

# CONESCAPANHONDURAS2025paper75.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

---

## Document Details

### Submission ID

trn:oid:::14348:477769633

### Submission Date

Jul 31, 2025, 11:19 PM CST

### Download Date

Aug 12, 2025, 2:47 PM CST

### File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper75.pdf

### File Size

448.9 KB

4 Pages




1,638 Words

9,620 Characters

# 15% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Top Sources

- 14%  Internet sources
- 10%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags




### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## Top Sources

- 14%  Internet sources
- 10%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Publication	Dong Hyun Kim, Sang Wook Lee, Hyung Soon Park. "Development of a Biomimeti...	2%
2	Internet	bibdigital.epn.edu.ec	2%
3	Internet	acta.imeko.org	2%
4	Internet	www.efdeportes.com	1%
5	Internet	www.researchgate.net	1%
6	Internet	www.grafiati.com	1%
7	Publication	Julio Mendoza Chamorro, Edwin Rodriguez Cornejo, Cèsar Quispe Lòpez. "Electro...	<1%
8	Internet	core.ac.uk	<1%
9	Internet	www.sciencegate.app	<1%
10	Internet	centrodeconocimiento.ccb.org.co	<1%
11	Internet	docs.google.com	<1%

12	Internet	red.uao.edu.co	<1%
13	Internet	revistacmfr.org	<1%
14	Internet	www.fesc.edu.co	<1%
15	Internet	zagan.unizar.es	<1%
16	Internet	silu.tips	<1%
17	Internet	www.oecd-ilibrary.org	<1%

# Development and validation of a low-cost robotic hand exoskeleton for rehabilitation using Arduino and servomotors

**Resumen** – El presente trabajo describe el desarrollo de un exoesqueleto robótico de bajo costo orientado a la rehabilitación de mano para personas con movilidad reducida. El objetivo del proyecto es reproducir movimientos de flexión y extensión de los dedos mediante el uso de servomotores controlados por un microcontrolador Arduino Nano. El prototipo fue diseñado en Autodesk Fusion 360 e impreso con material PLA, con un sistema de activación por medio de pulsadores adaptativos. Durante las pruebas iniciales se identificaron problemas en la alimentación eléctrica y en la durabilidad de algunos componentes, los cuales fueron solucionados mediante ajustes en el hardware. Los resultados muestran un funcionamiento básico del sistema, permitiendo ejecutar rutinas de movimiento que simulan ejercicios terapéuticos repetitivos. Se concluye que el dispositivo representa un avance funcional en el apoyo a procesos de rehabilitación física, con potencial de mejoras.

**Abstract** - This paper describes the development of a low-cost robotic exoskeleton aimed at had rehabilitation for individuals with reduced mobility. The objective of the project is to replicate finger flexion and extension movements using servomotors controlled by an Arduino Nano microcontroller. The prototype was designed in Autodesk Fusion 360 and 3D printed using PLA material, with an activation system based on adaptive push buttons. During initial testing, issues related to power supply and the durability of some components were identified and resolved through hardware adjustments. The results demonstrate basic functionality of the system, allowing the execution of movement routines that simulate repetitive therapeutic exercises. It is concluded that the device represents a functional advancement in supporting physical rehabilitation processes, with potential for further improvements.

**Palabras claves** – Exoesqueleto, Rehabilitación, Arduino, Servomotores.

**Keys words** – Exoskeleton, Rehabilitation, Arduino, Servomotors.

## I. INTRODUCCIÓN

La robótica ha desempeñado un papel fundamental en el avance de la medicina moderna, particularmente en el desarrollo de dispositivos que apoyan a la recuperación funcional de extremidades afectadas por lesiones o discapacidades. La evolución de los materiales, la reducción en el tamaño de componentes electrónicos y la integración de principios de biomecánica han permitido la creación de sistemas de rehabilitación más precisos, cómodos y accesibles para el usuario [1].

Entre los sistemas, los exoesqueletos robóticos de mano destacan por su capacidad de asistir en terapias motoras

mediante un control electrónico programado. Estos dispositivos están diseñados para imitar o facilitar los movimientos naturales de la mano a través de actuadores y microcontroladores, permitiendo al paciente realizar rutinas de ejercicios terapéuticos sin requerir la asistencia constante de un terapeuta [2], [5].

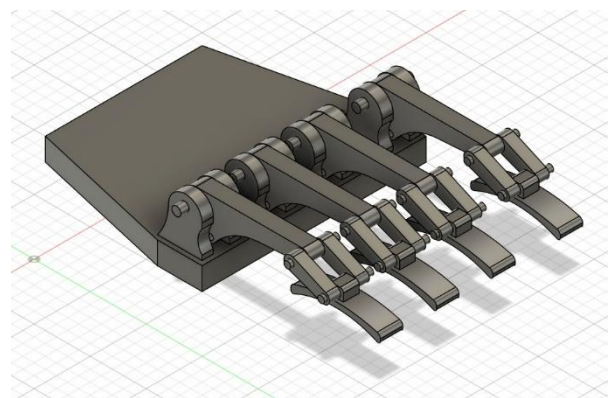
Diversos estudios han demostrado que este tipo de tecnologías pueden complementar de forma eficaz la rehabilitación convencional, especialmente en pacientes con lesiones musculares o neurológicas leves, permitiendo realizar sesiones de forma segura en sitios clínicos o domésticos [3], [4].

El uso de plataformas como Arduino, combinado con servomotores de alto torque y diseño 3D en piezas impresas con materiales como PLA, facilitan la creación de soluciones de bajo costo y fácil implementación para ejercicios de flexión y extensión de los dedos. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un exoesqueleto robótico funcional enfocado exclusivamente en rehabilitación de mano, que ejecute rutinas controladas mediante pulsadores adaptativos para apoyar procesos de rehabilitación motora en personas con movilidad reducida.

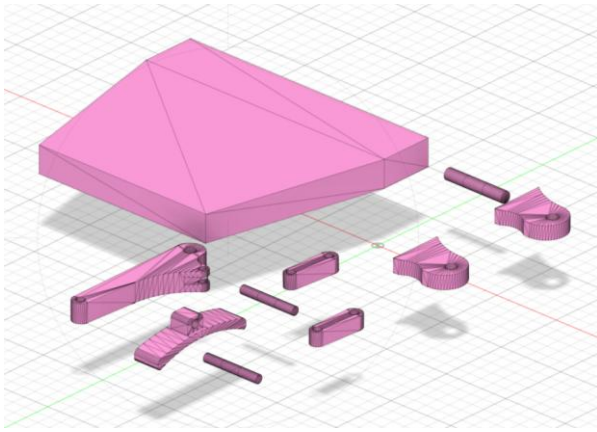
## II. DISEÑO

### A. Desarrollo del Exoesqueleto

Se elaboró un diseño 3D en Fusión 360, donde se modelaron las piezas que sostienen los dedos, la pieza ocupa un mecanismo inspirado en las grúas, también se diseñó una pieza plan donde van colocados los servomotores. El material que se ocupó para la impresión de las diferentes partes del exoesqueleto fue PLA por temas de peso, ya que se busca un material liviano.



Fotografía 1. Diseño de exoesqueleto modelado en Fusión 360.



Fotografía 2. Piezas modeladas en Fusión 360 para impresión.



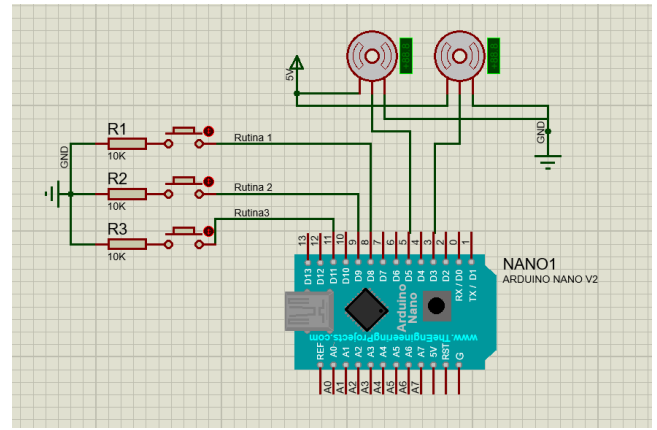
Fotografía 3. Exoesqueleto armado.

## B. Componentes

TABLA I  
COMPONENTES Y SUS ESPECIFICACIONES

COMPONENTE	MODELO	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	COSTO
Servomotor	MG996R	Torque: 9.4 kg/cm, 180°	\$13.50
Microcontrolador	Arduino Nano	ATmega328	\$15
Fuente	5V DC	2A mínimo	\$4.60
Botones	Push Button	3 unidades	\$0.65

Se adquirieron dos servomotores modelo MG996R de 180° que son los encargados de mover las piezas del exoesqueleto, un Arduino Nano como controlador, tres pulsadores que son los que ayudan a accionar las 3 diferentes rutinas y tres resistencias de 10K $\Omega$ , para la alimentación de los servos se ocupa una fuente de 5V.



Fotografía 3. Diagrama del circuito creado en Proteus 8.

```
Cod-Exo.ino
1  #include <Servo.h>
2
3  // Servos
4  Servo servoIzq; // meñique y anular
5  Servo servoDer; // medio e índice
6
7  // Pines servos
8  const int pinIzq = 2;
9  const int pinDer = 6;
10
11 // Pines botones
12 const int btnIzq = 8;
13 const int btnDer = 9;
14 const int btnTodos = 11;
15
16 void setup() {
17   // servos
18   servoIzq.attach(pinIzq);
19   servoDer.attach(pinDer);
20
21   // botones
22   pinMode(btnIzq, INPUT);
23   pinMode(btnDer, INPUT);
24   pinMode(btnTodos, INPUT);
25 }
26
27 void loop() {
28   if (digitalRead(btnIzq) == HIGH) {
29     moverIzq();
30   }
31
32   if (digitalRead(btnDer) == HIGH) {
33     moverDer();
34   }
35
36   if (digitalRead(btnTodos) == HIGH) {
37     moverTodos();
38   }
39 }
40
41 // Rutinas
42 void moverIzq() {
43   servoIzq.write(0);
44   delay(1000);
45   servoIzq.write(50);
46   delay(1000);
47 }
48
49 void moverDer() {
50   servoDer.write(0);
51   delay(1000);
52   servoDer.write(50);
53   delay(1000);
54 }
55
56 void moverTodos() {
57   servoIzq.write(0);
58   servoDer.write(0);
59   delay(1000);
60   servoIzq.write(50);
61   servoDer.write(120);
62   delay(1000);
63 }
```

Fotografía 4. Código para el funcionamiento del exoesqueleto, creado en el software IDE.

## C. Pruebas

El prototipo de exoesqueleto para rehabilitación realizó sus ensayos preliminares en usuario con discapacidad de movimiento en la parte distal del miembro superior, llevando a cabo respuestas y mejoras en el desarrollo del proyecto. Durante las primeras pruebas, se identificaron errores de impresión ya que piezas que ayudan de eje entre con otras, no tenían una forma cilíndrica correcta, por lo que

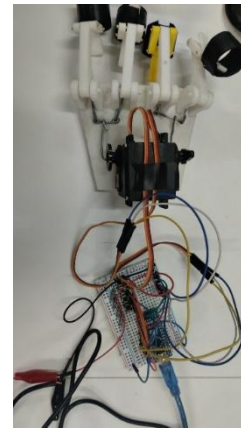
se ocuparon otros materiales para contrarrestar este problema. Durante las siguientes tres pruebas se descubrió que uno de los servomotores MG996R se había dañado por fricción, esto ocurrió mientras se hacía el ensamblaje del exoesqueleto, por lo que se tuvo que adquirir otro servomotor.

El desarrollo del funcionamiento del exoesqueleto fue inspeccionado por expertos en la fisioterapia, ya que se necesita la validación de movimientos específicos en esta área. La realización de fases de pruebas fue incrementando con éxito, gracias a la comprensión de un usuario con discapacidad en esta área específica y comprender como se desempeña el estudio de la fisioterapia para lograr el objetivo de recuperación en el miembro superior.

La fisioterapia está compuesta por series de movimientos repetitivos, los cuales por medio de sesiones va incrementando el desarrollo de nuevos movimientos, con el fin de llegar al objetivo de rehabilitar el movimiento del miembro superior de nuestro usuario. Como finalidad del objetivo, nuestro prototipo está programado a realizar e imitar estos movimientos con un conjunto de rutinas supervisadas por expertos en la materia, logrando el desarrollo y cumpliendo el propósito del paciente con dichas lesiones.

16  
TABLA II  
PRUEBAS REALIZADAS

PRUEBA	DESCRIPCIÓN	RESULTADO ESPERADO	RESULTADO OBTENIDO
Prueba 1	Activación del botón izquierdo (Primera rutina)	Movimiento del servo izquierdo (meñique y anular): abre y cierra	Movimiento correcto con retardo de 1 s
Prueba 2	Activación del botón derecho (Segunda rutina)	Movimiento del servo derecho (índice y medio): abre y cierra	Movimiento correcto con retardo de 1 s
Prueba 3	Activación del botón central (Tercera rutina)	Movimiento de ambos servos en secuencia	Ambos servos ejecutan rutina correctamente
Prueba 4	Respuesta a múltiples pulsaciones	El sistema debe responder de forma repetitiva y estable a entradas rápidas	Respuesta aceptable; puede mejorar
Prueba 5	Verificación de retorno angular	Los servos deben volver de 0° a 50° con precisión	Se observa desplazamiento angular consistente
Prueba 6	Verificación de alimentación a 5V	El sistema debe funcionar sin interrupciones a 5V	Alimentación estable durante pruebas



Fotografía 5. Exoesqueleto armado, se puede apreciar el circuito y los dos servomotores que ayudan a su funcionamiento.

### III. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

TABLA III  
PROBLEMAS Y SOLUCIONES PROPUESTAS

PROBLEMA IDENTIFICADO	SOLUCIÓN IMPLEMENTADA O PROPUESTA
Los servomotores SG90 no soportaron el torque requerido	Sustituidos por MG996R, con mayor fuerza (9.4 kg/cm) para manipulación de los dedos
Fallos en la alimentación de los servos a 9V	Implementación de una fuente externa regulada de 5V para proteger los componentes
Servomotor dañado por fricción durante pruebas	Se mejoró el ensamblaje para evitar bloqueo mecánico y se sustituyó el motor afectado
Código sin manejo de múltiples pulsaciones rápidas	Se evaluó agregar lógica de debounce para mejorar la estabilidad en la lectura de botones
Ausencia de control independiente para cada grupo de dedos	Se programaron rutinas por botón: izquierdo (meñique/anular), derecho (medio/índice), y ambos simultáneos

### IV. CONCLUSIÓN

El exoesqueleto de rehabilitación ha mostrado un buen resultado en las pruebas realizadas, combinando conocimientos de la ingeniería y la anatomía para su creación. A través del uso de servomotores, programación y sistemas de control, este tipo de dispositivo permite realizar ejercicios de manera precisa, segura y repetitiva, adaptándose a las necesidades individuales de cada paciente. Además, este ayuda a reducir la carga de trabajo del personal médico y facilitar la rehabilitación en el hogar.

### IV. PRÓXIMOS PASOS

En base a los avances y dificultades encontradas durante esta etapa del proyecto, se han identificado una serie de acciones para continuar con el desarrollo del proyecto del exoesqueleto de rehabilitación. Estos cambios están orientados a la mejora del

diseño, optimización del sistema y en crear un mayor número de posibles rutinas.

## REFERENCIAS

- 7  
13 [1] J. F. Gómez, J. D. Moreno, G. A. Gil, J. Becerra, C. H. Orozco, "Rehabilitación de la mano con órtesis robóticas", *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, vol. 23, no. 1, 2013. [En línea]. Disponible: <https://web.archive.org>
- 5  
12 [2] M. A. Chávez, F. Rodríguez, A. B. López, "Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación", *Escuela de Ingeniería de Antioquia-Universidad CES, Medellín, Colombia*, vol. 4, no. 7, 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co>
- [3] Arduino, "Servo Motor Basics with Arduino". [En línea]. Disponible: <https://docs.arduino.cc>
- 2  
14 [4] Pablo Andrés Ruiz Chicaiza, "Estudio cinemático de la mano para movimiento de oposición del dedo pulgar y movimientos de flexión y extensión de los dedos índice, medio, anular y meñique", *Escuela Politécnica Nacional (Ecuador), Tesis de pregrado*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://bibdigital.epn.edu.ec>
- 4  
15 - D. A. Baker, "Bound To Be 'Normal': Assistive technology, fair opportunity, and athletic excellence," in 2014 IEEE International Symposium on Ethics in Engineering, Science, and Technology, Chicago, IL, USA, May 2014, pp. 1–6. doi: 10.1109/ETHICS.2014.6893409.
- 1  
- D. H. Kim, S.-H. Heo, and H.-S. Park, "Biomimetic Finger Extension Mechanism for Soft Wearable Hand Rehabilitation Devices," in *Proc. 2017 Int. Conf. on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, London, UK, Jul. 2017, pp. 1326–1330. doi: 10.1109/ICORR.2017.8009337.
- 3  
- S. Park et al., "User-Driven Functional Movement Training with a Wearable Hand Robot after Stroke," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 28, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1109/TNSRE.2020.3021691.