

Artículo de investigación como proyecto fin de curso

Research paper as a course end project

Alejandro Rodríguez Cortés

alejandro_rod@uao.edu.co

Duberney Campo Tabares

duberney.campo@uao.edu.co

Felipe Ramírez Satizabal

felipe.ramirez@uao.edu.co

José Esteban López

jose_esteban.lopez@uao.edu.co

Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecatrónica (1)
Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecatrónica (2)
Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecatrónica (3)
Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecatrónica (4)

Resumen

Este informe presenta el análisis y búsqueda exhaustiva de fuentes de información para llevar a cabo nuestro proyecto de Robótica que está en búsqueda de la mejoría en el sector médico enfocándonos en el tema de la estimulación de la motricidad fina en Colombia.

La motricidad fina, y en particular la movilidad de la muñeca es determinante para el desarrollo de la autonomía funcional en la primera infancia e infancia, y para la recuperación de pacientes con limitaciones neurológicas y musculoesqueléticas. Sin embargo, los métodos tradicionales de estimulación y rehabilitación de la muñeca suelen apoyarse en ejercicios repetitivos y poco motivadores, lo que reduce la adherencia y limita el progreso de recuperación de la coordinación, fuerza y precisión.

La robótica ha demostrado ser un recurso innovador para estimular el movimiento y aumentar la participación de los usuarios. En este marco, el uso de un robot acuático controlado directamente por los movimientos de la muñeca representa una alternativa atractiva y novedosa. Con este enfoque, la persona no se sumergirá en el agua, en cambio manipulará al robot desde el exterior al mover la muñeca, el robot en este caso es un barco o objeto semisumergible que responde al movimiento de la muñeca desplazándose en el agua. Esta dinámica convierte la práctica en una experiencia lúdica y atractiva, que permite entrenar y evaluar la motricidad fina de la articulación.

En Colombia, pese a los avances en robótica educativa y en proyectos de rehabilitación, no se han implementado sistemas que integren la robótica acuática con el control directo a través de la muñeca. Esta ausencia tecnológica limita las posibilidades de contar con herramientas accesibles que integren la estimulación motora, la retroalimentación inmediata y la motivación lúdica. Como consecuencia, tanto niños en edad escolar como pacientes en procesos de rehabilitación continúan dependiendo principalmente de métodos tradicionales, los cuales, aunque han demostrado un grado de efectividad, no siempre garantizan un progreso sostenido ni permiten una evaluación objetiva del desempeño motor.

Palabras Clave: Motricidad fina, robótica, estimulación

Abstract

This report presents the analysis and exhaustive search for sources of information to carry out our Robotics project, which seeks to improve the medical sector by focusing on the stimulation of fine motor skills in Colombia.

Fine motor skills, and in particular wrist mobility, are crucial for the development of functional autonomy in early childhood and for the recovery of patients with neurological and musculoskeletal limitations. However, traditional methods of wrist stimulation and rehabilitation often rely on repetitive and unmotivating exercises, which reduce adherence and limit progress in recovering coordination, strength, and precision.

Robotics has proven to be an innovative resource for stimulating movement and increasing user participation. In this context, the use of an aquatic robot controlled directly by wrist movements represents an attractive and novel alternative. With this approach, the person will not be submerged in water, but will instead manipulate the robot from the outside by moving their wrist. In this case, the robot is a boat or semi-submersible object that responds to the movement of the wrist by moving through the water. This dynamic makes the practice a fun and engaging experience, allowing for the training and evaluation of fine motor skills in the joint.

In Colombia, despite advances in educational robotics and rehabilitation projects, no systems have been implemented that integrate aquatic robotics with direct control via the wrist. This technological gap limits the availability of accessible tools that integrate motor stimulation, immediate feedback, and playful motivation. As a result, both school-age children and patients undergoing rehabilitation continue to rely primarily on traditional methods, which, although they have proven to be effective to a certain degree, do not always guarantee sustained progress or allow for an objective assessment of motor performance.

Keywords: Fine motor skills, robotics, stimulation

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento vamos a abordar los temas relacionados con la motricidad fina, con un enfoque en la movilidad de la muñeca, teniendo en cuenta los métodos de rehabilitación actuales que son repetitivos y poco motivadores lo cual limita el progreso en la recuperación de coordinación, fuerza y precisión.

El cómo se pueden solucionar ciertos problemas de esta área y como desde la robótica vamos a aportar hacia esta misma, la cual tiene pocas investigaciones acerca del uso de robótica de forma directa en el paciente sin necesidad de que este arme algún tipo de robot. Sino que él sea el que controle el robot a través de los movimientos que necesite hacer en su terapia.

La robótica ha mostrado un gran potencial en este campo, al ofrecer experiencias más dinámicas y efectivas en la estimulación motora. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones existentes se centran en sistemas complejos o de alto costo, sin explorar alternativas accesibles que integren la motivación lúdica con la terapia. En Colombia, no se han desarrollado propuestas que utilicen robótica acuática controlada directamente por la muñeca, lo que abre un espacio de innovación.

En este contexto, la presente investigación propone un enfoque novedoso en el que el paciente no construye el robot, sino que lo controla a través de los movimientos requeridos en su terapia. De esta manera, se busca integrar la estimulación motora, la retroalimentación inmediata y la motivación lúdica, aportando al estado actual de la ciencia y a la comprensión del problema desde una perspectiva terapéutica y educativa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

Diseño Conceptual y Selección de Componentes

Iniciaremos investigando los ejercicios de rehabilitación para identificar los movimientos clave de la muñeca que controlarán el vehículo. Con base en esto, se seleccionará el sensor y microcontrolador idóneos para capturar dichos movimientos, junto con los motores y propulsores adecuados para el entorno acuático. Finalmente, se elaborará una lista detallada de todos los componentes de hardware necesarios y las herramientas de software a utilizar.

Desarrollo del Hardware y Software

Se enfoca en la construcción física del prototipo, montando los motores y sellando la electrónica en una caja hermética, mientras que en paralelo se programará el firmware para traducir los datos del sensor inercial de la muñeca en comandos de control que transmitidos de forma inalámbrica gobiernen la velocidad y dirección de los motores del vehículo acuático. Se construirá el prototipo físico, montando los motores y sellando la electrónica. Paralelamente, se programará el firmware para traducir los datos del sensor inercial de la muñeca en comandos de control que se transmitirán de forma inalámbrica para gobernar la velocidad y dirección del vehículo.

Para el control del robot, se utilizará un sistema embebido con Linux para aprovechar su flexibilidad en la programación y el uso de librerías avanzadas. Esto facilitará la implementación de algoritmos de filtrado (como un Filtro de Kalman) para

reducir el ruido del sensor, lo cual es crucial para abordar los riesgos de control y programación . Para mitigar los riesgos de integración de sistemas , el desarrollo se hará de manera modular. Primero se validará el funcionamiento de cada componente por separado y luego se integrarán progresivamente para asegurar una comunicación y un control fluidos y precisos. Este enfoque minimiza los problemas de compatibilidad y comunicación entre los distintos subsistemas del robot.

Diagramas de conexion y simulaciones

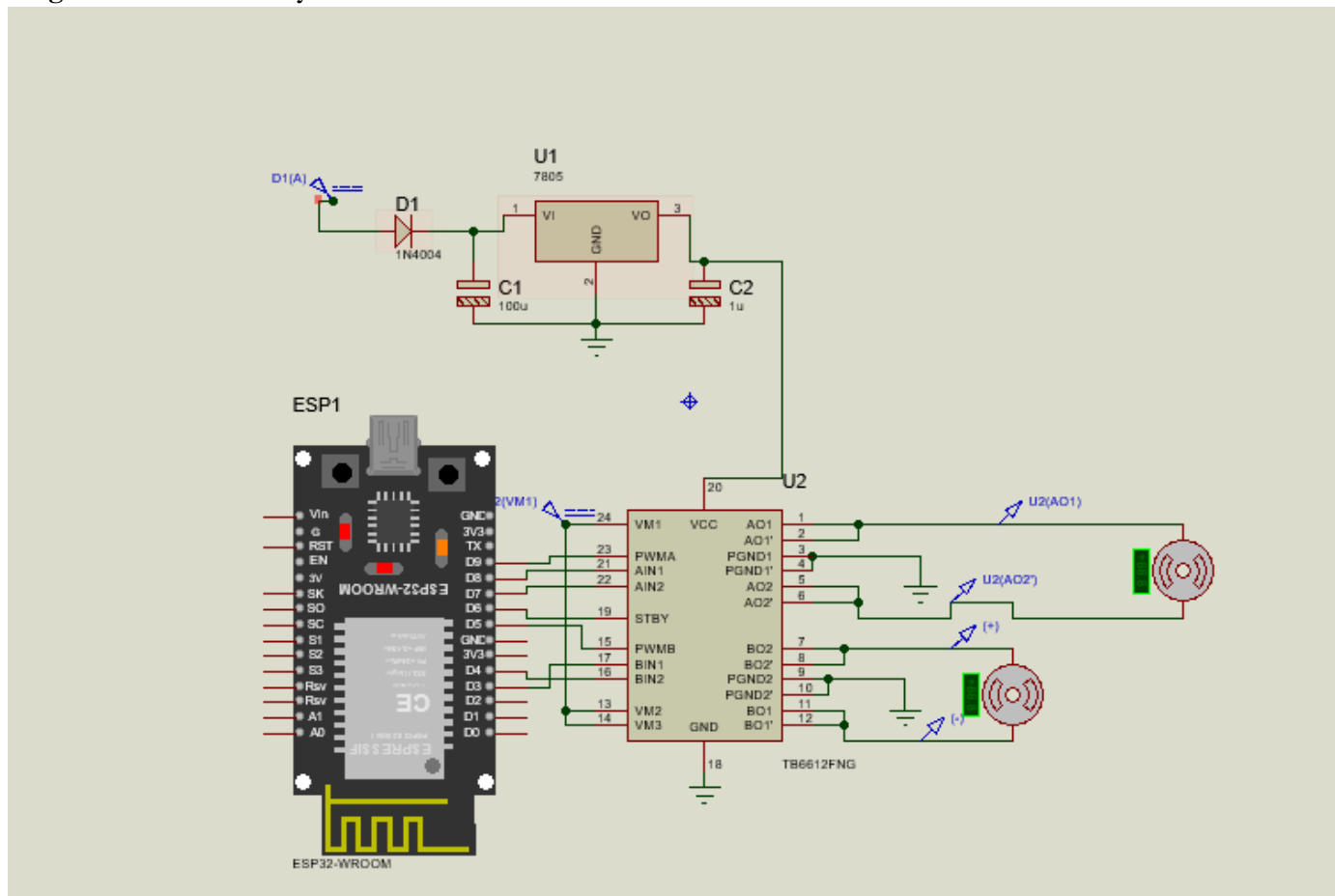


Imagen #1. Esquema interno de IVAN_Bote

Imagen #2. Conexión de la mano

Pruebas y Calibración

Consistirá en verificar la estanqueidad del prototipo mediante pruebas de inmersión sin la electrónica, para posteriormente evaluar en un medio acuático (piscina o río poco caudaloso) su maniobrabilidad, estabilidad y respuesta a los comandos de control.

Evaluación y Presentación

En la última fase, se documentan los resultados y se presenta el prototipo final y se prepara un plan de uso que detalle cómo el vehículo podría ser utilizado en un entorno de rehabilitación y sugerir ejercicios específicos y su beneficio terapéutico

Implementación de un robot acuático controlado por movimientos de la muñeca para la estimulación de la motricidad fina en Colombia

Alejandro Rodriguez Cortes - 2220687, Duberney Campo Tabares - 2210091, Jose Esteban Lopez Montoya - 2220688, Felipe Ramirez Satizabal - 2215468

[illegible]

Tabla #1. Elaboración propia

Tabla 1. Elaboración propia diagrama de gantt [8]

Se usará un microchip el cual con un sensor que detecte el movimiento de la mano que para ese tipo de casos un acelerómetro y giroscopio que serian la mejor elección para esta tarea, se transmitirá una señal con un radio de 100m a la redonda y un receptor de la señal mandada, con una fuente de voltaje con 1500mAh y 11.1v, con un convertidor dc/dc se bajara el voltaje de 11.1v a 8.4v para un puente h y así poder alimentar los motores, se usarán unos botones para apagar tanto el mecanismo de la mano como el robot que andará en el agua, se usara otro botón para que el robot quede medio cuerpo sumergido utilizando el principio del submarino que es absorber agua en un tanque haciendo que se sumerja en el agua

Los componentes que se va a usar en el proyecto son:

objeto	cantidad	dólar	peso colombiano	link de compra
Conector de cable de alambre rápido de 2A, 250 V, 2 pines, 3 pines	20		\$ 8.000	averigua duberney
eBoot 20 AWG JST Cables y conectores para lámparas LED	4		\$ 8.000	averigua duberney
bmi160	1		\$ 22.990	Bmi160 Acelerómetro Y Giroscopio 6dof Gybmi160 Cuotas sin interés
Batería Lipo Turnigy 1000mah 3s 20c	1		\$ 82.000	Batería Lipo Turnigy 1000mah 3s 20c Cuotas sin interés
Teyleten Robot TB6612FNG Dual DC motor paso a paso módulo controlador 1.2A pico 3.2A	1	\$ 7,81	\$ 31.445	ENLACE
LEADTOPS Cable de extensión LED RGB de 100 pies	10m		\$ 34.000	Cable Rgb 4 Hilos Para Extensiones De Cinta Led X

				10 Metros Cuotas sin interés
Qido 5 interruptores basculantes redondos impermeables	1		\$ 1.900	averigua duberney
2S Lipo - Hélice submarina cepillada BM70 de 8.4 V 22 W, sellado, impermeable, para bricolaje, juguete, ROV	2	\$ 16,98	\$ 68.367	Enlace
Convertidor DC-dc XL4015 5a	1		\$ 18.500	averigua duberney
módulo ASK 433 MHz 100 metros transmisor RF STX882 y antena receptor SRX882	1		\$ 4.000	
PETG			\$ 85.000	
Módulo ESP32-Cam-MB con cámara Ov2640 ESP de 32 Mb	1		\$ 44.6 90	Módulo ESP32-Cam-MB con cámara Ov2640 ESP de 32 Mb Cuotas sin interés
		COMPLETO	\$ 408.892	
por persona	\$ 102.223	dólar hoy	4026,3	
nombres	Dinero que dio	mercado libre	\$ 138.260	
Alejandro	\$ 170.400	Bateria	\$ 84.000	
Duberney	\$ 208.800	ALI EXPRESS	\$ 16.000	
Esteban	\$ 161.000	Amazon	\$ 172.078	
Felipe	\$ 109.000	Centro	\$ 67.000	

IMPREVISTOS	\$ 160.446	total de web	\$ 477.338
total de personas que dio plata	\$ 649.200		

Tabla #2. Componentes y presupuesto del proyecto

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de este proyecto inició con un análisis riguroso de literatura y la recopilación de diversas perspectivas orientadas a justificar la pertinencia de abordar la motricidad fina mediante herramientas robóticas. La revisión incluyó trabajos relacionados con parálisis cerebral, terapias motoras y tecnologías aplicadas a la rehabilitación, los cuales permitieron comprender la relevancia clínica y pedagógica del entrenamiento de la motricidad fina en población infantil [1]–[4]. Asimismo, investigaciones recientes sobre sistemas robóticos aplicados a procesos terapéuticos evidencian que las plataformas interactivas y los entornos asistidos por tecnología pueden mejorar significativamente la participación y el desempeño motor de los usuarios [5]–[9]. A partir de estas fuentes se identificó una problemática central: los ejercicios tradicionales de motricidad fina suelen ser repetitivos y poco motivadores, especialmente para niños con dificultades motoras, lo cual reduce la adherencia y la efectividad del tratamiento [6], [7]. Esta observación permitió establecer la necesidad de una alternativa innovadora que integrara estimulación, motivación y control motor mediante un dispositivo robótico accesible y atractivo.

Con base en este análisis se planteó la propuesta de desarrollar un robot acuático controlado mediante los movimientos de la muñeca, empleando un sensor inercial para captar los gestos del usuario y transferirlos directamente al desplazamiento del robot en el agua. La literatura relacionada con sistemas robóticos en contextos clínicos y de interacción háptica–visual brindó fundamentos sobre el uso de dispositivos lúdicos como herramienta terapéutica, así como sobre el impacto positivo de la interacción física y el feedback inmediato en la recuperación motora [5], [9], [10], [14].

Posteriormente se realizó una revisión de trabajos similares y de propuestas tecnológicas aplicadas a entornos acuáticos, lo que permitió comprender el estado del arte y definir una ruta de desarrollo adecuada [12], [13]. Con esta base se seleccionaron los componentes esenciales del sistema: motores impermeables para la movilidad en el agua, un sensor BMI160 para captar los movimientos de la muñeca y microcontroladores encargados del procesamiento y la comunicación. Aunque se emplearon otros elementos complementarios (reguladores, baterías y partes estructurales), estos componentes constituían la base funcional del sistema de control.

Inicialmente se contempló el uso de un sistema de transmisión radial para enviar desde un emisor en la muñeca las lecturas del BMI160 hacia un receptor ubicado en el robot. Sin embargo, durante las fases preliminares se identificaron limitaciones importantes en estabilidad y alcance de la señal, lo cual dificultaba su integración fluida durante la terapia. Este tipo de limitaciones en la comunicación es consistente con lo documentado en la literatura sobre diseño de robots móviles y procesos cooperativos entre dispositivos [11]. Debido a estos inconvenientes, se decidió migrar hacia un esquema más robusto basado en la conectividad WiFi del ESP32, mientras que el BMI160 se integró a un Arduino Uno para la captura de datos. Esta combinación permitió obtener un control más estable y una respuesta más suave, logrando que los movimientos de la muñeca se reflejaran de manera directa y precisa en el desplazamiento del robot.

El diseño físico del robot, su integración electrónica y las pruebas de funcionamiento representaron una de las etapas más enriquecedoras del proyecto. Controlar un robot acuático mediante los movimientos de la muñeca ofreció una experiencia particularmente innovadora, en contraste con los dispositivos tradicionales que emplean controles manuales

convencionales. Además, el diseño buscó ser amigable y atractivo para niños con dificultades motoras, siguiendo recomendaciones de estudios previos que resaltan el valor del componente lúdico para mejorar la disposición del usuario en actividades terapéuticas [5]–[7]. Esta característica resultó fundamental: en las pruebas iniciales los usuarios manifestaban tal nivel de inmersión y disfrute que, en muchos casos, olvidaban que realizaban ejercicios de terapia, confirmando el potencial motivacional señalado en la literatura [6], [9], [14].

Durante el proceso de simulación se lograron avances importantes, aunque también se enfrentaron desafíos significativos. El entorno RViz permitió una visualización correcta del modelo y facilitó la comprensión espacial del robot dentro del entorno virtual. Sin embargo, en Gazebo se presentaron múltiples dificultades debido al alto peso computacional de los archivos STL, lo que provocaba bloqueos frecuentes y fallos completos del sistema. Este tipo de limitaciones es común en simulaciones complejas de robots con geometrías detalladas, especialmente cuando el hardware disponible es limitado [9], [13]. La única manera de obtener una simulación funcional fue reduciendo la geometría a modelos extremadamente simples, lo que se alejaba considerablemente del diseño real, pero aun así permitió validar conceptos fundamentales sobre optimización en ROS2.

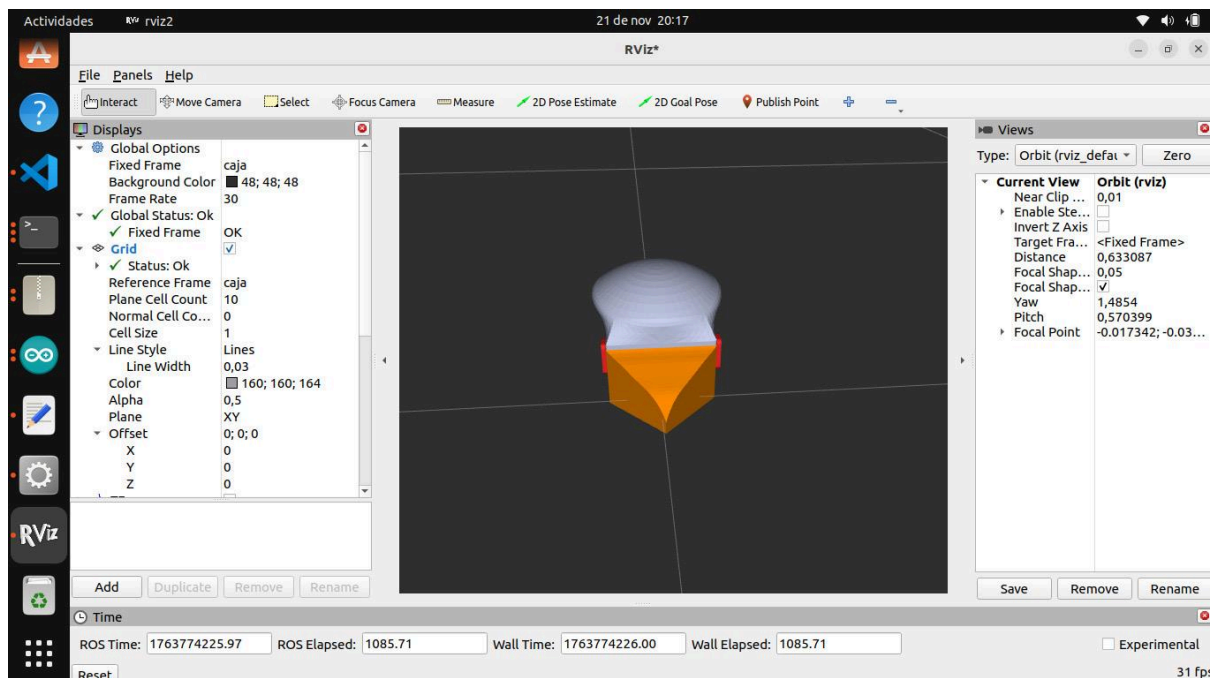


Imagen #3. Rviz de nuestro robo- elaboración propia

El uso de ROS2 representó un aprendizaje profundo, al requerir la instalación y manejo de un sistema operativo específico, la comprensión de la arquitectura basada en nodos y la integración de distintos paquetes para visualización, simulación y comunicación. Este proceso amplió de manera notable nuestra comprensión de la robótica moderna y de los ecosistemas distribuidos que sustentan el desarrollo de sistemas autónomos en la actualidad [9], [11], [14].

Finalmente, el proyecto resultó altamente enriquecedor desde los ámbitos técnico, terapéutico y humano. Su implementación a mayor escala podría transformar la manera en que se desarrollan las terapias de motricidad fina, aportando una herramienta innovadora, motivante y eficaz, coincidiendo con las tendencias descritas en la literatura sobre rehabilitación asistida por robots [5], [9], [10], [13]. El único inconveniente real durante la implementación física fue el consumo energético: las pilas alcalinas utilizadas para alimentar el ESP32 se descargaban rápidamente, reduciendo el tiempo de operación y exigiendo reemplazos frecuentes. Este aspecto constituye una oportunidad clara de mejora para

futuras versiones, mediante el uso de baterías recargables de mayor capacidad o sistemas de gestión energética más eficientes. En conjunto, el proyecto demuestra cómo la robótica puede integrarse de forma creativa y funcional en procesos terapéuticos, ofreciendo experiencias más atractivas, inmersivas y efectivas para los usuarios [5]–[9], [14].



Imagen #4. IVAN en su primera prueba en el lago de la universidad

4. CONCLUSIONES

El proyecto demostró que la integración de tecnologías robóticas con enfoques terapéuticos puede mejorar significativamente los procesos de rehabilitación de la motricidad fina, especialmente en población infantil. A lo largo de su desarrollo se comprobó que el empleo de un robot acuático controlado mediante los movimientos de la muñeca no solo introduce un componente innovador, sino que también incrementa la motivación, la participación activa y la adherencia del usuario a las actividades terapéuticas. La combinación entre el sensor inercial, el control mediante ESP32 y el diseño amigable del robot permitió transformar ejercicios tradicionalmente repetitivos en experiencias lúdicas y dinámicas, lo cual constituye un aporte valioso para la fisioterapia y la rehabilitación motora.

En conjunto, los resultados del proyecto evidencian que la robótica, cuando se diseña con enfoque terapéutico y centrado en el usuario, puede convertirse en una herramienta altamente funcional, motivante y con potencial de impacto clínico. Esta iniciativa abre la puerta a nuevas investigaciones y mejoras, orientadas a robustecer el sistema, ampliar su autonomía y explorar otras aplicaciones en rehabilitación motora, posicionándose como un aporte significativo al campo de la tecnología para la salud.

REFERENCIAS

- [1] S. Ccalla Auqui, *Abordajes en parálisis cerebral infantil*, Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/17241/Abordajes_CcallaAuqui_Sara.pdf?sequence=1
- [2] D. Harghel Macari, *Parálisis cerebral en el marco del máster universitario de fisioterapia en pediatría. Eficacia de la Terapia Acuática sobre la función motora gruesa en niños con Parálisis Cerebral con GMFCS I-IV*, Trabajo Fin de Máster, Universidad Internacional de Valencia, 20210

<https://eugdspace.eug.es/bitstream/handle/20.500.13002/821/Terapia%20Acu%c3%a1tica%20en%20Par%c3%a1lisis%20Cerebral.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

[3] Recursos de Fisioterapia, “Escala de Función Motora Gruesa (GMFM) – Explicación completa y detallada.” Disponible en:

<https://recursosfisioterapia.com/cuestionario-de-funcion-motora-gruesa-gmfm/>

[4] CanChild, “GMFCS – E & R © 2007 CanChild Centre for Childhood Disability Research. Clasificación de la Función Motora Gruesa Extendida y Revisada. Disponible en:

https://neuropediatoolkit.org/wp-content/uploads/2024/03/GMFCS-ER_Translation-Spanish.pdf

[5] A. L. Guerrero Hernández, Ó. A. Vivas Albán y J. M. Sabater Navarro, “Sistema de rehabilitación de motricidad fina de miembro superior utilizando juegos serios,” *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 41, n.º 1, Universidad del Norte, 2023.

<https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/14894/214421446371>

[6] Comunicación breve, “Escala de motricidad fina,” *Revista de Neurología Pediátrica*, 2023.

https://revistasanitariadeinvestigacion.com/escalas-de-motricidad-fina-comunicacion-breve/?utm_source=

[7] J. N. Orobio Aguiño y J. M. Montaña Rodríguez, *Fortalecimiento de las habilidades motrices finas a través de actividades lúdicas en niños y niñas de 3 a 5 años del Hogar Comunitario La Fortaleza, Municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño)*, Trabajo de grado (Profesional), Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), 17 de abril de 2025.. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/67947>

[8] Elaboración propia agosto 29, 2025. Duberney Campo, Alejandro Rodriguez, Esteban Lopez y Felipe Ramirez.

[9] R. Llamas-Ramos, Robotic systems for the physiotherapy treatment of cerebral palsy, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 9, 2022. . Disponible en:

https://www.mdpi.com/1660-4601/19/9/5116?utm_source

[10] B. R. Brewer, S. K. McDowell y L. C. Worthen-Chaudhari, “Poststroke upper extremity rehabilitation: a review of robotic systems and clinical results,” *Topics in Stroke Rehabilitation*, vol. 14, no. 6, pp. 22–44, 2007.. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18174114/>

[11] R. C. Arkin, T. Balch y E. Nitz, “Communication of Behavioral State in Multi-Agent Retrieval Tasks,” *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1995. doi:

10.1109/ROBOT.1995.1511216. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1511216>

[12] Y. Li, H. Zhao, X. Chen y J. Zhang, “Development of a Water Surface Cleaning Robot: Design, Implementation, and Experiment,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 18, p. 9131, 2022. . Disponible en:

<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/18/9131>

[13] H. H. Lee, Y. J. Kim y S. K. Park, “Design and Development of a Rehabilitation Robot for Ankle Motricity Training,” *Machines*, vol. 9, no. 11, p. 254, 2021. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-1702/9/11/254>

[14] L. B. Cortés, “Desarrollo de un entorno virtual para la rehabilitación motriz basado en interacciones háptico-visuales”, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 9, no. 4, pp. '–' (año), Universidad Politécnica de Valencia. [En línea]. Disponible:

<https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/9043/9714>

Avances sobre implementación de un robot acuático controlado por movimientos de la muñeca para la estimulación de la motricidad fina en Colombia. [MK06], [(2025)]