

# DISEÑO CONCEPTUAL Y DE DETALLE DE UN EXOESQUELETO PARA FISIOTERAPIA DE TOBILLO

José Irving Daniel Martínez-Chávez, Israel Miguel-Andrés, Paola Hernández-Gandarillas,  
José de Jesús Mayagoitia-Vázquez, Luis Ángel Ortiz-Lango

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, CIATEC, A.C.  
[imartinez@ciatec.mx](mailto:imartinez@ciatec.mx); [imiguel@ciatec.mx](mailto:imiguel@ciatec.mx)

## RESUMEN

El esguince de tobillo es una de las lesiones más comunes en el ámbito deportivo y en la vida cotidiana, según los datos del instituto mexicano del seguro social se estima que alrededor de un caso por cada 10 mil personas son atendidas por día. una de las funciones principales del exoesqueleto es comportarse como una férula rígida durante la etapa de inmovilización de la articulación, además de considerar periodos de movilización para la rehabilitación del individuo. Este ciclo está integrado por varias fases, una de ellas es el diagnóstico indicado por un médico ortopedista en conjunto con un fisioterapeuta. Además, se analiza la cinemática del tobillo para tener control del exoesqueleto transtibial, para lo cual se estudia la fisiología de la articulación a través del sistema optoelectrónico en una muestra de participantes jóvenes adultos.

**Palabras clave:** Tobillo, Esguince, Exoesqueleto

## ABSTRAC

The sprained ankle is one of the most common injuries in sports and everyday life, according to data from the Mexican Institute of Social Security is estimated that about one case for every 10 thousand people is assisted per day. One of the main functions of the exoskeleton is to behave like a rigid splint during the immobilization stage of the joint, besides considering periods of mobilization for the rehabilitation of the individual. This cycle is composed of several phases, one of them is the diagnosis indicated by an orthopedic doctor in conjunction with a physiotherapist. In addition, the kinematics of the ankle is analyzed to control the transtibial exoskeleton, for which the physiology of the joint is studied through the optoelectronic system in a sample of young adult participants.

**Keywords:** Ankle, Sprain, Exoskeleton

## 1. INTRODUCCIÓN

En la rehabilitación parte de las terapias son llevadas a cabo forma manual, utilizando únicamente la experiencia del fisioterapeuta y herramientas sencillas (pelotas, tinas, botellas de plástico, compresas húmedas, etc.); en muchas ocasiones las terapia se vuelven poco precisas y susceptibles a los errores humanos, es por ello que el siguiente trabajo se enfoca en el apoyo a la rehabilitación de una lesión muy común en la vida del ser humano, el

esguince de tobillo, mediante un exoesqueleto transtibial para rehabilitación que será desarrollado para atacar la lesión mencionada.

el esguince de tobillo consiste en la ruptura parcial o total de uno o más de los ligamentos en la articulación del tobillo y se caracteriza por dolor, edema y limitación funcional. la atención oportuna de este tipo de lesiones ligamentarias en las primeras 72 horas conlleva a mejores resultados en salud y menores repercusiones sociales y económicas [1]. las lesiones por inversión de los ligamentos externos del tobillo son las más frecuentes en deportes como el baloncesto y el fútbol, y suponen el 40% del total de las lesiones de los deportistas [2].

El objetivo de la presente investigación es desarrollar un exoesqueleto transtibial para la rehabilitación de esguinces de tobillo de primer y segundo grado. A continuación, se muestra la caracterización de la cinemática de la articulación de tobillo como información útil para el control y manipulación del exoesqueleto transtibial.

## 2. TEORÍA

Exoesqueletos para rehabilitación: Las extremidades inferiores permiten el desplazamiento y son la base de la independencia de una persona; por eso se hace notar la gran importancia de los desarrollos que basan sus esfuerzos en la asistencia y la rehabilitación de las personas que han sufrido algún accidente o que presentan alguna patología que afecte su movimiento. Como un ejemplo importante en esta área, está el llamado Active Knee Rehabilitation Orthotic Device (por sus siglas en inglés AKROD) [3], el cual es un dispositivo ortopédico para rehabilitación activa de rodilla, diseñado para entrenar a pacientes con accidente cerebro-vascular, que sufren de hiper-extensión de la rodilla en la fase de apoyo de la marcha y de extensión reducida de la rodilla durante la fase de balanceo.

Otro desarrollo de mucha importancia en la rehabilitación de pacientes es el presentado por J.L. Pons y colaboradores [4]. Este es un sistema de compensación y evaluación de la marcha patológica, para aplicaciones, en condiciones reales, como una metodología de asistencia y evaluación de los problemas que afectan la movilidad de individuos con desórdenes neuromotores. El sistema de monitoreo y control incluyó dos botones para un control directo por medio del usuario, ofreciendo la posibilidad de habilitar o deshabilitar totalmente la estrategia de control en cualquier momento [5].

## 3. PARTE EXPERIMENTAL

Se estudió la estructura anatómica de los pies y su fisiología en 8 jóvenes adultos de la ciudad de León, edad entre 20 y 30 años (Figura 1). Como criterio de inclusión se revisó que todos los participantes ejecutaran sus actividades cotidianas de manera natural y se excluyó aquellos que presentaron dificultades motrices, amputaciones o problemas neuronales. Los procedimientos se llevaron a cabo de acuerdo con la Ley General de Salud de México, y cuidando los principios de la Declaración de Helsinki.

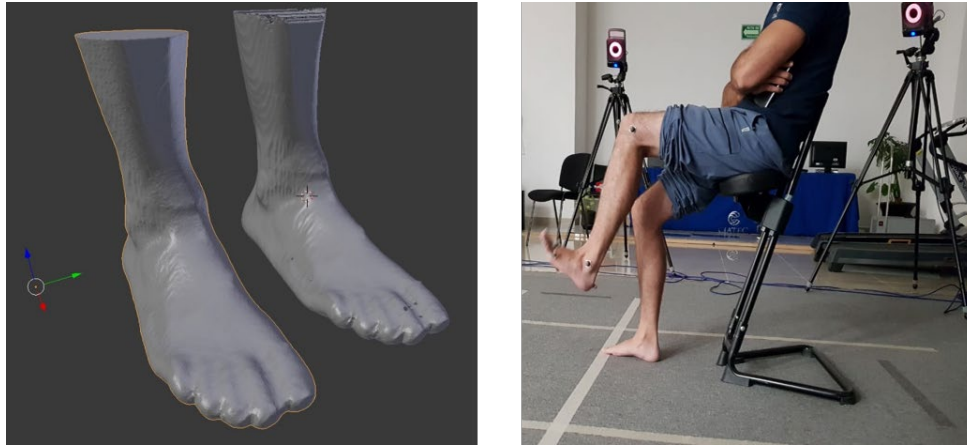


Figura 1 Análisis de los rangos de movimiento de dorsiflexión y plantar-flexión del tobillo a través del sistema optoelectrónico VICON

#### 4. RESULTADOS

Se realizaron las pruebas con el sistema vicon para obtener el rango de movimiento de tobillo a 8 sujetos para hacer la evaluación de máximo movimiento en dorsiflexión y plantiflexión, los resultados se muestran en la Tabla 1 y en la Figura 2:

Tabla 1 Rangos de movimiento promedio de la articulación del tobillo en el pie derecho y el izquierdo

PROM FLEXIONPLANTAR D	PROM DORSIFLEXIÓN D	PROM FLEXIONPLANTAR I	PROM DORSIFLEXIÓN I
35.78160357	21.89002687	36.4087805	20.34184654
DESV. EST. FLEXIONPNATAR D	DESV. EST. DORSIFLEXIÓNR D	DESV. EST. FLEXIONPNATAR I	DESV. EST. DORSIFLEXIÓNR I
3.739185715	4.852671994	7.341017878	5.512167405

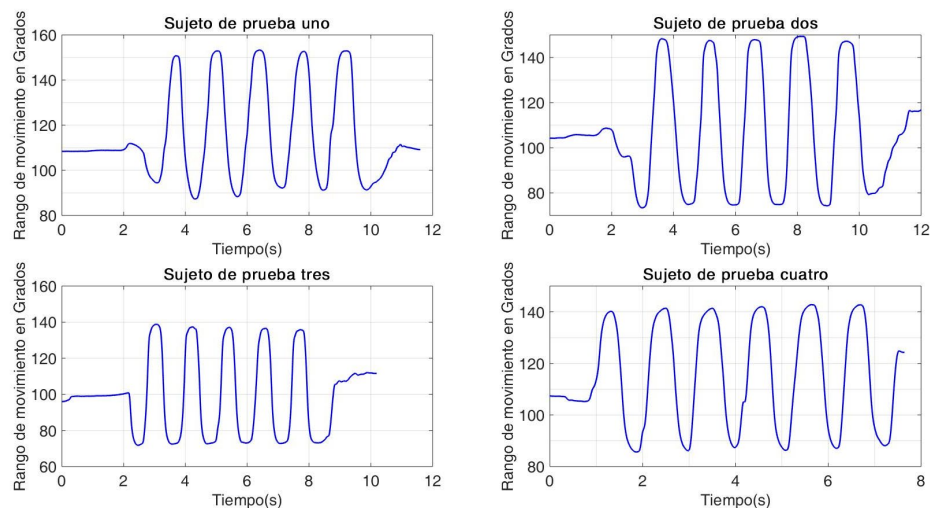


Figura 2 Gráficas del comportamiento de los rangos de movimiento del tobillo en plantiflexión y dorsiflexión respectivamente

## 5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se encontró que los rangos de movimiento del tobillo son de suma importancia para tomarse en cuenta en las diferentes etapas de la rehabilitación, que comprende desde la inmovilización del tobillo como primera etapa y posteriormente graduar los rangos de movimiento hasta llegar a los de movimientos naturales de dorsiflexión y plantiflexión. Los movimientos serán logrados gracias al control de los grados de movimiento del exoesqueleto de rehabilitación a través de una interfaz de usuario controlada y supervisada por el médico tratante.

## 6. REFERENCIAS

- [1] S. Flores, D. Escobar, N. Manilla, and R. Martínez, “Diagnóstico y Manejo del Esguince de Tobillo en la Fase Aguda en el Primer Nivel de Atención,” (2013).
- [2] L. Guirao Cano, E. Pleguezuelos Cobo, and M. a. Pérez Mesquida, “Tratamiento funcional del esguince de tobillo,” *Rehabilitación*, 38(4), 182–187, (2004).
- [3] B. Weinberg et al., “Design, Control and Human Testing of an Active Knee Rehabilitation Orthotic Device,” in *Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 4126–4133 (2007).
- [4] J. L. Pons, J. C. Moreno, F. J. Brunetti, and E. Rocon, “Lower-Limb Wearable Exoskeleton,” *Rehabil. Robot.*, 471–498, (2007).
- [5] M. Alejandro, C. Cardona, F. R. Spitia, and A. B. López, “Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación,” *Rev. Ing. Biomédica*, 4, 63–73, (2010).