

DISEÑO DE SISTEMA DE ARTICULACIÓN DE RODILLA TIPO POLICÉNTRICO

Dr. Juan Eduardo Velázquez Velázquez¹, Dra. Rosalba Galván Guerra¹, M. En I. Jesús Mares Carreño J¹, Dra. Griselda Stephany Abarca Jiménez^{1,3}, M. En C. César Hernández Calderón²

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Hidalgo –Instituto Politécnico Nacional Ciudad del Conocimiento y la Cultura, Carretera Pachuca-Actopan Km 1+500, San Agustín Tlaxiaca Hidalgo, Mexico

²Centro De Investigación En Computación –Instituto Politécnico Nacional Ciudad De México, México
Av. Luis Enrique Erro S/N, Zacatenco, 07738

³gabarcaj@ipn.mx, correo electrónico de contacto

Resumen

El presente trabajo muestra el desarrollo del diseño de un sistema de articulación de rodilla tipo policéntrico, el cual está compuesto de un mecanismo capaz de realizar movimientos de flexión y extensión, con el fin de emular la función de la rodilla humana. Los movimientos de dicho mecanismo son restringidos por un sistema de amortiguamiento regulable. El mecanismo policéntrico está constituido por una variante del mecanismo de Watt de seis barras, los materiales elegidos para el diseño del mecanismo policéntrico, fueron seleccionados con el fin de hacerlo robusto para soportar las cargas pero ligero para comodidad del usuario. La geometría del mecanismo permite obtener un bloqueo mecánico en la fase de estancia, cuenta además con una terminal piramidal en la parte proximal y un adaptador tubular en su parte distal. El amortiguamiento consta de un actuador que tiene la finalidad de regular la velocidad de retorno del mecanismo.

Palabras clave: Rodilla, mecanismo policéntrico, amortiguamiento.

Introducción.

En las actividades de la vida diaria, las rodillas son las principales articulaciones que cargan peso después de los tobillos (1), y por lo tanto, la lesión o enfermedad de las mismas puede resultar incapacitante.

Algunos datos en México:

- El Instituto Nacional de rehabilitación (INR) menciona que da prótesis a 120 pacientes por año. (2)

- La Academia Nacional de Cirugía reporte amputar 75 personas diarias. (2)
- El Centro de Rehabilitación e Inclusión Infantil Teletón (CRIT) llega a solicitar con proveedores 775 prótesis al año. (2)

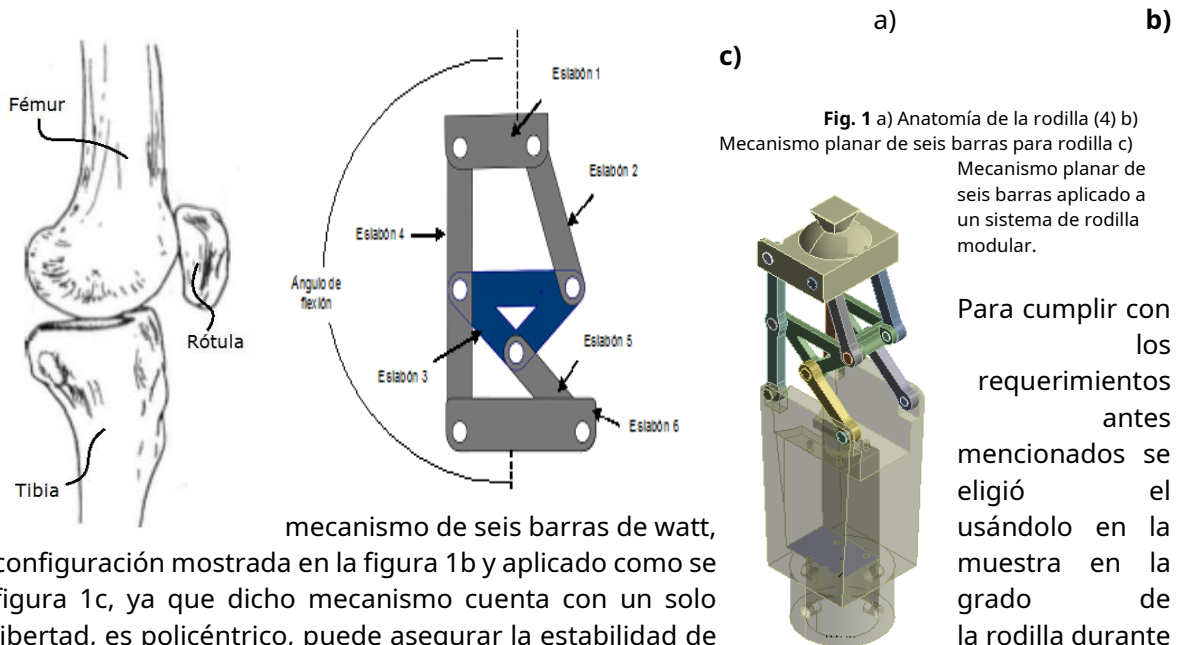
Hoy en día existen en el mercado una gran variedad de prótesis; que van desde un mecanismo de rodilla de eje simple, hasta complejos mecanismos policéntricos con sofisticados controles mediante microcontroladores, contruidos de materiales ligeros como la fibra de carbono y resistentes como el acero inoxidable, siendo las compañías extranjeras las que han hecho mayores aportes a este desarrollo tecnológico, como lo son OTTO BOCK®, OSSÜR® y ENDOLITE®.

Desarrollo.

Elección del mecanismo policéntrico

En anatomía, la rodilla es una articulación sinovial o diartrosis, debido a que conecta el fémur y la tibia en una articulación bicondilea y el fémur y la rótula en una articulación troclear (3) (Fig. 1a). Sin embargo desde el punto de vista fisiológico no existe sino una solo articulación (1), y a pesar de contar con seis grados de libertad (3), solo el movimiento de flexión-extensión es el estrictamente necesario para la marcha, es por esto que para imitar su funcionamiento es posible valerse de un mecanismo con un solo grado de libertad.

Mecánicamente la rodilla alcanza un compromiso entre dos requerimientos mutuamente excluyentes como lo son la estabilidad y la movilidad, además la curvatura que describe en un movimiento de extensión completo es policéntrico y polirradial (3), de ahí la necesidad de que el mecanismo a emplear para su emulación sea de tipo policéntrico y con gran estabilidad.



mecanismo de seis barras de watt, configuración mostrada en la figura 1b y aplicado como se figura 1c, ya que dicho mecanismo cuenta con un solo libertad, es policéntrico, puede asegurar la estabilidad de la fase de apoyo mejor que otros mecanismo gracias a su de uniones inactivas instantáneas, además puede alcanzar los ángulos necesarios para la marcha.

Para cumplir con los requerimientos antes mencionados se eligió el usándolo en la muestra en la grado de la rodilla durante mayor número

Análisis biomecánico

Un análisis estático de mecánica elemental y un esquema de cómo está posicionada la extremidad inferior en el punto crítico para la prótesis (la estancia en un solo pie) permitió conocer los momentos y las reacciones que existen en la rodilla humana en esta posición (Fig.2).

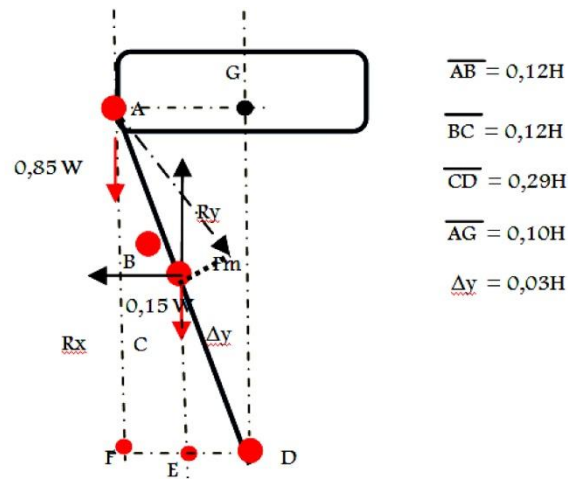


Fig.2 Diagrama de cuerpo libre del cuerpo humano parado sobre un solo pie

Para la realización del cálculo se utilizaron valores antropométricos de medidas y pesos, de las distintas partes del miembro inferior involucradas en el análisis, como lo son la pierna y el muslo. Del cálculo se obtuvieron las reacciones existentes en la rodilla para este caso crítico.

Diseño del mecanismo

El diseño del mecanismo policéntrico fue realizado bajo los siguientes criterios:

- El mecanismo estará siempre sujeto en su parte proximal al miembro residual y en su parte distal al adaptador tubular. Al tratarse de un mecanismo de seis barras y para obtener el movimiento relativo deseado entre el adaptador tubular y el miembro residual, el eslabón uno debe ser siempre la parte distal del mecanismo y el eslabón seis la parte proximal del mismo.
- El mecanismo debe asegurar la estabilidad en fase de apoyo.
- El peso del mecanismo no debe superar 1 kg
- Debido al espacio disponible para la distribución de la prótesis, el mecanismo debe tener una longitud que permita la colocación de los adaptadores pertinentes.
- Por razones de estética el mecanismo debe ser esbelto con el fin de permitir la opción de colocar un recubrimiento.
- El rango de flexión del mecanismo debe abarcar un intervalo de 90° a 174° con el fin de permitirle al paciente sentarse, estar de pie y caminar.

Primeramente, se hizo un análisis estático del mecanismo, considerando el caso crítico de estancia en un solo pie, para este fin se usaron los resultados del análisis biomecánico. Ver figura 3. El análisis estático de elemento finito se realizó con la finalidad de verificar que los espesores de los eslabones soporten las cargas. El análisis se realizó teniendo en cuenta los puntos de contacto existentes por la traba geométrica en el diseño. El material utilizado para la manufactura fue PLD, y el método de manufactura fue impresión 3D.

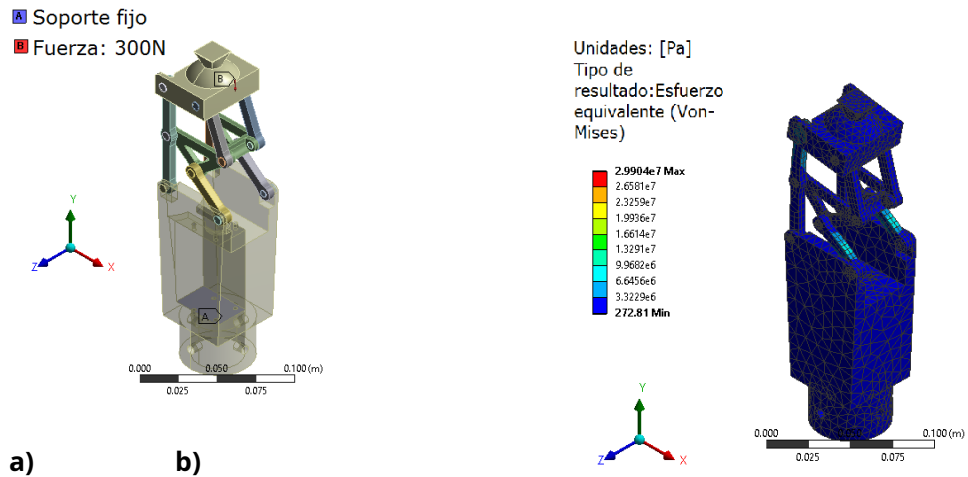


Fig.3 a) Condiciones de carga b) Análisis de esfuerzos en la posición crítica del mecanismo

Diseño del amortiguamiento

Para el amortiguamiento en la prótesis se ha propuesto un sistema con un actuador que tendrá como fin el asistir el retorno del mecanismo, regulando su velocidad.

El diseño del actuador se llevó a cabo bajo los criterios siguientes:

- Las dimensiones del actuador deben ser tales que pueda ser colocado en el espacio disponible en el mecanismo de articulación de rodilla. Considerando limitaciones funcionales y estéticas como el tamaño y el peso.
- El actuador debe tener una fuerza tal que logre asistir el retorno del mecanismo.
- La posición y el diseño geométrico del actuador debe ser tal que no obstaculice el movimiento del mecanismo.

El diseño del dispositivo de amortiguamiento se hizo tomando en cuenta la fuerza que debe regular, la cual según el diseño resulta ser el peso de los adaptadores y el pie protésico, a partir de este dato y las velocidades de marcha y longitudes de zancada se calcularon distintas constantes de amortiguamiento (C) para distintos casos (Fig. 4b).

Resultados.

El sistema es policéntrico y polirradial, además el peso y las dimensiones del mecanismo policéntrico de seis barras cubren con las necesidades de una prótesis al ser pequeño y ligero. De acuerdo al diseño el sistema de amortiguamiento cumple con la función de asistir el retorno del mecanismo en la fase de oscilación o balanceo. El sistema cuenta también con un

adaptador piramidal en su parte proximal y un adaptador tubular en su parte distal, para facilitar su montaje como parte de una prótesis modular.

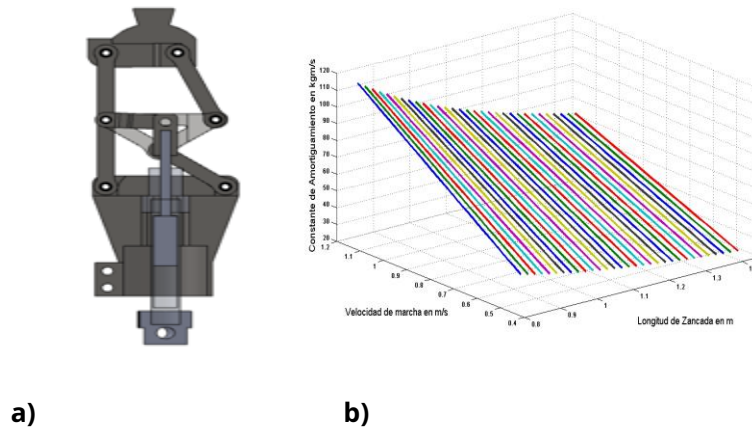


Fig. 5 a) Diseño final del sistema de articulación de rodilla tipo policéntrico b) Gráfica de C

Conclusiones y trabajos futuros.

Se ha elegido un mecanismo de seis barras debido a sus características geométricas y los beneficios que éste presenta al ser aplicado a una prótesis de rodilla, como los son mayor estabilidad durante la fase de apoyo, teóricamente mejora la biomecánica de la marcha del amputado al facilitar el inicio de la fase de balanceo, y al ser combinado con un dispositivo de amortiguamiento se mejora el desempeño del sistema durante la fase de oscilación o balanceo, teniendo así la capacidad de proporcionar al usuario además de comodidad una mejor imagen de marcha.

Actualmente se desarrolla el proceso de manufactura y pruebas del sistema, a futuro se planea el desarrollo de un control electrónico para el dispositivo de amortiguamiento, a fin de hacer más eficiente el sistema.

Referencias.

1. Anthony, C.P. Thiboeau. Anatomía y Fisiología. s.l.: McGraw-Hill Interamericana, 1983.
2. Acta de la sesión del 4 de marzo del 2015, Academia Nacional de Medicina. Vela, Dr. Eduardo Vázquez. México : s.n., 2015.
3. Comín, M. Biomecánica Articular y Sustituciones Protésicas. s.l. : IBV, 1998.
4. Calais-Germain, Blandine. Anatomy of Movement. Francia : Eastland Press, 2007.