Dispositivo ortopédico de cadera inteligente con sensores y retroalimentación háptica.

Smart hip orthopedic device with sensors and haptic feedback.

Ricardo Abimael Casas Rodríguez (1).
Estudiante Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chiapas.
223188@ib.upchiapas.edu.mx.

Betty López Zapata (2), Universidad Politécnica de Chiapas. Suchiapa, Chiapas, blopez@upchiapas.edu.mx.

Norberto Urbina Brito* (3). Universidad Politécnica de Chiapas. Suchiapa, Chiapas, nurbina@ib.upchiapas.edu.mx.

Gerardo Velázquez Hernández (4), Universidad Politécnica de Chiapas. Suchiapa, Chiapas,
gvelazquez@ib.upchiapas.edu.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 14, 2025; aceptado en octubre 24, 2025.

Resumen.

El presente proyecto se centra y describe el diseño y desarrollo de un dispositivo ortopédico inteligente orientado a la rehabilitación postoperatoria de cadera. El sistema integra sensores inerciales y un microcontrolador para monitorear en tiempo real, los movimientos durante la marcha y los ejercicios terapéuticos. Este incluye un sistema de retroalimentación visual, háptica y sonora que alerta al usuario ante movimientos inadecuados, favoreciendo la corrección inmediata y la adherencia al tratamiento. También cuenta con un sistema de registro automático, el cual almacena los datos obtenidos en una base de datos local al finalizar cada sesión, esto da facilidad al seguimiento y a la evaluación clínica respecto a la evolución del paciente. Se cuentan con resultados preliminares los cuales demuestran que la presente propuesta contribuye a una optimización en los procesos de fisioterapia y rehabilitación.

Palabras claves: Base de datos, cadera, dispositivo ortopédico, rehabilitación.

Abstract.

The present project focuses on the design and development of a smart orthopedic device aimed at post-hip surgery rehabilitation. The system integrates inertial sensors and a microcontroller to monitor, in real time, the movements performed during gait and therapeutic exercises. It includes a visual, haptic, and auditory feedback system that alerts the user to improper movements, promoting immediate correction and improving adherence to treatment. The device also features an automatic recording system that stores the collected data in a local database at the end of each session, facilitating follow-up and clinical evaluation of the patient's progress. Preliminary results demonstrate that this proposal contributes to optimizing physiotherapy and rehabilitation processes.

Keywords: Database, hip, orthopedic device, rehabilitation**.**

1. Introducción.

Las enfermedades y lesiones que afectan a la articulación de la cadera representan una de las causas principales y prioritarias de limitación funcional y discapacidad en la población mundial. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), miles de millones de personas requieren algún tipo de rehabilitación musculoesquelética cada año, siendo una de las articulaciones más propensas a lesiones debido a su papel central/principal en la postura y la movilidad cotidiana. “La fractura de cadera es un importante problema de salud pública, acontece con mayor frecuencia en el adulto mayor, por lo tanto determinar los factores de riesgo asociados a esta patología es de suma importancia” (Arbildo Muñoz, 2019, p. 9). Asimismo, México cuenta con un número de pacientes con deficiencias relacionadas a esta articulación, como lo son la; artrosis, fracturas y/o incluso complicaciones postquirúrgicas tras una artroplastia, todo esto ha aumentado de manera importante, lo que conlleva a una creciente demanda de dispositivos de apoyo funcional que permitan mejorar la adherencia a los procesos de terapia física y rehabilitación. La fractura de cadera representa una de las problemáticas de mayor impacto en el área de traumatología, no solo por la frecuencia con la que ocurre, sino también por las complicaciones posteriores que afectan la calidad de vida de los pacientes adultos mayores. (Arbildo Muñoz, 2019).

Según una de las recientes revisiones indica que la terapia en la rehabilitación es un componente vital, el cual permite que los pacientes puedan recuperar la funcionalidad muscular y mejorar su condición de manera significativa (Yao et al., 2024). Por ende, la rehabilitación en la articulación de cadera representa un desafío relevante referente en el ámbito de la fisioterapia y ortopedia, indicando que esta articulación participa de una manera muy fundamental en la estabilidad y la movilidad del cuerpo humano. Como por ejemplo pacientes que han sido sometidos a procesos quirúrgicos, prótesis o bien; presentan lesiones musculoesqueléticas, lo cual requiere de programas de rehabilitación prolongados, en el que la constancia, la correcta y precisa ejecución de los ejercicios juegan un papel determinante para poder lograr una recuperación funcional y exitosa. Después de una cirugía de cadera, pueden desarrollarse y encadenarse varias patologías de la marcha, así como mecanismos compensatorios; por lo tanto, se necesita un enfoque complejo de la fisioterapia de los pacientes. (Janura et al., 2020). Otro dato clínico por destacar sobre los programas de rehabilitación de cadera es que dependen en lo absoluto de una supervisión directa del personal de salud, esto conlleva a limitar la autonomía del paciente y, esto prolonga los tiempos de recuperación. Por otra parte, los sistemas comerciales de monitoreo actuales y de asistencia suelen ser de altos costos, de difícil acceso y/o con restricción a entornos hospitalarios de alta especialidad.

Estos proceso suele enfrentar limitaciones importantes entre las cuales se destacan la falta de un monitoreo continuo externo del entorno clínico, una dificultad de los pacientes para seguir de forma correcta y adecuada las indicaciones del personal de salud y una escasa retroalimentación en tiempo real, lo cual son factores que pueden retrasar la recuperación y que incluso generan complicaciones secundarias. Dada a esta problemática se ha incrementado un interés en el desarrollo de dispositivos biomédicos portátiles y mejor aún de bajo costo que apoyen al paciente durante el tiempo de tratamiento. Los sensores de actividad portátiles disponibles comercialmente, son factibles para el seguimiento pasivo de la actividad del paciente, como el conteo de pasos, la distancia recorrida y las medidas calóricas de la intensidad del ejercicio, también podrían ser útiles para detectar problemas postoperatorios tempranos.(Patterson et al., 2020).

En algunas investigaciones recientes se ha indagado acerca del uso de órtesis inteligentes y sistemas portátiles con énfasis en el monitoreo de rehabilitación, y por supuesto en un monitoreo en tiempo real que brindan una retroalimentación visible, audible y háptica, los cuales en la actualidad carecen de estos elementos ya mencionados. Es así que no solo logramos innovar una herramienta de limitación ortopédica, sino que se basa en sensores de movimiento, algoritmos de análisis y base de datos en tiempo real para facilitar el seguimiento clínico. El uso de un soporte de cadera puede mejorar la marcha, disminuir el dolor y favorecer la función en pacientes con lesiones en la cadera. (Steingrebe, Stetter, Sell, & Stein, 2022).

Estos enfoques logran demostrar beneficios en términos de adherencia a cada tratamiento, mejora en la precisión de los movimientos, y una autonomía mayor en los pacientes durante su proceso de recuperación. Los hallazgos sugieren que la rehabilitación asistida por tecnología, ha demostrado mejorar la función física de los pacientes tras una artroplastia de cadera (ATC), en comparación con la rehabilitación convencional.(Wu, Li, Hua, & Sun, 2023).

En el presente contexto surge el dispositivo ortopédico de cadera inteligente con sensores de movimientos y retroalimentación háptica, basado en un prototipo de órtesis de ayuda funcional, especialmente para pacientes post operación para un seguimiento en tiempo real. “Los dispositivos tradicionales, como los sistemas de captura óptica de movimiento , son costosos y su uso está limitado a entornos de laboratorio. Como alternativa, las unidades de medición inercial (IMU) ofrecen una solución asequible que permite la evaluación del movimiento en la vida diaria.”(van Amstel et al., 2025, p. 72). Dicho sistema busca garantizar que cada movimiento de la cadera durante la rehabilitación y/o terapia sea correcta evitando el riesgo de recaídas y favoreciendo una recuperación más eficiente. La aplicación de la órtesis inteligentes resulta en una mayor capacidad funcional. (Steingrebe, Stetter, Sell, & Stein, 2022).

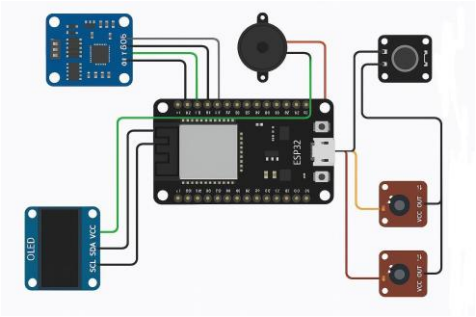

Figura 1.Diseño del circuito.

2. Métodos.

El presente desarrollo del dispositivo ortopédico de cadera inteligente se realizó en las siguientes etapas; diseño del concepto, se integró los componentes electrónicos, se implementó el sistema de retroalimentación háptica y desarrollo de la base de datos para su almacenamiento de manera automática de la información obtenida a través de las pruebas realizadas.

1. Diseño del concepto.
   Se realizó un estudio previo de análisis sobre la anatomía y biomecánica de la articulación de la cadera con el único fin de establecer los puntos óptimos y correctos en la colocación de los sensores de movimiento. Con este estudio se logró definir una precisa estructura del dispositivo ortopédico, a partir de esto se logró priorizar la correcta ergonomía para una mayor facilidad en el uso de la portabilidad.

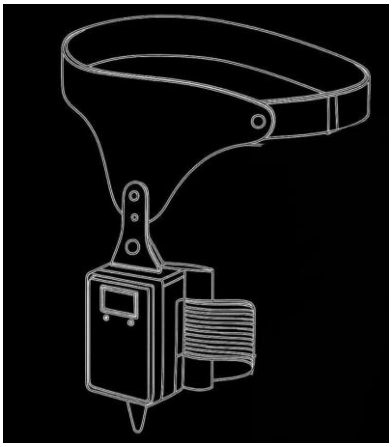

Figura 2. Diseño del prototipo.

2. Integración de sensores de movimientos.
Para la obtención de cada registro cinemático se emplearon sensores de movimiento inerciales tipo IMU (Inertial Measurement Unit), con una capacidad de medir el ángulo de elevación e inclinación angular en sus tres ejes. Dichos sensores se colocaron dentro del dispositivo de manera estratégica a la inclinación adecuada en la zona de la cadera para lograr una monitorización de los desplazamientos durante cada una de las marchas y los ejercicios terapéuticos. “Encontramos que los datos recopilados por los sensores IMU se utilizan para analizar y detectar cualquier desviación normal para medir la posición y el movimiento de la articulación de la cadera” (Acosta-Vargas et al., 2023, p. X). Un tema a destacar de manera crucial para la efectividad en las órtesis de cadera, es la capacidad de adaptarse a la marcha del paciente en tiempo real. Miguel-Fernández et al.(2023) demostró que la información y datos cinemáticos proporcionados por los IMUs dan importancia a piezas fundamentales en el diseño de controladores adaptativos, por lo que pueden monitorizar el ángulo de cadera durante la marcha y asimismo ajustar la asistencia personalizando la terapia para cada paso que dé el paciente.

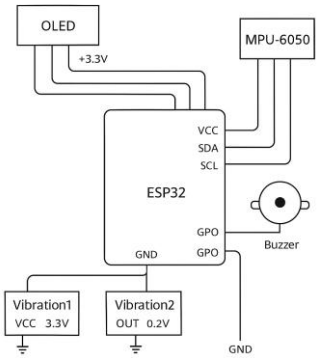

Figura 3. Diagrama de conexión del sistema con el sensor MPU6050 y microcontrolador.

3. Unidad de control.
El sistema está basado bajo un microcontrolador programado, encargado de recolectar cada uno de los datos emitidos de los sensores, este, a su vez, procesa la información en tiempo real y genera señales de retroalimentación. En la programación fueron incluidos algoritmos basados para la detección en desviaciones respecto a cada uno de los patrones de movimiento que el paciente ejecute considerando adecuados o no en la rehabilitación.

Algoritmo 1.

Inicialización:
Configura el sensor MPU6050 y define variables de conteo (total_normales, total_excesivos) y el **límite de ángulo permitido** (limite = 30°).

- **Lectura continua:**
  En un **bucle infinito**, el sistema lee el **ángulo** del sensor en tiempo real.
- **Clasificación de movimiento:**
  - Si el **ángulo ≤ 30°**, el movimiento se considera **normal**.
    Si **supera el límite**, se clasifica como **excesivo**.
- **Monitoreo en tiempo real:**
  Muestra constantemente los valores actuales del **ángulo** y los **conteos acumulados** de movimientos normales y excesivos.
- **Control temporal:**
  Se realiza una **espera de 50 ms** entre cada lectura para estabilizar la captura de datos.
  Guardado automático (proceso paralelo):
  Cada **1 minuto (60000 ms)**, los datos se **guardan automáticamente en formato JSON**.

4. Retroalimentación háptica
La implementación de un módulo de vibración como mecanismo de alerta ha sido muy favorable en la notificación inmediata para aviso y corrección al paciente, es decir que al momento de una detección de movimiento inadecuado, el paciente recibe un pequeño estímulo háptico lo que le indica la necesidad de corregir de manera inmediata su trayectoria y/o postura, es así como favorece a la adherencia de una terapia prescrita.

5. Registro de datos
Para la incorporación, y con el único objetivo de dar seguimiento paso a paso al progreso de terapia y rehabilitación, el dispositivo contiene incorporado un sistema de registro automático, esto es al finalizar cada sesión, la información y datos generados durante la terapia se almacenan de manera local en una base de datos de forma estructurada, esto permite un análisis posterior y así redactar una evaluación correcta respecto a la evolución clínica de paciente.

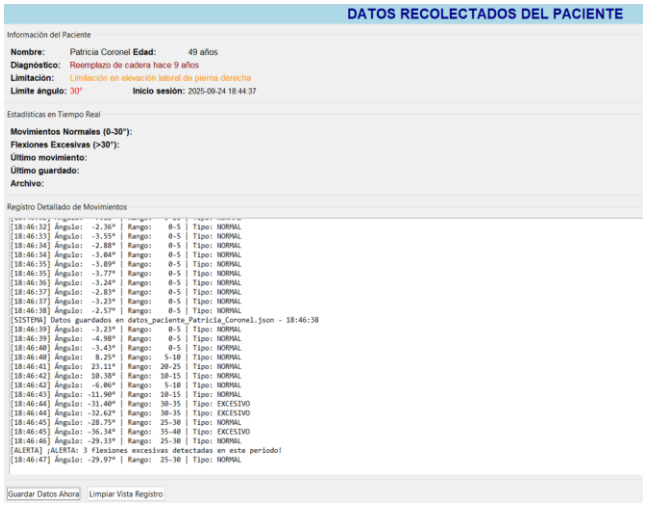

Figura 4. Base de datos en tiempo real.

6. Diseño estructural.
La forma estructural ortopédica fue diseñada considerando materiales ligeros, resistentes y basándose en una órtesis actual de apoyo funcional ya existente en el mercado el cual cuenta con un material adecuado para su uso prolongado. Para el desarrollo del dispositivo se empleó un software de diseño asistido por computadora. De esta manera se logró modelar la órtesis e implementar garantizadamente la correcta integración de los sensores para el sistema de retroalimentación.

Figura 5. Dispositivo Ortopédico.

3. Desarrollo.

En esta etapa, el desarrollo del dispositivo ortopédico de cadera inteligente fue integrado en diferentes secciones, empezando por la fase del diseño y concluyendo en la aplicación de pruebas preliminares con pacientes que se encuentran en necesidades reales de rehabilitación. De las cuales las fases primeras fueron definidas bajo los criterios de ergonomía, portabilidad y facilidad de uso, para así poder lograr una exactitud en la integración de estos y de la misma manera el dispositivo pudiera adaptarse de forma natural a la rutina de la terapia, sin presentar una sobrecarga extra y adicional para el paciente.

La programación algorítmica realizada, fue enfocada únicamente en garantizar tres funciones esenciales, de las cuales fueron la adquisición en tiempo real de información sobre los parámetros de movimiento de la cadera, asimismo sobre la detección de desviaciones relevantes, con respecto a rangos y movimientos de referencias previamente establecidos, y también para la activación del mecanismo vibratorio como una señal de corrección al paciente ante movimientos inadecuados. En referencia a esto, Kanega y Muraoka (2024) ando demostrado que la estimación en tiempo real de cada ángulo articular respecto al IMU es factible y precisa, incluso cuando se encuentran patrones de marchas patológicas, esto proporciona una base de datos cinemáticos de manera necesaria para detectar las desviaciones de forma fiable. Dichas funciones fueron complementadas con el sistema de registro automático de datos (base de datos) estructurada al final de cada sesión, esto asegura una trazabilidad en la evolución de cada paciente.

Una vez ensamblado el prototipo, se realizó una fase de validación preliminar en un entorno clínico, bajo la supervisión de un fisioterapeuta y un grupo reducido de seis pacientes seleccionados por criterios médicos, de los cuales cuatro pacientes habían sido intervenidos, de manera quirúrgica mediante un reemplazo de cadera y encontrándose en algunas semanas/meses de recuperación postoperatoria y los dos pacientes restantes se encontraban con una artrosis de cadera en etapa moderada, ambos con una movilidad limitada, la cual generaba dolor durante la marcha. Esta diversidad de condiciones clínicas permitió la evaluación del dispositivo en contextos y escenarios distintos de grados de limitación funcional, los cuales representaban a cada uno de estos pacientes.

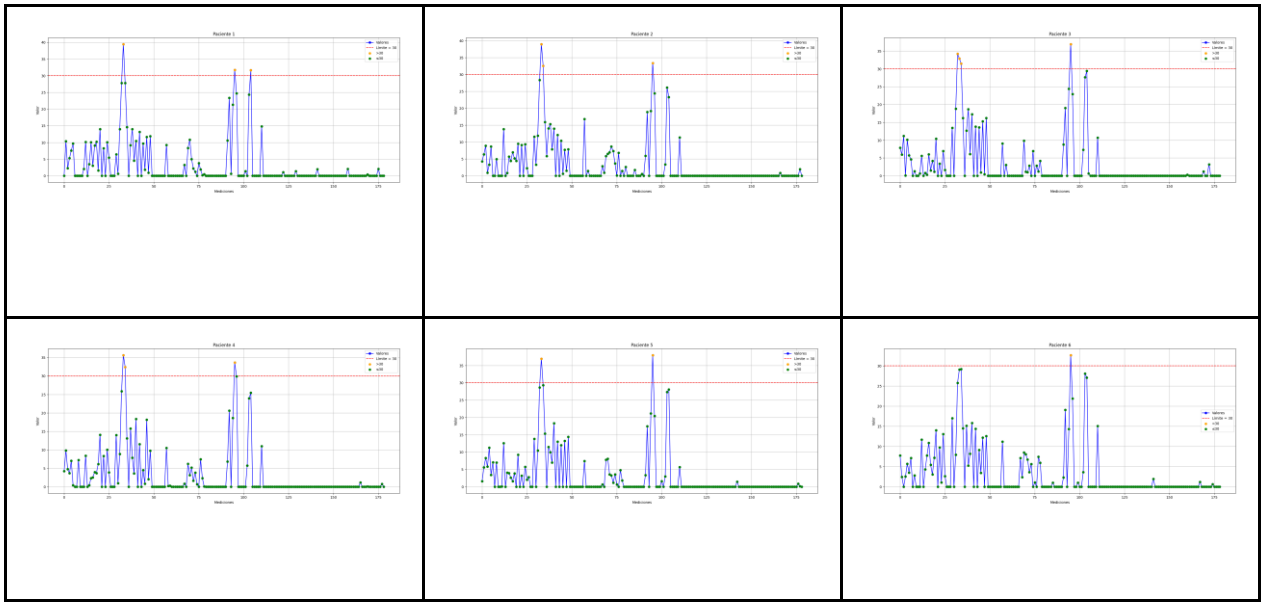

Figura 6. Gráficos de los 6 pacientes.

Durante las sesiones de prueba, cada uno de los pacientes bajo las indicaciones y supervisión del fisioterapeuta, se realizaron ejercicios básicos de flexión y extensión de cadera, posteriormente caminatas cortas estas mismas también bajo supervisión, al sobrepasar los 30 grados de flexión se visualizaba en la interfaz y de igual manera mandaba una

señal háptica al paciente. En cada sesión, el dispositivo registró de forma continua, cada patrón de movimiento y está a su vez, emitiendo señales visibles y de vibración, en casos de los cuales las desviaciones eran significativas. El 85% en promedio de cada uno de los episodios de retroalimentación fueron comprendidos por los pacientes, estos a su vez respondiendo de una manera justa a la postura y movimiento de manera inmediata. Dichos resultados reflejan un potencial de estímulo háptico como una intuitiva herramienta, lo que favorece una corrección de manera autónoma.

Tabla 1. Resultados clínicos de los pacientes.

Paciente	Diagnóstico	Rango de movimiento (°)	% Respuesta háptica	Observaciones
1	Artrosis moderada	25-39°	82%	Buena tolerancia y adaptación
2	postoperatorio de reemplazo	25-35°	87%	Corrige rápido al estímulo
3	Artrosis moderada	18-38°	90%	Dolor leve al final del ejercicio
4	postoperatorio	25-40°	84%	Mejora progresiva
5	postoperatorio	25-35°	88%	Buena estabilidad en la marcha
6	Artrosis leve	20-35°	83%	Retroalimentación cómoda

Un promedio del 85 % de cada uno de los episodios de retroalimentación fueron captados y comprendidos correctamente por los pacientes, los cuales ajustaron su postura de manera inmediata tras recibir la señal háptica. Estos resultados se muestran de forma gráfica en la Figura 7.

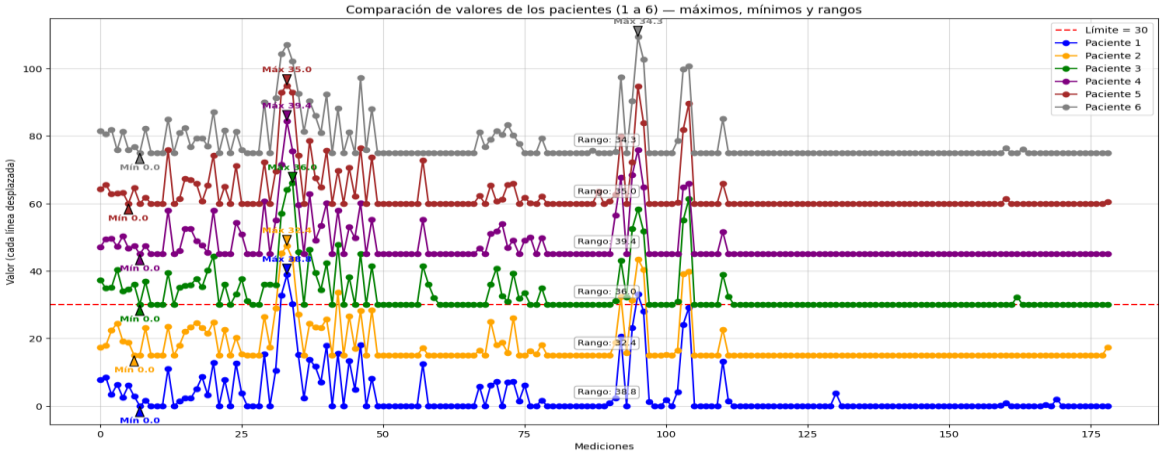

Figura 7. Gráficos finales

El fisioterapeuta involucrado en la prueba, mencionó y destacó que el sistema no sólo lograba facilitar la supervisión en tiempo real, sino que agregaba la ventaja de contar con un historial automático en cada sesión, almacenando la

información en la base de datos. Dicha característica evita la necesidad de hacer los registros de manera manual, y a su vez permite una identificación sobre las tendencias de recuperación en cada paciente. Changcheng et al. (2022) enfatizan en su desarrollo que la capacidad de registrar y analizar datos cinemáticos es fundamental para cuantificar el progreso de la rehabilitación y ajustar los protocolos de entrenamiento, lo que valida el enfoque implementado en nuestro dispositivo. Cabe mencionar que algunos de los pacientes coincidieron en que el dispositivo también puede ser una herramienta de apoyo de manera complementaria, no solamente en una institución de salud, sino también en la eficacia de sesiones terapéuticas y rehabilitación en el hogar propio bajo parámetros controlados. Algunos más de los participantes reportaron una percepción de manera positiva al dispositivo, describiéndolo como ligero y de fácil adaptación al cuerpo, en este caso a la articulación de la cadera. Algunos otros comentarios de los participantes fueron que la retroalimentación vibratoria y visible resultaba clara y útil para corregir movimientos, pero también expresaron que esta retroalimentación podría ser un poco más ajustable en intensidad para mayor comodidad. Ambas observaciones serán consideradas en el perfeccionamiento del prototipo.

De esta manera, el desarrollo y cada una de las pruebas preliminares demostraron que el dispositivo ortopédico de cadera inteligente, es funcional y viable y a su vez aceptable, tanto para los usuarios como para el personal clínico. Es importante recalcar que las pruebas fueron realizadas bajo un número reducido de pacientes, aún así con los resultados adquiridos hacen una base cimentada y sólida para continuar con una validación en un grupo de pacientes más amplio en número, lo que conlleva a consolidar la aplicación en programas de rehabilitación de cadera en diferentes contextos clínicos y comunitarios.

Discusiones.

Los resultados ya obtenidos en cada sesión de terapia reflejan una eficacia del 85% en base a la detección de movimientos inadecuados y una aceptación alta por parte de cada paciente. Es así como cada uno de estos datos concuerdan con los estudios de Steingrebe et al. (2022) y Wu et al. (2023), los cuales reportaron, mejoras significativas y similares en adherencia y precisión en órtesis inteligentes. Aún así es importante mencionar que entre las limitaciones se identifican el tamaño reducido de la muestra de pacientes (n =6) y la falta de comparación con otros dispositivos clínicos estándar ya existentes en el mercado. Aún así el bajo costo, la portabilidad y retroalimentación háptica del sistema han representado avances sustanciales para una fisioterapia moderna y una recuperación personalizada.

Conclusiones.

Finalmente, el dispositivo ortopédico de cadera inteligente con retroalimentación háptica demostró ser solución y/o alternativa, accesible y de gran potencial en los procesos de recuperación musculoesquelética. El desempeño de los sensores de movimiento, el sistema de alerta vibratoria y el registro de manera automática en base de datos, ha permitido conformar a este dispositivo como una herramienta portátil, de fácil acceso y sobre todo orientada a la inmediata corrección de movimientos inadecuados.

Las pruebas preliminares que fueron realizadas con seis pacientes, de los cuales dos presentaban artrosis y cuatro se encontraban en un estado postoperatorio de reemplazo de cadera, de esta manera confirmaron la funcionalidad del dispositivo en condiciones clínicas reales. Cabe recalcar que en la mayoría de los casos, los participantes lograron corregir cada uno de los movimientos a través de la marcha al recibir la señal háptica, de esta manera se valida la efectividad del dispositivo como complemento en la rehabilitación física. Es así como la información obtenida y registrada en la base de datos, ha sido útil para el personal clínico favoreciendo un historial complejo, con la única finalidad de un seguimiento a la evolución de cada usuario. “La combinación de tecnologías de sensores portátiles con análisis de datos estadísticos en tiempo real podría transformar la clínica, utilizando información en vivo para activar el contacto ambulatorio o coordinar el seguimiento según tendencias preocupantes en el comportamiento objetivo del paciente.” (Patterson et al., 2020).

Una de las ventajas que sobresalen se encuentra en la facilidad de uso, la correcta y exitosa aceptación de manera positiva, tanto como fisioterapeutas y pacientes, y de este modo se reduce el potencial en la dependencia del personal

de salud durante las sesiones. Este aspecto se ve reforzado, dadas las estrategias de diseños entradas en el usuario donde "la integración de la interacción hombre-máquina basada en las preferencias del usuario, permite un enfoque dinámico[…] adaptándolo así a sus necesidades personales" (Wu et al., 2024), mejorando así de manera significativa la adopción y utilidad del dispositivo. Sin embargo cabe la necesidad de mencionar una implementación mayor al número de participantes en un futuro para estudios más profundos, realizar ajustes ergonómicos y para una mejor intensidad en la retroalimentación, todo esto para mejora y experiencia del usuario.

De esta manera concluimos que el dispositivo propuesto constituye un cierto aporte innovador en el sector de la ingeniería Biomédica, con énfasis en la ortopedia y rehabilitación. Esta implementación a mayor escala, lograría contribuir a una óptima calidad en los programas de terapia de cadera, mejorar la autonomía de cada paciente, y por supuesto lograr reducir costos en comparación con las actuales soluciones comerciales disponibles.

Referencias bibliográficas.

Acosta-Vargas, P., Flor, O., Salvador-Acosta, B., Suárez-Carreño, F., Santórum, M., Solorzano, S., & Salvador-Ullauri, L. (2023). Inertial Sensors for Hip Arthroplasty Rehabilitation: A Scoping Review. Sensors (Basel, Switzerland), 23(11), 5048. https://doi.org/10.3390/s23115048

Arbildo Muñoz, M. (2019, 19 de agosto). Factores de riesgo de fractura de cadera en adultos mayores del servicio de traumatología del Hospital Regional Lambayeque, julio 2018 – junio 2019 (Trabajo académico, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). Repositorio Institucional UNPRG. https://hdl.handle.net/20.500.12893/4875

Changcheng, C., Li, Y.-R., & Chen, C.-T. (2022). Assistive Mobility Control of a Robotic Hip-Knee Exoskeleton for Gait Training. Sensors, 22(13), 5045. https://doi.org/10.3390/s22135045

Miguel-Fernández, J., Salazar-Del Rio, M., Rey-Prieto, M., Bayón, C., Guirao-Cano, L., Font-Llagunes, J. M., & Lobo-Prat, J. (2023). Inertial sensors for gait monitoring and design of adaptive controllers for exoskeletons after stroke: a feasibility study. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 11, 1208561. https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1208561

Janura, M., ZahutovÁ, E., Gallo, J., Svoboda, Z., & HonzÍkovÁ, L. (2020). Vliv primární a revizní totální endoprotézy kyčelního kloubu na kinematiku chůze [Effect of Primary and Revision Total Hip Arthroplasty on Gait Kinematics]. Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca, 87(4), 243–250.

Kanega, S., & Muraoka, Y. (2024). Real-Time Estimation of Lower Limb Posture and Joint Angles Using Wearable IMUs: Reproduced Hemiparetic and Normal Gait. Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science, 16, 19–29. https://doi.org/10.11336/jjcrs.16.19

Patterson, J. T., Wu, H. H., Chung, C. C., Bendich, I., Barry, J. J., & Bini, S. A. (2020). Wearable activity sensors and early pain after total joint arthroplasty. Arthroplasty Today, 6(1), 68–70. https://doi.org/10.1016/j.artd.2019.12.006

Steingrebe, H., Stetter, B. J., Sell, S., & Stein, T. (2022). Effects of Hip Bracing on Gait Biomechanics, Pain and Function in Subjects With Mild to Moderate Hip Osteoarthritis. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 10, 888775. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.888775

Van Amstel, R. N., Dijk, I. E., Noten, K., Weide, G., Jaspers, R. T., & Pool-Goudzwaard, A. L. (2025). Wireless inertial measurement unit-based methods for measuring lumbopelvic-hip range of motion are valid compared with optical motion capture as the golden standard. Gait & Posture, 120, 72–80. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2025.04.003

Wu, B., Chen, C., Wang, S., Chen, H., Wang, Z., Liu, Y., He, T., Zhang, J., & Wu, X. (2024). A Novel Personalized Strategy for Hip Joint Flexion Assistance Based on Human Physiological State. Biosensors, 14(9), 418. https://doi.org/10.3390/bios14090418

Wu, L., Li, X., Hua, L., & Sun, Q. (2023). Effects of technology-assisted rehabilitation for patients with hip arthroplasty: A meta-analysis. Medicine, 102(45), e35921. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000035921

Yao, Y., Shao, D., Tarabini, M., Moezi, S. A., Li, K., & Saccomandi, P. (2024). Advancements in Sensor Technologies and Control Strategies for Lower-Limb Rehabilitation Exoskeletons: A Comprehensive Review. Micromachines, 15(4), 489. https://doi.org/10.3390/mi15040489

Información de los autores.

Ricardo Abimael Casas Rodríguez, estudiante de ingeniería biomédica en la Universidad Politécnica de Chiapas. Sus intereses académicos se enfocan en el diseño y desarrollo de dispositivos médicos orientados a la rehabilitación física y para el monitoreo del movimiento humano. Es responsable del diseño, ensamblaje y pruebas clínicas preliminares del dispositivo de cadera inteligente descrito en este trabajo.

Betty Yolanda López Zapata es Ingeniera en Electrónica con especialidad en Instrumentación y Control por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestra y Doctora en Ciencias en Ingeniería electrónica especialidad en Automatización y Control del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Experiencia profesional como directora de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Profesora Investigadora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1, Línea de investigación control, diagnóstico de fallas, observadores de estado, se tienen diferentes artículos publicados en revistas y congresos referentes a la automatización, sensores, control, energías renovables, diagnóstico de fallas y control tolerante a fallas, cuenta con el desarrollo de un modelo de utilidad, Miembro de la red de mujeres en Tecnología de la Información y Comunicaciones desde 2022, directora de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica de Chiapas, actualmente directora de la división de salud, alimentos y administración de la Universidad Politécnica de Chiapas.

Norberto Urbina Brito es Doctor en Ciencias de la Ingeniería por el Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez. Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Politécnica de Chiapas, orienta su labor a la investigación en control automático, sistemas embebidos, procesamiento de señales e imágenes biomédicas y tecnología espacial educativa. Ha participado en proyectos como Chiapas al Espacio y Xakpún Mission One, impulsando la formación científica y el desarrollo de misiones estratosféricas y CubeSat. Es mentor del Space Generation Advisory Council (SGAC) y promueve la integración de la ingeniería biomédica y aeroespacial para el diseño de soluciones tecnológicas orientadas a la salud y la exploración en entornos extremos.

Gerardo Velázquez Hernández es Médico Cirujano por la UNACH, con Maestría en Ciencias de la Educación, Doctorado Internacional en Entrenamiento Físico y Deportivo, y formación avanzada en Osteopatía y Medicina Regenerativa. Cuenta con más de 20 años de experiencia clínica y docente, y es Profesor e Investigador de Tiempo Completo en la Universidad Politécnica de Chiapas. Dirige el Grupo de Investigación en Biomecánica Aplicada, desarrollando proyectos en tecnología médica y prótesis inteligentes. Ha publicado artículos indexados y participado en congresos nacionales e internacionales. Miembro de la Academia de Ingeniería Clínica y del Colegio Médico de San Cristóbal A.C.