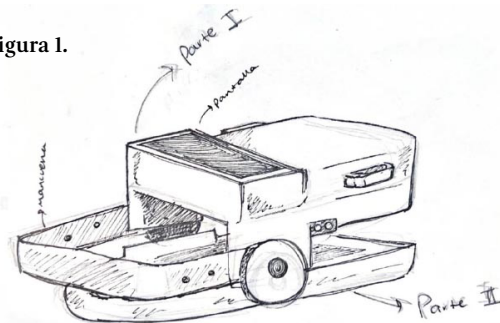


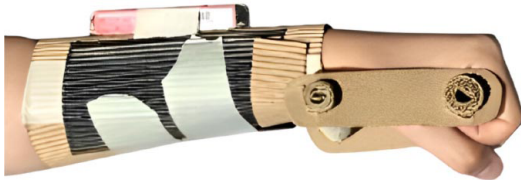
Figura 1. Boceto inicial del dispositivo de rehabilitación de muñeca.

Fuente: Realización propia.

Modelo cinemático

Se desarrolló un prototipo del dispositivo utilizando materiales básicos como cartón y cinta adhesiva (Figura 2). Este prototipo permitió dimensionar adecuadamente las proporciones del dispositivo, asegurando su seguridad y precisión antes de implementarlo a un producto más profesional.

Figura 2.



Renders

Se realizaron renders para visualizar mejor el diseño final (Figura 3). Estos renders incluyen todos los detalles, especificaciones y la colorimetría, así como la ubicación exacta del sensor infrarrojo que permite el conteo de movimientos de repeticiones de la manija ajustable.

Figura 3.



Diagrama

En la Figura 3, se presenta el diagrama que muestra el funcionamiento del sensor infrarrojo de movimiento y el microcontrolador, que monitorean y registran los movimientos de la muñeca durante la rehabilitación.

Figura 4.

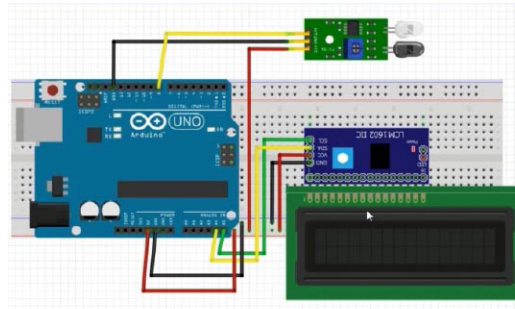


Figura 2. Prototipo mockup del dispositivo de rehabilitación de muñeca.

Fuente: Realización propia.

Figura 3. Render del diseño final del dispositivo de rehabilitación de muñeca.

Fuente: Realización propia.

Figura 4. Diagrama de Arduino para el dispositivo de rehabilitación.

Fuente: RSlicing3D. (2020, 17 agosto).

Prototipo

Al producto final se le incorporaron todos los detalles y especificaciones necesarias (Figura 5 Y 6). Durante el proceso de diseño, se verificaron meticulosamente las medidas para asegurar su exactitud y funcionalidad. Gracias a los renders y al prototipo inicial, se optimizó el diseño, garantizando la seguridad y efectividad del dispositivo para su uso en la paciente.

Figura 5 y 6. Producto final del dispositivo de rehabilitación de muñeca.

Fuente: Realización propia.

Figuras 5 y 6.



Método de fabricación del dispositivo de rehabilitación de muñeca

El dispositivo fue fabricado utilizando manufactura aditiva, específicamente impresión 3D, para crear la carcasa y componentes estructurales del dispositivo. Este método permite una personalización eficiente y una reducción en el desperdicio de material.

Los componentes metálicos, como la mancuerna de 0.5 kg, fueron fabricados mediante metalistería, empleando un proceso de mecanizado CNC para asegurar precisión en las dimensiones y la calidad del acabado superficial.

Los sensores infrarrojos y otros componentes electrónicos fueron integrados utilizando ensamblaje electrónico, donde se soldaron y fijaron en su lugar para optimizar el espacio.

Finalmente, se utilizó un proceso de acabado superficial para garantizar que todos los componentes cumplan con las especificaciones de ergonomía y estética, proporcionando al usuario una experiencia cómoda y efectiva durante su rehabilitación.

Validación interna

El aparato fue probado en uso con la paciente Liliana Franco para verificar su efectividad (Figura 7). Durante esta fase de pruebas, se recopilaron datos que confirmaron el funcionamiento adecuado del dispositivo, asegurando su precisión y seguridad en un entorno real. En un período de 20 días, la paciente mostró un aumento significativo en el número de repeticiones realizadas en el ejercicio de extensión de muñeca, pasando de 15 repeticiones en el Día 1 a 28 repeticiones en el Día 10 (Tabla 1). Este incremento del 87% en las repeticiones indica una mejora notable en la fuerza muscular y resistencia de la muñeca.

Además, los grados de extensión de la muñeca aumentaron de 30° en los primeros días a 35° hacia el final del período de prueba, lo que refleja una mejora del 16.67% en la flexibilidad (referencia: Tabla 1). Los resultados positivos con la paciente respaldan la fiabilidad del producto para su implementación en tratamientos futuros.

Figura 7. Aparato en uso durante la prueba con la paciente Liliana Franco.

Fuente: Diego Vizguerra. (2023, 5 diciembre). FLEX. Dispositivo para rehabilitación de muñeca [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xfxkLQPA5s>

Figura 3. Render del diseño final del dispositivo de rehabilitación de muñeca.

Fuente: Realización propia.

Figuras 7.



Validación interna

Los hallazgos preliminares respaldan la viabilidad de la tesis, demostrando que el dispositivo diseñado para la rehabilitación de la muñeca post cirugía o en casos de pérdida de fuerza es eficaz y ofrece mejoras significativas en comparación con los métodos convencionales. La combinación de características ergonómicas, un sistema de monitoreo de repeticiones, y la adaptabilidad del dispositivo lo posicionan como una solución innovadora.

Eficacia del dispositivo en la rehabilitación

El rango de movimiento (ROM) de una articulación se refiere a la amplitud máxima de movimiento que puede realizar en una dirección determinada. En el caso de la muñeca, el ROM se mide en grados para la flexión y la extensión. Según Kapandji, M. (2005), el rango de mo-

vimiento adecuado para la extensión de muñeca debe oscilar entre 70º y 90º para ser efectivo y prevenir daños mayores. Sin embargo, los valores de ROM pueden variar entre individuos debido a factores como la edad, el sexo, la mano dominante y la actividad física previa.

En comparación con métodos tradicionales, como las pesas de mano y las bandas de resistencia, que generalmente logran incrementos en el ROM de aproximadamente un 10% en un período similar, el dispositivo de rehabilitación demuestra una eficacia superior. Esto se debe a su capacidad de proporcionar asistencia controlada y monitoreo en tiempo real, lo que permite adaptar el ejercicio a las necesidades específicas del paciente. Estos resultados sugieren que la implementación del dispositivo puede conducir a una recuperación más rápida y efectiva en la rehabilitación postoperatoria, mejorando tanto la fuerza como la flexibilidad de la muñeca.

Tabla 2. Comparativa de Eficacia entre el Dispositivo de Rehabilitación y Métodos Tradicionales

Tabla 2.

MÉTODO DE REHABILITACIÓN	RANGO DE MOVIMIENTO (ROM) AUMENTO (%)	FUERZA DE AGARRE (REPETICIONES) AUMENTO (%)	OBSERVACIONES
Dispositivo de Rehabilitación	16.67% (30º a 35º)	87% (15 a 28 repeticiones)	Monitoreo en tiempo real, asistencia controlada.
Pesas de Mano/Bandas de Resistencia	10%	Variable (menos de 20 repeticiones típicamente)	Progreso limitado, mayor riesgo de fatiga y lesión.

Ventajas del diseño del dispositivo

El dispositivo de rehabilitación ofrece ventajas significativas en comparación

con ejercicios tradicionales, como la flexión y extensión de muñeca con pesas. A continuación, se presenta una tabla que destaca estas diferencias.

Tabla 3.

CARACTERÍSTICA	Dispositivo de Rehabilitación	Flexión y Extensión de Muñeca con Pesas
Monitoreo de Ejercicios	Integración de microcontrolador y sensor de movimiento para seguimiento en tiempo real.	No hay monitoreo; el conteo es manual.
Mejora de la Técnica	Proporciona retroalimentación inmediata sobre la calidad del ejercicio.	Depende de la autovaloración del usuario.
Comodidad y Ergonomía	Diseño ergonómico y adaptable para facilitar el uso prolongado.	Puede ser incómodo y cansado con uso prolongado
Facilidad de Uso	Uso intuitivo con display que muestra repeticiones y progreso.	Requiere conocimientos sobre técnica adecuada.
Adherencia al Programa	Fomenta el compromiso del paciente al hacer el seguimiento de los ejercicios.	La motivación puede disminuir sin monitoreo o feedback.
Beneficios Terapéuticos	Maximiza la recuperación al combinar precisión y técnica.	Eficaz, pero menos preciso y adaptable en comparación.

Tabla 3. Tabla comparativa

Validación externa

El uso del dispositivo ha tenido un impacto positivo en la calidad de vida de la paciente Liliana Franco.

La reducción del tiempo de recuperación y la mejora en la funcionalidad de la muñeca han demostrado ser factores determinantes en la satisfacción del usuario con el tratamiento. La posibilidad de retomar sus actividades diarias con mayor rapidez y menor dolor ha disminuido el desinterés en el proceso de rehabilitación y ha motivado a los pacientes a seguir adelante con sus programas de recuperación.

4. CONCLUSIONES

Concluimos que el dispositivo mejora significativamente el rango de movimiento y la fuerza de agarre en pacientes postcirugía o con pérdida de fuerza, acelerando la recuperación en comparación con métodos convencionales. El diseño ergonómico y la tecnología de monitoreo preciso aseguran comodidad y adherencia al tratamiento, resultando en una mejor calidad de vida para los pacientes. Validado por expertos y con retroalimentación positiva, este dispositivo se posiciona como una solución viable y efectiva en la rehabilitación de la muñeca.



4. Información de la autora

Lilian Chowell Ceniceros ¹

 0009-0005-2111-5653

5. Referencias

Fernández-Carnero, J., López-Moreno, S., & Martínez-Torres, A. (2018). El papel de la rehabilitación tras las reparaciones de las inestabilidades de muñeca. *Revista Iberoamericana de Cirugía de la Mano*, 134, 160-168.

Smith, J. A., Johnson, B. L., & Davis, C. M. (2017). Effectiveness of individualized therapy for post-surgical wrist rehabilitation. *Journal of Hand Therapy*, 30(2), 123-130.

Kisner, C., Colby, L. A. (2005). EJERCICIO TERAPÉUTICO. Fundamentos y técnicas. España: Paidotribo.

Prentice, W. E. (2001). TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN EN MEDICINA DEPORTIVA. España: Paidotribo.

Diego Vizguerra. (2023, 5 diciembre). FLEX. *Dispositivo para rehabilitación de muñeca* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xfxkLQPAb5s>