



9th International Interdisciplinary Congress on Renewable Energies, Industrial Maintenance, Mechatronics and Informatics

Booklets



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - Google Scholar DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID - V|LEX

Title: Sustainable design of dynamic elbow orthoses for adult rehabilitation treatment

Authors: Castillo-Aguirre, Alfredo Humberto, Baez-Guzman, Ricardo, Cruz-Gomez, Marco Antonio and López-Aguilar, Genaro Roberto

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2024-01
BCIERMMI Classification (2024): 241024-0001
RNA: 03-2010-032610115700-14
Pages: 13

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla KQF-3856-2024 0009-0007-1564-2611 2030591
 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla KQU-7720-2024 0000-0002-7182-4870 627039
 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla S-3098-2018 0000-0003-1091-8133 349626
 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla AAN-6708-2021 0000-0003-0140-7163 504343

CONAHCYT classification:
Area: Engineering
Field: Technological sciences
Discipline: Medical technology
Subdiscipline: Medical instruments

ECORFAN-México, S.C.
Park Pedregal Business. 3580,
Anillo Perif., San Jerónimo
Aculco, Álvaro Obregón,
01900 Ciudad de México, CDMX,
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

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

ÍNDICE

- **INTRODUCCIÓN**
- **METODOLOGÍA**
- **ANATOMÍA DE LA ARTICULACIÓN DE CODO**
- **PATOLOGÍA Y REHABILITACIÓN DE CODO**
- **BIOMECÁNICA DEL CODO**
- **RESULTADOS**
- **CONCLUSIONES**
- **REFERENCIAS**



INTRODUCCIÓN



Rehabilitación Dinámica del Codo mediante Órtesis

•Anatomía del Cuerpo Humano

- Total de 360 articulaciones:
 - Cráneo: 86
 - Garganta: 6
 - Columna y pelvis: 76
 - Tórax: 66
 - Brazos: 32 cada uno
 - Piernas: 31 cada una

•Articulación del Codo

•Grados de Libertad:

- Flexión-Extensión (0° - 160° ; actividad: 30° - 130°)
- Pronación-Supinación (160° - 170°)

•Problemas Comunes:

- Enfermedades degenerativas
- Lesiones por trabajo, deportes o accidentes

•Rehabilitación:

- Intervención quirúrgica
- Terapia mecánica constante

•Órtesis para el Codo

•Tipos:

- Descompresión, inmovilización, estabilización, funcional, postural, correctiva, mixta

•Objetivo de la Investigación:

- Diseñar una órtesis dinámica usando el método de elementos finitos
- Enfoque en sostenibilidad: económico, ecológico y social

•Futuro

- Caracterización de la rehabilitación
- Optimización por personal de salud



METODOLOGÍA



Diseño sustentable de órtesis dinámica de codo con fines de rehabilitación en adultos

Objetivos	Metodología	Contribución
Esta investigación buscó diseñar una órtesis dinámica de codo usando el método de elementos finitos para una rehabilitación sustentable en adultos.	Se realizó un análisis mixto en el diseño y optimización de la órtesis, considerando variables como medidas antropométricas, rangos de movilidad, parámetros biomecánicos, diseño mecánico y control de rehabilitación.	Los datos técnicos de la anatomía humana se transformaron en modelos biomecánicos, optimizando el diseño de la órtesis para sistemas sustentables.

ANATOMÍA DE LA ARTICULACIÓN DE CODO

La articulación de codo está compuesta por tres articulaciones; la húmero-radial, húmero-cubital (movimiento de flexo-extensión) y radio-cúbital proximal intermedia (movimiento de pronosupinación), perteneciente al miembro superior humano. Sin embargo, se consideran como una sola articulación; porque la cavidad articular, la membrana sinovial, la capsula y los ligamentos son comunes en las tres articulaciones, mostrados en la figura.

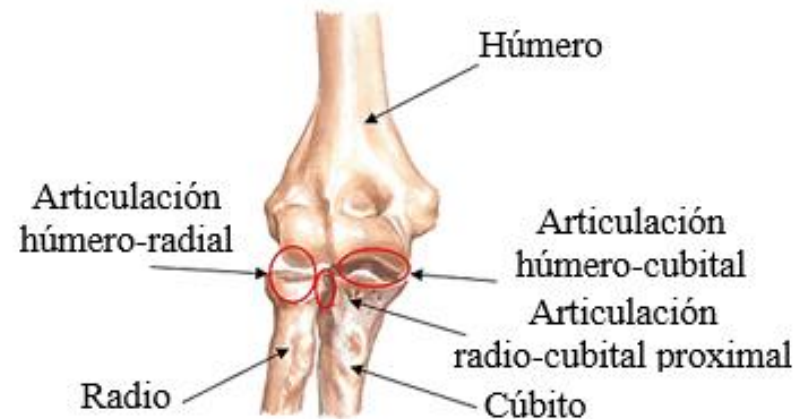


Figura 1. Articulaciones de codo (Hamill et al., 2022).

Los músculos prono-supinadores son cuatro: El músculo supinador, bíceps braquial, pronador cuadrado y pronador redondo.

Los movimientos de flexo-extensión y pronosupinación son realizados por la acción de los músculos que rodean la articulación del codo.

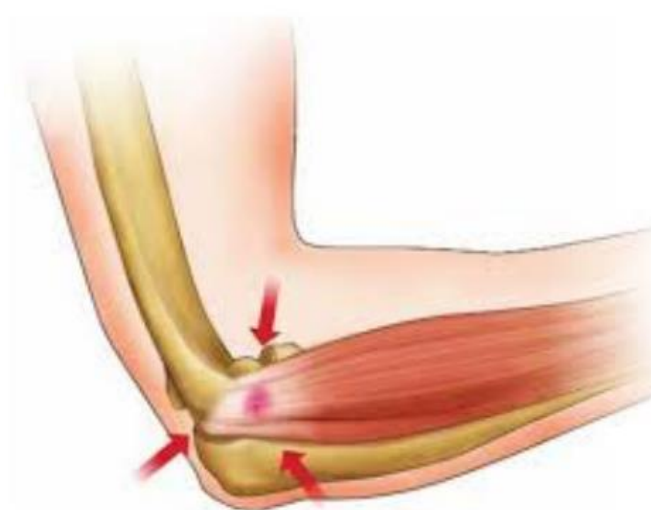


Figura 2. Ejes de movimientos del codo (Nordin et al., 2020).

El cuerpo humano está expuesto a sufrir luxaciones, esguinces, torceduras de articulaciones, ligamentos y otras enfermedades, acompañadas de accidentes viales, laborales o por deporte. Estas pueden culminar o no con una intervención quirúrgica. En la mayoría de los casos, se requerirá una rehabilitación pasiva, donde una persona o dispositivo moviliza o inmoviliza la zona afectada del paciente. Las patologías de codo incluyen fracturas, luxación e inestabilidad crónica, traumatismos, heridas de los tejidos blandos, infecciones y quemaduras. Las rehabilitaciones de estas suelen ser de larga duración, de 6-12 meses

Una órtesis es un dispositivo aplicado externamente sobre el cuerpo para mejorar su función musculoesquelética. Se pueden clasificar en estáticas y dinámicas

Las órtesis dinámicas existentes en el mercado se enfocan en un solo movimiento, flexo-extensión, dejando de lado el movimiento de pronación-supinación. Los únicos dispositivos que cubren estos dos movimientos son los exoesqueletos que suelen ser de importación y con altos costos de adquisición, mantenimiento y requieren de niveles de especialización en su manejo.



El conocimiento detallado de la biomecánica de la función del codo es esencial para que el clínico pueda tratar eficazmente las condiciones patológicas que afectan a la articulación del codo (Nordin et al., 2020).

Propiedades del hueso cortical:

- Capaz de soportar mayor esfuerzo en compresión (aprox. 190 MPa).
- Soporta alrededor de 130 MPa en tensión.
- Fuerza cortante: 70 MPa.
- Módulo de Young: 17 GPa (carga longitudinal o axial) y 11 GPa (carga transversal).

Propiedades del hueso esponjoso o trabecular:

- Resiste menor carga: 50 MPa en compresión y 8 MPa en tensión.
- Módulo de Young: aprox 0.4 GPa.
- Más dúctil que el hueso cortical (hasta 5 veces).
- Más denso (aprox. 25%) y más rígido (5-10%) (Nordin et al., 2020).

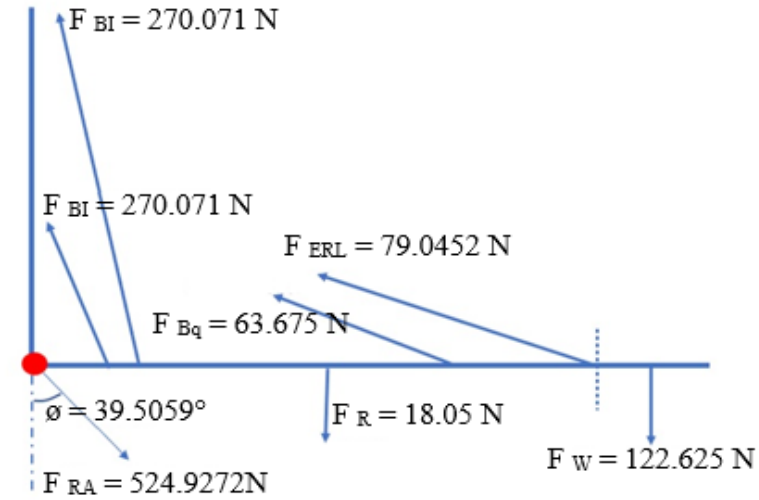


Figura 3 Diagrama de cuerpo libre con las fuerzas musculares y fuerza resultante en el codo

Fuerza máxima del músculo:

- 0.25 a 0.6 MPa (Rueda, 2021).

Cinemática del codo en la vida diaria:

- Rango de flexión-extensión: 30° - 130° .
- Rango de pronación-supinación: 50° para pronación y 50° para supinación.
- Las contracturas mayores a 30° causan molestias y pérdida de movimiento.

Análisis estático:

- Considera el posicionamiento del codo a 90° y en supinación.
- Masa de 12.5 kg en el extremo del brazo (muñeca y mano), de acuerdo a la NOM-036-1-STPS-2018.
- Carga máxima permitida dentro de parámetros biológicos: 25 kg en ambos brazos (Leal, 2020; Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2024).

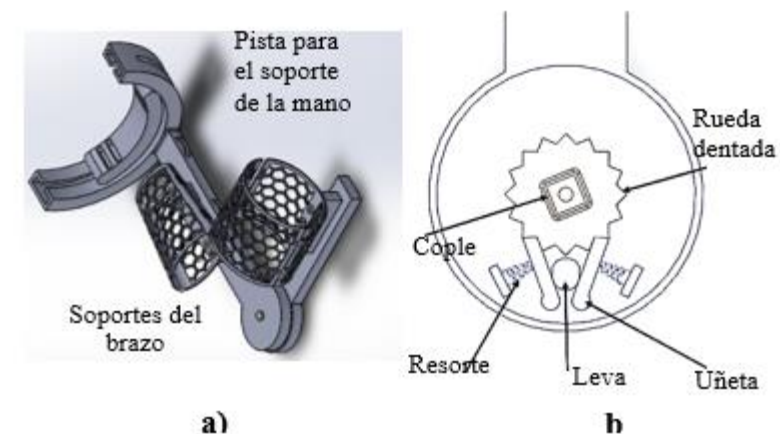


Figura 4. Mecanismos para rehabilitación de codo a) Órtesis, b) Trinquete

RESULTADOS

Una simulación de elemento finito del sujetador de la banda a 90° nos muestra un esfuerzo de Von-Mises.

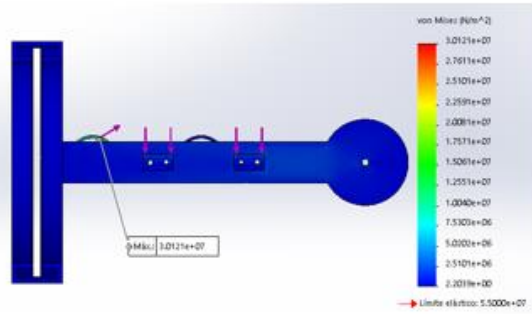


Figura 5 Esfuerzo máximo de Von-Mises a 90°

Un análisis de la pieza de la parte superior del brazo, cuando las fuerzas que actúan en la pieza que se fija a la altura del bíceps fueron estudiadas para determinar la fuerza de la banda elástica que se fija sobre el soporte.

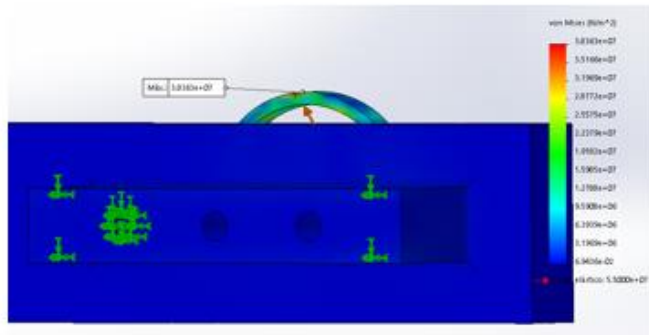


Figura 6. Esfuerzo cuando el codo se encuentra a 90°

Los esfuerzos principales sobre el mecanismo se concentran en el soporte de la banda elástica, considerándose una parte crítica del mecanismo.

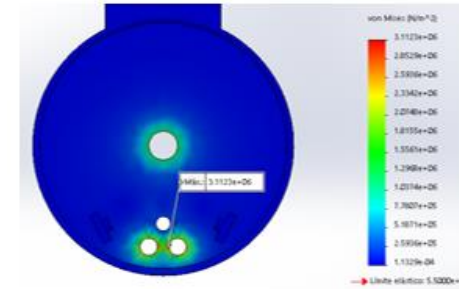
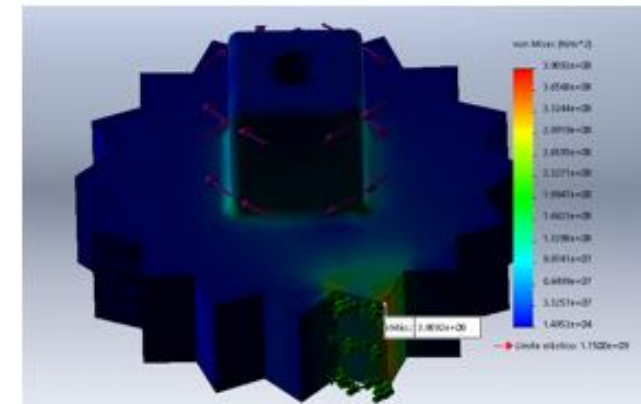


Figura 7. Esfuerzo en el mecanismo generados por el trinquete

Los análisis realizados sobre la rueda dentada ayudaron a determinar el esfuerzo máximo, cuando el mecanismo del codo a 90° se encuentra totalmente extendido.





Nombre de la pieza	Esfuerzo máximo generado
Pieza del antebrazo	30.121 MPa
Pieza de la parte superior del brazo	38.363 MPa
Rueda dentada	800.93 MPa
Uñeta segunda posición	110.58 MPa
Uñeta tercera posición	14.465 MPa

Material	Módulo de Young	Limite elástico	Resistencia a la Flexión
ABS	2300 MPa	45 MPa	65 MPa
PLA	2346.5 MPa	49.5 MPa	103 MPa
TPU	26 MPa	8.6 MPa	4.3 MPa
PETG	2200 MPa	53 MPa	79 MPa

Nombre del acero	Resistencia a la tensión (MPa)	Limite elástico (MPa)	Tratamiento térmico Resistencia a la tensión (MPa)
AISI 1045	630	530	1583
Acero 1.6582	900	600	1200
Acero 1.6587	980	685	1270
Acero 1.6657	1176	931	1180
Acero 1.8519	1100	900	1300



CONCLUSIONES

Los resultados del prototipo de órtesis dinámica para la rehabilitación del codo logró reproducir los movimiento de flexo-extensión y pronosupinación, con un mecanismo puramente mecánicos, que disminuye la complejidad del prototipo con un impacto positivo para cubrir los parámetros de desarrollo sustentable perseguidos en los objetivos del diseño mecánico.

La propuesta de llevar a cabo un diseño que cubrió la funcionalidad y los esfuerzos mecánicos por elemento finito que permiten la selección de materiales adecuados para la fabricación de cada elemento asegura que teóricamente el mecanismo no presentara fallas durante las actividades de rehabilitación.



REFERENCIAS

Antecedents.

Hernández Soriano, J. L. (2023). Análisis y diseño de una órtesis dinámica para la rehabilitación del codo en adultos [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/44d4564d-a954-40b4-9e31-eb9732d3ab5a>

Basics.

Computer-Aided Engineering CAD/CAM/CAE, (s. f.). Siemens Digital Industries Software.

<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112>

Introducción a los Sistemas CAD/CAM/CAE. (s. f.). Recuperado 10 de septiembre de 2022, de http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/eg_tema_2.pdf

Dalley, A. F., II, & Agur, A. (2022). Moore. Anatomía con orientación clínica (9a ed.). Ovid Technologies.

Hamill, J., Knutzen, K., & Derrick, T. (2022). Biomechanica Basica Bases Movimient 5.

Leal, L. (2020). FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DEL EJERCICIO: Biomecánica aplicada al entrenamiento de Fuerza.

McMahon, P., & Skinner, H. (2021). CURRENT diagnosis & treatment orthopedics, sixth edition (6a ed.). McGraw-Hill Education.

Netter, F. H. (2023). Netter. Atlas de anatomía humana. Abordaje regional. Elsevier.

Nordin, M., & Victor H., F. (2020). Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System. Lippincott Williams & Wilkins.

Secretaría de Trabajo y Previsión Social (2024 3). Gob.mx. https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7468/stps11_C/stps11_C.html

Tortora, G. J., & Bryan, D. (2021). Principios de Anatomía y Fisiología. Editorial Médica Panamericana.

Supports.

Alvarado Huaranga, R. M., & Sánchez Milla, E. I. (2023). Diseño e implementación de un prototipo ortesis de miembro superior para la rehabilitación de un paciente post ACV [Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/8268>

Fuensalud, C. (2022, enero 18). Fractura de codo tratada con fisioterapia. Clínica Fuensalud.

<https://www.clinicafuensalud.com/fractura-de-codo-tratada-con-fisioterapia/>

Gil-Henao, G. A., Moreno-Arango, J. D., Gómez Rendón, J. F., Becerra-Velasquez, J., & Gil-Guerrero, M. A. (2021). Rehabilitación temprana de fracturas de radio distal con ortesis robóticas. Reporte de Casos. Revista colombiana de ortopedia y traumatología, 35(2), 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.rccot.2021.04.007>

Ibarra, H. D. V. (2020). Diseño de exoesqueleto de tres grados de libertad para miembro superior. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclefindmkaj/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14505/1/20T01364.PDF

Leal, R. A. (2021). Diseño mecánico y construcción de soporte para antebrazo de un robot para rehabilitación de codo utilizando manufactura FDM. La Mecatrónica en México. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclefindmkaj/https://www.mecamex.net/revistas/LMEM/revistas/LMEM-V10-N02-02.pdf

Rueda, J. A. T. (2021). Órtesis para inmovilización de miembro superior [Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1988>

Segnini J., Vaca D., y Vergara M. (2020). Diseño de una órtesis activa para rehabilitación de codo con técnicas de impresión en 3d. AXIOMA, (22), 46-51. Recuperado a partir de <http://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/598>

Sevik Kacmaz, K., & Unver, B. (2024). Immediate effects of elbow orthoses on elbow proprioception in asymptomatic individuals: A randomized sham-controlled single-blinded study. Journal of Hand Therapy: Official Journal of the American Society of Hand Therapists, 37(2), 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2023.12.010>

Discussions.

Chanlalit, C., Sakdapanichkul, C., & Mahasupachai, N. (2023). Avoidance of direct posterior portal during elbow arthroscopic surgery in posterior compartment. *Arthroscopy Techniques*, 12(12), e2211–e2218. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2023.07.047>

Graves, B. R. (2024). The examination and treatment of soft tissue contracture of the elbow. *Journal of ISAKOS Joint Disorders & Orthopaedic Sports Medicine*, 9(1), 98–102. <https://doi.org/10.1016/j.jisako.2023.10.006>

Koizumi, H., Oyama, M., Odagiri, M., Shioda, N., Fujime, C., & Kusano, N. (2023). Impact of the contraction of medial forearm muscles during grip tasks in different forearm positions on medial support at the elbow joint. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 71(102783), 102783. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2023.102783>

Part-Soriano, J., y Sánchez-Alepuz, E. (2021b). Biomecánica y exploración física del codo. *Revista española de traumatología laboral*, 4(2). <https://doi.org/10.24129/j.retla.04208.fs2106018>

Verstuyft, L., Caekebeke, P., & van Riet, R. (2021). Postoperative rehabilitation in elbow surgery. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 20(101479), 101479. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.101479>



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. BCIERMMI is part of the media of Ecorfan-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)