

## DISEÑO ÓPTIMO DE UN MECANISMO DE CUATRO BARRAS PARA PRÓTESIS TRANSFEMORAL

Jhan Carlos Gonzalez Miranda<sup>1</sup>, jhangonzalez8@gmail.com  
Alejandro José Rosales Navarro<sup>1</sup>, alejandron\_7@hotmail.com  
Neider Nadid Romero Nuñez<sup>2</sup>, neider.nadidr@upb.edu.co

<sup>1</sup>Estudiante Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana Montería

<sup>2</sup>Docente Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana Montería

### 1. INTRODUCCIÓN.

En este proyecto se pretende desarrollar un método general para el diseño óptimo de un mecanismo de cuatro barras de prótesis de miembro inferior, con el propósito del desarrollo posterior de prótesis de miembro inferior de ingenio colombiano. Además, aportar con un nuevo trabajo en la literatura, que no es muy abundante en este tema. Una de las principales razones que motivan este proyecto es la posibilidad de hacer un aporte al posconflicto colombiano, ya que el número de personas amputadas por causa de la guerra es grande, y las posibilidades de adquirir una prótesis son muy bajas debido al alto costo de estas. Al final del proyecto se espera obtener un método de diseño el cual permita la elaboración de un prototipo, para hacer pruebas piloto y así identificar problemas y posibilidades de mejora en el diseño.

### 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

Las amputaciones de miembros del cuerpo presentan grandes desafíos para los científicos e ingenieros. Siendo las prótesis mecánicas unas de las soluciones óptimas para la recuperación de las funciones que cumplían sus miembros faltantes. En Colombia esta problemática se ve acrecentada, a raíz de la violencia armada que ha padecido durante los últimos 50 años debido al enfrentamiento de grupos subversivos y del gobierno nacional. Según las estadísticas de los registros 1991-2017 de la unidad de víctimas antipersonal en Colombia (Dirección para la Acción contra Minas Antipersonal, 2017), 9175 ciudadanos han sido heridos con

amputación en alguna de sus extremidades. Las prótesis de miembro inferior proveen una extremidad comprendida entre la rodilla y el pie, siendo este tipo de prótesis una de las más necesitadas debido a la gran parte de amputados corresponden a amputaciones de miembro inferior.

Para el estudio y diseño del funcionamiento de una prótesis, la síntesis de mecanismos constituye los parámetros guía que se aplican para su construcción. La complejidad de las especificaciones que cada aplicación tiene, imposibilita la creación de parámetros que guíen los diseños generales de las posibles soluciones para la síntesis de un mecanismo. A falta de un método que permita homogeneidad para analizar la síntesis de un mecanismo, se han creado diversos métodos entre los que se encuentra la optimización por técnicas heurísticas. Se plantea desarrollar un mecanismo que optimice el funcionamiento de una prótesis inferior que sirva como una herramienta de optimización basada en computación inteligente y en la síntesis aproximada para realizar síntesis de mecanismos. Además disminuya los altos costos de fabricación de estas y que proporcione mayor ergonomía y naturalidad en el día a día de las personas amputadas. Generaría un gran impacto en las vidas de esta comunidad, ya que por su alto costo, estas prótesis son exclusivas y no abarcan la totalidad de la población. Por esta razón, mejorar el diseño de esta serie de mecanismos, contribuiría de manera importante en la sociedad, mejorando la calidad de vida y abarcando mayor población de las personas con un miembro inferior faltante.

Problema social, número de afectados por minas por ejemplo

- Alto costo de prótesis
- Método de diseño diferente

### 3. OBJETIVOS.

#### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un procedimiento para el diseño óptimo y análisis de un mecanismo de cuatro barras para prótesis transfemoral.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un modelo matemático que represente la cinemática de un mecanismo de cuatro barras
- Desarrollar un método de diseño óptimo
- Realizar simulaciones para analizar el funcionamiento del mecanismo optimizado

### 4. REFERENTE TEÓRICO.

Un mecanismo es un dispositivo que transforma el movimiento en un patrón deseable, y por lo general desarrolla fuerzas muy bajas y transmite poca potencia.

La cinemática es el estudio del movimiento sin considerar las fuerzas y la cinética es el estudio de las fuerzas sobre sistemas en movimiento (Norton, 2003).

En (Wampler & Sommesse, 2011) se propone un método de solución de la cinemática de posición, utilizando como herramienta una teoría matemática considerablemente joven, conocida como álgebra diferencial, que consiste en la solución de sistemas de ecuaciones algebraicas. (Jalón & Bayo, 1994), desarrollaron un método general para el problema cinemático y dinámico de mecanismos, tanto planos como espaciales. Destacando la invención de las llamadas coordenadas naturales, las cuales consisten en su mayoría de coordenadas cartesianas ubicadas en los pares cinemáticos y en puntos de interés del mecanismo. Otros aportes importantes se pueden encontrar en (Avello, 2014; Tsai & Norton, 2001)

### Biomecánica de Rodilla

El miembro inferior está constituido por tres articulaciones: cadera rodilla y tobillo, cada una de ellas tiene características particulares, pero en conjunto, desarrollan movimientos complicados: amortiguan impactos, soportan cargas, y junto a los músculos mantiene el equilibrio del cuerpo durante la bipedestación, marcha y posturas particulares.

Los músculos asociados a la cadera, rodilla y tobillo continuamente ajustan la posición de las articulaciones para mantenernos de pie y en equilibrio. Por consiguiente, si alguna de las articulaciones mencionadas se ve afectada por alguna patología, la repercusión de ésta altera la normalidad de las otras articulaciones (Solís, 2013).

Este trabajo se enfocara en la articulación de la rodilla.

#### Mecanismos para prótesis de miembro inferior

El movimiento principal de la articulación de rodilla es la flexo-extensión que ocurre en el plano sagital; éste no es un movimiento rotacional simple, pues si así fuera, al girar el fémur encima de la tibia la rodilla acabaría luxándose. Durante la flexo-extensión de rodilla, el fémur, además del movimiento giratorio, efectúa un movimiento de deslizamiento sobre los platillos tibiales, lo cual hace que el eje de rotación no sea fijo y por tanto exista un Centro Instantáneo de Rotación (CIR) (Amador, Torrealba, Rojas, Cappelletto, & Müller-karger, 2012).

El mecanismo de cuatro barras es el más utilizado en prótesis de miembro inferior dada su sencillez estructural lo cual facilita su diseño, que consiste en que el mecanismo simule el momento natural de la rodilla, esto se consigue dando las dimensiones tales que la curva que realiza el centro de rotación del mecanismo se aproxime a la curva del centro de rotación de una rodilla natural, como se muestra en la figura 2.

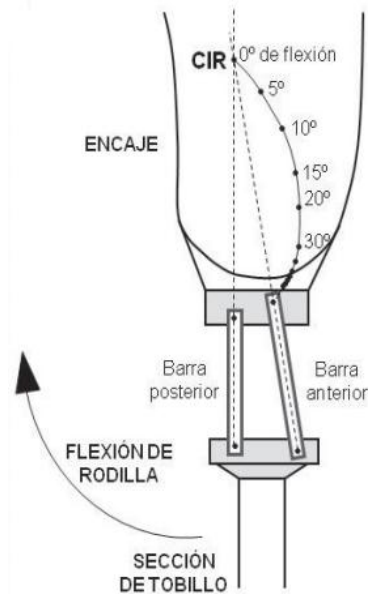


Figura 2: Mecanismo de cuatro barras para replazo de la rodilla

## 5. METODOLOGÍA.

Para desarrollar un método de diseño y análisis de un mecanismo de cuatro barras para prótesis de miembro inferior, se procederá a identificar las variables de diseño y los requisitos que debe cumplir el mecanismo de la prótesis, para conseguir que la marcha sea lo más natural posible. Luego se planteará un método de diseño óptimo para el mecanismo, exponiendo de forma matemática los requisitos de diseño y condensarlos en una función objetivo, la cual al ser minimizada permita obtener las variables de diseño que se aproximen a los requisitos exigidos. Como generalmente este tipo de problemas son bastante complejos, se precisa implementar un algoritmo heurístico adecuado para abordar el problema de optimización. Finalmente, el mecanismo de prótesis será simulado utilizando un modelo matemático para comprobar su funcionamiento y proceder a construir un prototipo, el cual será sometido a pruebas para identificar problemas que deban ser solucionados.

## 6. RESULTADOS ESPERADOS

En este trabajo se pretende desarrollar un procedimiento para la síntesis óptima de un

mecanismo de cuatro barras en una prótesis transfemoral. Donde el problema de posición se abordara utilizando coordenadas naturales, con el fin de obtener ecuaciones simples y de fácil implementación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

- Amador, B. T., Torrealba, R. R., Rojas, M., Cappelletto, J., & Müller-karger, C. M. (2012). Metodología para dimensionamiento de mecanismo policéntrico de rodilla utilizando análisis de marcha y algoritmos genéticos. *Revista de Ingeniería Biomedica*, 6(11), 30–45.
- Avello, A. (2014). *Teoría de Máquinas* (2nd ed.). Pamplona, España.
- Jalón, J. De, & Bayo, E. (1994). *Kinematic and dynamic simulation of multibody systems. Mechanical Engineering Series, Springer, ....* Springer-Verlag.
- Norton, R. L. (2003). *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. McGraw-Hill Higher Education.
- Solís, F. M. (2013). *Tesis de Doctorado en Ciencias Diseño de Prótesis Transfemoral Activa*. Centro nacional de investigación y desarrollo tecnologico.
- Tsai, L.-W., & Norton, R. (2001). *Mechanism Design: Enumeration of Kinematic Structures According to Function*. (C. Press, Ed.), *Applied Mechanics Reviews* (Vol. 54). California. <https://doi.org/10.1115/1.1399414>
- Wampler, C. W., & Sommese, A. J. (2011). Numerical algebraic geometry and algebraic kinematics. *Acta Numerica*, 20, 469–567. <https://doi.org/10.1017/S0962492911000067>