



# Title: Proposal for the design and manufacture of a prototype of a dynamic orthosis for hand rehabilitation

**Author: MONTIJO-VALENZUELA, Eliel Edurdo**

Editorial label ECORFAN: 607-8695  
 BECORFAN Control Number: 2022-01  
 BECORFAN Classification (2022): 131222-0001

Pages: 20  
 RNA: 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
 143 – 50 Itzopan Street  
 La Florida, Ecatepec Municipality  
 Mexico State, 55120 Zipcode  
 Phone: +52 1 55 6159 2296  
 Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
 E-mail: contacto@ecorfan.org  
 Facebook: ECORFAN-México S. C.  
 Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**Holdings**

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

# Introducción

En las últimas décadas se ha observado que la recuperación de un paciente tiene mejores resultados cuando tiene una rehabilitación basada en terapias, que son aplicadas regularmente por fisioterapeutas y personal especializado (Merchant et al., 2017). Las terapias con órtesis dinámicas han demostrado efectos positivos e inmediatos en la recuperación de pacientes con patologías o lesiones asociadas al movimiento de miembros del cuerpo humano (Lu et al., 2022; Kwan et al., 2021; Martins et al., 2019; Kora y Abdelazeim, 2019 y Katsuhira, 2018), sin embargo, esta es una tarea que requiere inversiones financieras considerables por parte de las instituciones de salud pública, además de requerir de capital humano capacitado (Duncan et al, 2005).

Debido a esta problemática, en la actualidad se han desarrollado y perfeccionado tratamientos de rehabilitación, entre ellos las órtesis. Las órtesis son dispositivos aplicados externamente sobre el cuerpo o un segmento corporal para mejorar su función (Vargas, 2017), y pueden ser aparatos o dispositivos biomecánicos, férulas, ayudas técnicas y soportes, que son utilizados en ortopedia, fisioterapia y terapia ocupacional (Gavilán, 2017), ya que son un método muy efectivo para la prevención y el manejo de contracturas; y forman parte del sistema integral de rehabilitación (Chandler, 1983).

En la literatura analizada, se muestra una amplia gama de órtesis aplicadas a distintos miembros del cuerpo, que van desde diseños conceptuales de exoesqueletos para asistir la rehabilitación de miembro inferior (Zhou et al., 2021; Li et al., 2021; Wang et al., 2021; Peng et al., 2020 y Shi et al., 2019), diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior (Grosso y Tibaduiza, 2009), y recientemente, diseños ortésicos dinámicos para rehabilitación de miembro superior con sistemas de control (Wong et al., 2022; Wang y Barry, 2021 y Medina et al, 2021) e inteligencia artificial (Pattanshett y Khan, 2022; Huang y Wang, 2022 y Vélez et al., 2021).

# Metodología

La base de esta investigación se fundamenta en el análisis de la biomecánica, la arquitectura y los patrones funcionales de los dedos de las manos, basada en Peña et al. (2012), Arias (2012), Viladot y Ruano (2001) y Smith et al. (1992). La metodología empleada en el desarrollo del prototipo está basada en Becker Orthopedic (2022), Yung et al. (2018), Merchant et al. (2018), Palousek e al. (2014), Boyard et al. (2014) y Gehlot et al. (2018). Esta investigación cuenta con 6 etapas principales, descritas a continuación:

Etapa 1: Selección del sujeto de prueba. En esta etapa se eligió a un sujeto del sexo femenino para diseñar la órtesis dinámica, con base a las consideraciones geométricas y dimensionales de su mano. Cabe mencionar que el sujeto de prueba, no presenta ningún tipo de lesión, malformación o discapacidad en su mano (sujeto de prueba sano).

Etapa 2: Medición dimensional de la mano del sujeto de prueba. En esta etapa, con ayuda de cintra métrica y réplicas en papel de la morfología de la mano del sujeto de prueba, se obtuvieron los datos dimensionales de toda la estructura de la mano derecha del sujeto (Figura 1), siguiendo la metodología de Becker Orthopedic (2022).

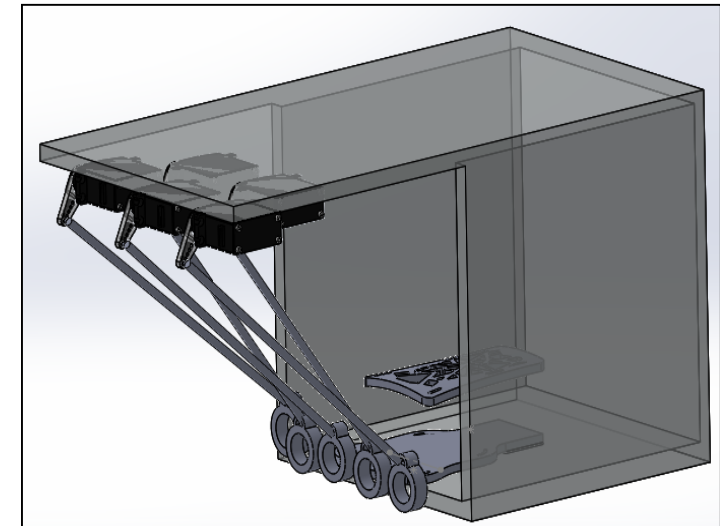


**Figura 1** Algunas mediciones dimensionales de la mano del sujeto de prueba.

Etapa 3. Diseño de mecanismo en software Solidworks. Una vez recopiladas las dimensiones y tolerancias de la mano del sujeto de prueba, se realizó el diseño del mecanismo en CAD, mediante el software Solidworks (Figura 2), aplicando la metodología conjunta de Merchant et al. (2018) y Palousek e al. (2014). Los elementos con los que cuenta el ensamblaje se muestran en la Tabla 1.

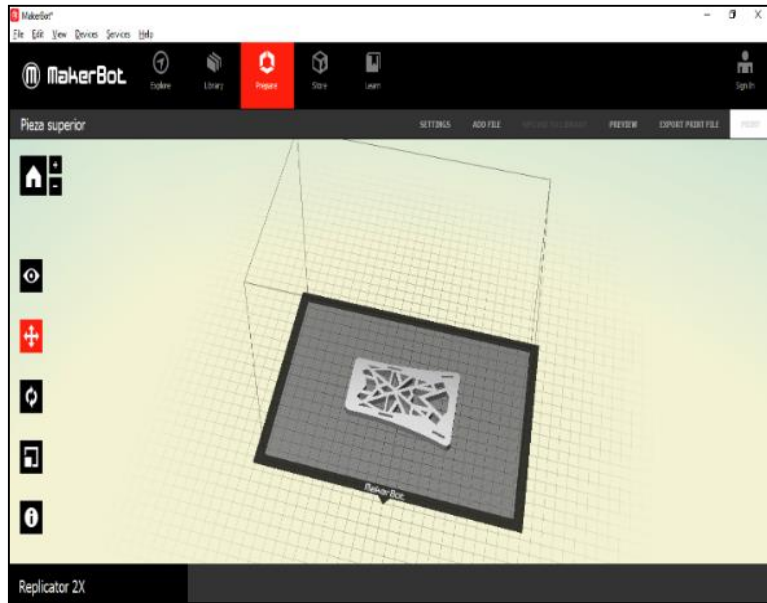
Nombre de la pieza	Cantidad
Sujetador inferior	1
Sujetador superior	1
Anillo de sujeción 1 (Pulgar)	1
Anillo de sujeción 2 (Índice, medio y anular)	3
Anillo de sujeción 3 (Meñique)	1
Soporte cilíndrico 1	1
Soporte cilíndrico 2	2
Soporte cilíndrico 3	2

**Tabla 1** Elementos integrales del mecanismo de órtesis dinámica.



**Figura 2** Ensamblaje de mecanismo en software Solidworks.

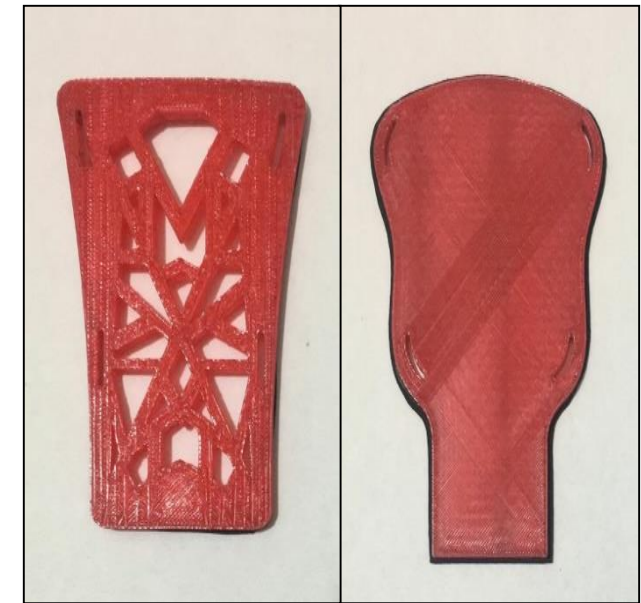
Etapa 4. Manufactura del ensamblaje final. Cada una de las piezas diseñadas en CAD, se pasaron directamente al software MakeBot®, para simulación de impresión aditiva (Figura 3). Una vez analizados y validados los parámetros de simulación, se procedió a imprimir cada una de las piezas mencionadas en la Tabla 1 (Figura 4), con base a la metodología empleada por Boyard et al. (2014). Como resultado, se obtuvieron 2 piezas impresas en material PLA (Figura 5).



**Figura 3** Manufactura de piezas de forma individual en material PLA con impresora marca AXIOM®.



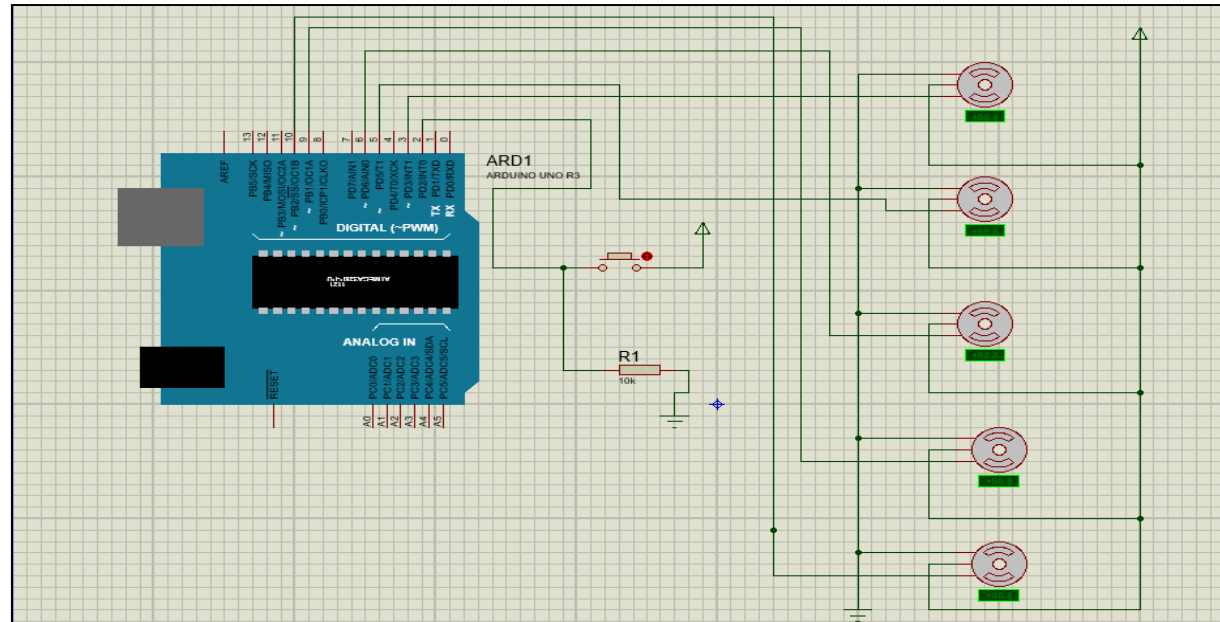
**Figura 4** Impresión 3D del sujetador superior en AXIOM.



**Figura 5** Manufactura de piezas de forma individual en material PLA con impresora marca AXIOM.



Etapa 5. Simulación electrónica y puesta en marcha de servomotores. Para esta etapa se utilizó el software Proteus Design Suite, para determinar el giro y velocidad de los ejes de los servomotores (Figura 6), mediante la metodología empleada por Gehlot et al. (2018). Una vez analizada y validada la simulación en software se pasó a integrar el circuito de forma física a través de Arduino (Gehlot et al., 2018).



**Figura 6** Simulación de velocidad de giro en servomotores con Proteus Design Suite, con controlador de Arduino Nano.

Etapa 6. Ensamblaje de componentes mecánicos y electrónicos. Una vez impresas las piezas que conforman el mecanismo, se pasó a ensamblar la órtesis en base al diseño de la Figura 2. La colocación de los servomotores, coincide con la distribución de los dedos y la longitud de las falanges de la mano del sujeto de prueba. Para unir los anillos a los servomotores, se utilizaron cilindros de PLA cuya función es realizar una unión por eslabonamiento a las falanges de la mano, y así poder transmitir el movimiento desde el servomotor a los dedos. Para la unión de los sujetadores inferior y superior, se utilizó como material adhesivo el “velcro”, recomendado por Fitzgerald et al. (2004), además de ser un material económicamente viable y fácil de desmontar (Figura 7).



**Figura 7** Uniones de los sujetadores superior e inferior con “velcro”.

# Resultados

Con base a la literatura referente a la biomecánica funcional de la mano, se logró fabricar un prototipo de órtesis dinámica con un grado de libertad en las falanges de los dedos. El grado de libertad corresponde al movimiento de flexión/extensión de los dedos de la mano. Este movimiento se realiza mediante un mecanismo de unión simple, que consiste en sujetadores rígidos (eslabones), anclados al eje del servomotor, y conectados directamente a los anillos para la transmisión de movimiento hacia los dedos. El movimiento circular de  $180^\circ$  de los servomotores genera un movimiento lineal en los sujetadores rígidos, lo que permite el movimiento de flexión/extensión en los dedos.

El prototipo fue utilizado por el sujeto de prueba para realizar algunas mediciones, que comprendieron la medición de los ángulos formados por los dedos cuando estos están extendidos (mano abierta). En esta situación las mediciones fueron las siguientes: separación entre eje del pulgar y dedo índice =  $44^\circ$ , dedo índice y dedo medio =  $22^\circ$ , ángulo formado por el tercero y cuarto dedo =  $19^\circ$ , y, por último, ángulo formado por el cuarto y quinto dedo =  $21^\circ$ , todos los valores coinciden con (Smith-Agreda, Ferrer y Montesinos, 1992), con un margen de error menor al 5%. En las mediciones de flexión (mano cerrada), se observó que el mecanismo realiza una inclinación en los dedos de casi  $90^\circ$  en el índice, con un incremento en los dedos laterales mientras se acerca al meñique, coincidente con la información analizada en (Viladot y Ruano, 2001).

De manera cualitativa, se observó que el movimiento realizado por los eslabones rígidos de unión, entre los anillos y los ejes del servomotor, generan un movimiento muy similar al de la biomecánica de la mano, sin embargo, este se altera conforme aumenta la velocidad del motor. El prototipo se observa en la Figura 8.



**Figura 8** Prototipo de órtesis dinámica.

# Conclusiones

En este estudio se presentó un prototipo de órtesis dinámica para mano, fabricado a partir de impresión 3D. La innovación de este prototipo consistió en el movimiento de flexión y extensión de manera asistida, es decir, de forma automática mediante un mecanismo controlado por servomotores de giro limitado, para aquellos casos en donde el usuario no tenga movimiento en falanges y así evitar que los músculos se atrofién. La contribución de esta investigación es el desarrollo de un dispositivo económico que pueda sustituir parcial o totalmente las terapias fisiológicas de un paciente con problemas en miembro superior (mano).

Con ayuda de un fisioterapeuta se pueden tomar decisiones importantes para decidir el tipo de terapia que se puede realizar con este sistema de órtesis y así realizar las modificaciones requeridas al prototipo; selección de materiales, programación, dimensionamiento y actuadores, por mencionar algunas, todo ello para satisfacer las necesidades del paciente.

Es importante tener en cuenta que actualmente el prototipo está programado para que los dedos se muevan simultáneamente, sin embargo, el código es flexible y podrían programarse los servomotores para moverse uno a la vez, de dos en dos o cualquier combinación que se requiera, ya que cada caso es diferente, y, por lo tanto, con necesidades diferentes. Estas configuraciones pueden agregarse a través de un selector (un botón o perilla, por ejemplo) para las adecuaciones necesarias del usuario.

# Referencias

- Aljobouri, H. (2022). A Virtual EMG Signal Control and Analysis for Optimal Hardware Design. *International Journal Of Online And Biomedical Engineering (Ijoe)*, 18(02), 154-166. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v18i02.27047>
- Alqahtani, M., Al-Tamimi, A., Almeida, H., Cooper, G., y Bartolo, P. (2019). A review on the use of additive manufacturing to produce lower limb orthoses. *Progress In Additive Manufacturing*, 5(2), 85-94. <https://doi.org/10.1007/s40964-019-00104-7>
- Arias, L. (2012). "Biomecánica y patrones funcionales de la mano", *Morfología*, 4(1), 14-24.
- Ashmi, M., Anila, M., y Sivanandan, K. (2021). Comparison of SMC and PID Controllers for Pneumatically Powered Knee Orthosis. *Journal Of Control, Automation And Electrical Systems*, 32(5), 1153-1163. <https://doi.org/10.1007/s40313-021-00775-0>
- Asún, S. (2017). *Actividad física y deporte adaptado a personas con discapacidad* (1a ed.). Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Ayala, J., Urriolagoitia, G., Romero, B., Ángeles, C., Torres L., y Aguilar, A. (2015). Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior, *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 79-90.
- Banga, H., Belokar, R., Kalra, P., y Kumar, R. (2018). Fabrication and stress analysis of ankle foot orthosis with additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(2), 301-312. <https://doi.org/10.1108/rpj-08-2016-0125>
- Banga, H., Kalra, P., Belokar, R., y Kumar, R. (2020). Customized design and additive manufacturing of kids' ankle foot orthosis. *Rapid Prototyping Journal*, 26(10), 1677-1685. <https://doi.org/10.1108/rpj-07-2019-0194>
- Becker Orthopedic. (2022). *Dynamic Wrist Hand Orthosis With Finger Flexion*. Beckerorthopedic.com. Revisado el 7 abril 2022, en <https://www.beckerorthopedic.com/Product/PrefabricatedOrthoses/UpperLimb/UM-4.0#products>.
- Bin, M. (2019). Electromyography sensing on tibialis and peroneus muscle against improvised flat feet orthotic insole. In U. Hayati, N. Abdul, M. Ab y N. Siyfa, *Proceedings of Mechanical Engineering Research Day 2019* (1a ed., p. 16). UTeM.



Boyard, N., Rivette, M., Christmann, O., y Richir, S. (2014). A design methodology for parts using Additive Manufacturing. En P. Bártolo, *High Value Manufacturing* (1a ed., pp. 399-404). CRC Press.

Brognara, L., Fantini, M., Morellato, K., Graziani, G., Baldini, N., y Cauli, O. (2022). Foot Orthosis and Sensorized House Slipper by 3D Printing. *Materials*, 15(12), 4064. <https://doi.org/10.3390/ma15124064>

Chandler, H. (1983). *Technical writer's handbook* (1a ed.). American Society for Metals.

Chhabra, G., Singh, P., y Aggarwal, A. (2021). *Automatic Gadget Charger Using Coin Detection* (1a ed., p. 51). FBC Publications.

Duncan, W., Zorowitz, R., Bates, B., Choi, J., Glasberg, J., Graham, G., Katz, R., Lamberty, K. y Reker, D. (2005) Management of adult stroke rehabilitation care a clinical practice guideline, *Stroke*, 36(9), 100–143.

Edelstein, J., y Bruckner, J. (2002). *Orthotics: A Comprehensive Clinical Approach* (1a ed., pp. 1-15). SLACK.

Fitzgerald, R., Kaufer, H., y Malkani, A. (2004). *Ortopedia* (1a ed., p. 126). Médica Panamericana.

Gavilán, G. (2017). Confección de órtesis utilizando materiales reciclables. *Revista Unida Científica*, 1(2).

Gehlot, A., Choudhury, S., Singh, B., y Singh, R. (2018). *Arduino-Based Embedded Systems: Interfacing, Simulation, and LabVIEW GUI* (1st ed.). CRC Pres.

Gómez, M. (2021). Diseño de prótesis mecánica de miembro superior a nivel transradial o desarticulación de muñeca (p. 16). CyAD. Revisado en <https://bit.ly/3C4Kvkf>

Grosso, J. y Tibaduiza, D. (2009). Diseño conceptual de un exoesqueleto para asistir la rehabilitación de miembro inferior, *UNAB*, 1(1).

Hernández, C., Davizón, Y., Said, A., Soto, R., Félix, L., y Vargas, A. (2021). Development of a Wearable Finger Exoskeleton for Rehabilitation. *Applied Sciences*, 11(9), 4145. <https://doi.org/10.3390/app11094145>

Huang, Q., y Wang, F. (2022). Prevention and Detection Research of Intelligent Sports Rehabilitation under the Background of Artificial Intelligence. *Applied Bionics And Biomechanics*, 2022(1), 1-10. <https://doi.org/10.1155/2022/3347166>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *La discapacidad en México, datos al 2014*. INEGI.

Kashizadeh, A., Penan, K., Belford, A., Razmjou, A., y Asadnia, M. (2022). Myoelectric Control of a Biomimetic Robotic Hand Using Deep Learning Artificial Neural Network for Gesture Classification. *IEEE Sensors Journal*, *1*(1), 1-1. <https://doi.org/10.1109/jsen.2022.3191640>

Katsuhira, J., Yamamoto, S., Machida, N., Ohmura, Y., Fuchi, M., y Ohta, M. et al. (2018). Immediate synergistic effect of a trunk orthosis with joints providing resistive force and an ankle&ndash;foot orthosis on hemiplegic gait. *Clinical Interventions In Aging*, *13*(1), 211-220. <https://doi.org/10.2147/cia.s146881>

Kelly, B., Spires, M., & Restrepo, J. (2007). Orthotic and Prosthetic Prescriptions for Today and Tomorrow. *Physical Medicine And Rehabilitation Clinics Of North America*, *18*(4), 785-858. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2007.08.001>

Kora, A., y Abdelazeim, F. (2019). Immediate Effect of Vertibrace Dynamic Orthosis on Gross Motor Function in a Child with Spastic Cerebral Palsy: A Case Study. *Bioscientific Review*, *1*(1), 54-59. <https://doi.org/10.32350/bsr.0101.07>

Kwan, M., Yick, K., Yip, J., y Tse, C. (2021). Hallux valgus orthosis characteristics and effectiveness: a systematic review with meta-analysis. *BMJ Open*, *11*(8). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-047273>

LeTourneau Prosthetics. (2017). *A History Of Prosthetics And Orthotics*. LeTourneau Prosthetics and Orthotics Southeast Texas. Revisado 8 junio 2022, en <https://bit.ly/3QuRjez>

Li, W., Cao, G., y Zhu, A. (2021). Review on Control Strategies for Lower Limb Rehabilitation Exoskeletons. *IEEE Access*, *9*(1), 123040-123060. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3110595>

Liu, J., Osman, N., Kouzbary, M., Kouzbary, H., Razak, N., Shasmin, H., y Arifin, N. (2022). Optimization and Comparison of Typical Elastic Actuators in Powered Ankle-foot Prosthesis. *International Journal Of Control, Automation And Systems*, *20*(1), 232-242. <https://doi.org/10.1007/s12555-020-0980-x>

Liu, Z., Zhang, P., Yan, M., Xie, Y., y Huang, G. (2019). Additive manufacturing of specific ankle-foot orthoses for persons after stroke: A preliminary study based on gait analysis data. *Mathematical Biosciences And Engineering*, *16*(6), 8134-8143. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019410>

Lu, G., Sun, X., Cao, J., Han, S., y Jiang, S. (2022). An Analysis of the Clinical Efficacy of Early Dynamic Orthosis after Finger Extensor Digitorum Rupture. *International Journal Of Clinical Practice*, *2022*(1), 1-4. <https://doi.org/10.1155/2022/1267747>

Martins, E., Cordovil, R., Oliveira, R., Pinho, J., Diniz, A., y Vaz, J. (2019). The Immediate Effects of a Dynamic Orthosis on Gait Patterns in Children With Unilateral Spastic Cerebral Palsy: A Kinematic Analysis. *Frontiers In Pediatrics*, *7*(1), 1. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00042>

Medina, F., Perez, K., Cruz-Ortiz, D., Ballesteros, M., y Chairez, I. (2021). Control of a hybrid upper-limb orthosis device based on a data-driven artificial neural network classifier of electromyography signals. *Biomedical Signal Processing And Control*, 68(1), 102624. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102624>

Merchant, R., Cruz, D., Ballesteros, M., y Chairez, I. (2018). Integrated wearable and self-carrying active upper limb orthosis. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part H: Journal Of Engineering In Medicine*, 232(2), 172-184. <https://doi.org/10.1177/0954411917751001>

Merchant, R., Cruz, D. y Chairez, I. (2017). Diseño y control de un sistema ortésico para rehabilitación de miembro superior, *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 2(1), 301-304.

Middleton, M. (2019). *Types of Custom Orthoses*. *The Hand Society* [En línea]. <https://bit.ly/3vM3Br6>

Moreno, A., y Córcoles, S. (2018). *Arduino* (1a ed.). RA-MA Editorial.

Narote, P., Alam, S., Azad, S., y Kagada, M. (2022). Implementation of Flex Sensor based Prosthetic Hand. *International Journal For Research In Applied Science And Engineering Technology*, 10(4), 1683-1692. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41541>

OMS. (2017). *Discapacidad y salud*. Who.int. [En línea]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs352/es/>.

Ozsahin, D., y Ozsahin, I. (2022). *Modern practical healthcare issues in biomedical instrumentation* (1a ed., pp. 3-18). Academic Press.

Palousek, D., Rosicky, J., Koutny, D., Stoklásek, P., y Navrat, T. (2014). Pilot study of the wrist orthosis design process. *Rapid Prototyping Journal*, 20(1), 27-32. <https://doi.org/10.1108/rpj-03-2012-0027>

Patel, P., y Gohil, P. (2022). Custom orthotics development process based on additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 59, A52-A63. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.858>

Pattanshett, R., y Khan, S. (2022). A shifting paradigm from human intelligence to artificial intelligence in rehabilitation: A descriptive review. *Indian Journal Of Physical Therapy And Research*, 4(1), 8-13. [https://doi.org/10.4103/ijptr.ijptr\\_43\\_21](https://doi.org/10.4103/ijptr.ijptr_43_21)

Peng, Z., Luo, R., Huang, R., Yu, T., Hu, J., Shi, K., y Cheng, H. (2020). Data-Driven Optimal Assistance Control of a Lower Limb Exoskeleton for Hemiplegic Patients. *Frontiers In Neurobotics*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2020.00037>

Peña, E., Pitarch, N., Ticó, J., López, M., Abenoza G. y Romero, G. (2012). Exoesqueleto para mano discapacitada con movimiento y sensibilidad, pero sin fuerza, *Ortoprotésica*, 76(1), 1-6.

Sheikh, M., Sadigh, M., y Zareinejad, M. (2021). Precise dynamic modeling of pneumatic muscle actuators with modified Bouw–Wen hysteresis model. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part E: Journal Of Process Mechanical Engineering*, 235(5), 1449-1457. <https://doi.org/10.1177/09544089211008000>

Shi, D., Zhang, W., Zhang, W., y Ding, X. (2019). A Review on Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robots. *Chinese Journal Of Mechanical Engineering*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0389-8>

Smajic, H., y Duspara, T. (2021). Development and Manufacturing of a Controlled 3D Printed Bionic Hand. *TH Wildau Engineering And Natural Sciences Proceedings*, 1(1). <https://doi.org/10.52825/thwildauensp.v1i.11>

Smith, V., Ferres, E., y Montesinos, M. (1992). *Manual de embriología y anatomía general* (1a ed., pp. 443-445). Universitat de València.

Sun, Z., Zi, B., Li, Y., y Chen, B. (2022). Design, Modeling and Evaluation of a Hybrid Driven Knee-Ankle Orthosis with Sma Actuators. *SSRN Electronic Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4052263>

Terekhov, I., y Chistyakov, E. (2021). Binders Used for the Manufacturing of Composite Materials by Liquid Composite Molding. *Polymers*, 14(1), 87. <https://doi.org/10.3390/polym14010087>

Thompson, F. (2019). *The Origins And Evolution of Orthotics: How Ergonomic Footwear Began*. Custom Prescription Foot Orthotics Brantford, Ontario - Thompson Health Services. Revisado 8 mayo 2022, en <https://www.thompsonhealthservices.ca/origins-of-orthotics/>

Tsabedze, T., Hartman, E., Brennan, C., y Zhang, J. (2021). A Compliant Robotic Wrist Orthosis Driven by Twisted String Actuators. *2021 International Symposium On Medical Robotics (ISMR)*, 1(2). <https://doi.org/10.1109/ismr48346.2021.9661492>

Vargas, F. (2017). Indicaciones de las órtesis en atención primaria, *Formación Médica Continuada en Atención Primaria*, 24(8), 465-478.

Vázquez, E. (2016). *Los amputados y su rehabilitación. Un reto para el Estado* (1st ed.). Academia Nacional de Medicina de México.

Vélez, M., Callejas, M., y Mazzoleni, S. (2021). Artificial Intelligence-Based Wearable Robotic Exoskeletons for Upper Limb Rehabilitation: A Review. *Sensors*, 21(6), 2146. <https://doi.org/10.3390/s21062146>

Viladot, A. y Ruano D. (2001). *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor* (1a ed., pp. 171-183). Masson.

Wang, J., y Barry, O. (2021). Inverse Optimal Robust Adaptive Controller for Upper Limb Rehabilitation Exoskeletons With Inertia and Load Uncertainties. *IEEE Robotics And Automation Letters*, 6(2), 2171-2178. <https://doi.org/10.1109/lra.2021.3061361>

Wang, Y., Tan, Q., Pu, F., Boone, D., y Zhang, M. (2020). A Review of the Application of Additive Manufacturing in Prosthetic and Orthotic Clinics from a Biomechanical Perspective. *Engineering*, 6(11), 1258-1266. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.019>

Wang, Y., Wang, H., y Tian, Y. (2021). Adaptive interaction torque-based AAN control for lower limb rehabilitation exoskeleton. *ISA Transactions*, 1(1). <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.10.009>

Williams, S., Martina, F., Addison, A., Ding, J., Pardal, G., y Colegrove, P. (2016). Wire + Arc Additive Manufacturing. *Materials Science And Technology*, 32(7), 641-647. <https://doi.org/10.1179/1743284715y.0000000073>

Wong, K., y Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012(1), 1-10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>

Wong, Y., Li, C., Ada, L., Zhang, T., Månun, G., y Langhammer, B. (2022). Upper Limb Training with a Dynamic Hand Orthosis in Early Subacute Stroke: A Pilot Randomized Trial. *Journal Of Rehabilitation Medicine*, 54, jrm00279. <https://doi.org/10.2340/jrm.v54.2231>

Xu, S., Chen, Y., Hyun, N., Becker, K., y Wood, R. (2021). A dynamic electrically driven soft valve for control of soft hydraulic actuators. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 118(34). <https://doi.org/10.1073/pnas.2103198118>

Yung, L., Shu, L., Kwok, Y., Ya, T., y Chiung, C. (2018). Design of a Dynamic Hand Orthosis for Stroke Patient to Improve Hand Movement. In J. Wildout, *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (1st ed., pp. 568–575). Springer.

Zhou, J., Yang, S., y Xue, Q. (2021). Lower limb rehabilitation exoskeleton robot: A review. *Advances In Mechanical Engineering*, 13(4), 168781402110118. <https://doi.org/10.1177/16878140211011862>

Zhu, H., Nesler, C., Divekar, N., Peddinti, V., y Gregg, R. (2021). Design Principles for Compact, Backdrivable Actuation in Partial-Assist Powered Knee Orthoses. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 26(6), 3104-3115. <https://doi.org/10.1109/tmech.2021.3053226>



**ECORFAN®**

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BECORFAN is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/booklets](http://www.ecorfan.org/booklets))