



## DISEÑO DE PROTESIS DE RODILLA POLICENTRICA CON INCREMENTO DE ESTABILIDAD EN FASE DE APOYO

**Matías Menghini**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UIDET – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata  
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900.  
correo-e: matias.menghini@ing.unlp.edu.ar

### RESUMEN

La pérdida de miembros es un evento traumático, desde el punto de vista físico como psicológico. Durante la post-operación y rehabilitación, el paciente va recuperando el movimiento articular, para poder hacer uso de una o un sistema de prótesis, las cuales se diseñan para restaurar el movimiento de la manera más natural posible, el requisito principal es que el paciente logre llevar una vida lo más normal posible, proporcionada por un mecanismo que pueda reemplazar la extremidad perdida de la manera más natural posible, tanto en funcionalidad como en eficiencia.

El desarrollo basado en el conocimiento de la anatomía, y de distintos materiales permite diseñar prótesis de rodilla que reemplazan a las mismas de manera más eficiente a las convencionales, permitiendo a los pacientes recuperar en la mayor medida posible, los movimientos reales de la articulación perdida.

En el presente trabajo se realizó el diseño, simulación y construcción de un prototipo de prótesis total de rodilla policéntrica con incremento de estabilidad en fase de apoyo. El diseño se basó en la facilidad de incorporarse a prótesis modulares, partiendo de la filosofía de generar un sistema mecánico de sencilla construcción y bajo costo. A partir de las investigaciones y análisis realizados, haciendo uso de software de diseño y de elementos finitos, se diseñó y simuló lo propuesto, para luego materializarlo en un prototipo.

**Palabras Claves:** *Prótesis, Rodilla, Policentrico*



## 1. INTRODUCCIÓN

El ser humano ha logrado a través de su creatividad y de los avances tecnológicos, cubrir las necesidades que se le presentan. Estas necesidades no sólo involucran las que son externas a él, también se le han presentado necesidades que afectan su propio cuerpo. Una de ellas es la falta de una o varias de sus extremidades.

A pesar de la enorme dificultad que representa la falta de una o varias extremidades, a lo largo del tiempo, se han desarrollado distintos dispositivos que permiten el reemplazo de las mismas. En sus comienzos los dispositivos de reemplazo eran muy deficientes en diseño y tecnología, ya que no permitían a los usuarios recuperar gran parte de su movilidad con naturalidad.

Basados en conocimientos de anatomía y desarrollo de materiales ha permitido diseñar prótesis de rodilla que reemplazan a las mismas de manera eficiente, recuperando así el paciente gran parte de su movilidad.

Las prótesis de miembro inferior, cuanto más modernas, más caras, dependiendo sus características y ventajas de las mismas.

El tipo de rodilla policéntrica es un sistema de cuatro barras, ya que tiene cuatro ejes de rotación conectados por cuatro eslabones rígidos y cuatro centros de rotación. Estas son de diseños complejos, ya que abarcan centros múltiples de rotación. Esencialmente esto consiste en que hay articulaciones anteriores y posteriores, superiores e inferiores ligadas entre sí. La naturaleza de estas tiene dos ventajas dominantes: estabilidad en la fase de postura y naturalidad en el movimiento de flexión, además de tener la capacidad de proporcionar una separación del pie, al caminar y así obtener una flexión óptima, lo que le permite al paciente amputado caminar con menos preocupación durante la fase de oscilación. Mecánicamente la suma de las rotaciones policéntricas potenciales determinará un centro instantáneo de rotación (CIR) que corresponde a una articulación. La estabilidad en los mecanismos policéntricos está determinada por la distancia de sus centros instantáneos de rotación. Cuanto mayor es la distancia, mayor es la estabilidad inherente del dispositivo durante la fase de la postura recta.

El presente trabajo se refiere a un mecanismo policéntrico de articulación de la rodilla para su uso en prótesis, particularmente se propone una mejora de la prótesis de rodilla policéntrica de cuatro barras, a la cual se le incorpora una quinta barra para lograr una optimización de la estabilidad en la fase de apoyo o postura recta, asimismo este nuevo sistema a través de material compuesto permite amortiguar los impactos que se producen durante la marcha.



El desarrollo se basó partiendo de la filosofía de generar un sistema sencillo y de bajo costo. A partir de las investigaciones y análisis realizados, haciendo uso del software de diseño y de elementos finitos, se diseñó y simuló lo propuesto, para luego materializarlo en un prototipo para evaluar la factibilidad de fabricación de las distintas partes y el ensamble del mismo.

## 2. DISEÑO

El mecanismo de tipo policéntrico es complejo y posee muchas partes móviles, actualmente es el más eficiente ya que posee mayor estabilidad en la marcha y no se necesita fuerza muscular para mantener el equilibrio.

La gran ventaja del sistema policéntrico es que permite la estabilidad de la rodilla cuando se hace contacto con el talón y reduce la estabilidad al momento del despegue de la punta del pie, con ello se incrementa la distancia de contacto con el piso y se reduce la posibilidad de tropiezo.

Estos sistemas policéntricos, son sistemas de cuatro barras, poseen cuatro eslabones rígidos y cuatro puntos de pivote. El diseño es más complejo ya que está formado por múltiples centros instantáneos de rotación. Esta complejidad optimiza algunas características de la marcha, incrementando los niveles de estabilidad en la fase de apoyo y brindan mayor naturalidad al movimiento de oscilación. En el diseño, la suma de las rotaciones policéntricas potenciales determina un centro instantáneo de rotación para cada instante del movimiento de la prótesis.

La estabilidad en el mecanismo policéntrico es determinada por la distancia de sus centros instantáneos de rotación, cuanto mayor es la distancia, mayor es la estabilidad inherente del dispositivo durante la fase de la postura recta o de pie, por tal motivo se plantea un sistema policéntrico de 5 barras, a fin de lograr una mayor estabilidad en la fase de apoyo, al incrementar la distancia al centro instantáneo de rotación en postura recta, sin inducir durante la marcha esfuerzos adicionales a la flexión, asimismo durante la marcha amortigua los impactos que se producen durante el apoyo del talón, debido al uso de un sistema elástico en materiales compuestos, sin necesidad adicional de amortiguadores neumáticos o hidráulicos.

A partir de las investigaciones, cálculos y resultados se propuso un diseño mecánico haciendo uso del programa de diseño CATIA, donde se realizaron las simulaciones de movimiento, y se evaluaron las formas y tamaño del dispositivo.



En la Figura 1, se observa la variación del centro instantáneo de rotación (CIR) durante la flexión de la prótesis, durante la marcha, y el corrimiento del (CIR), cuando se produce la flexión de la quinta barra de material compuesto.

A causa de este movimiento el (CIR) se desplaza hacia atrás y arriba, incrementando la estabilidad durante esta fase. En función a la geometría planteada para la obtención de este movimiento, se propuso un diseño mecánico Figura 2.

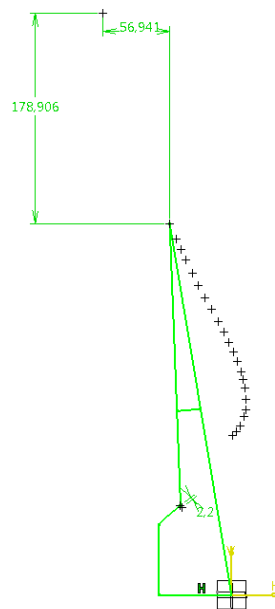


Figura 1: Variación de centro Instantáneo de rotación durante el movimiento, e incremento del mismo al producirse la flexión del material compuesto.

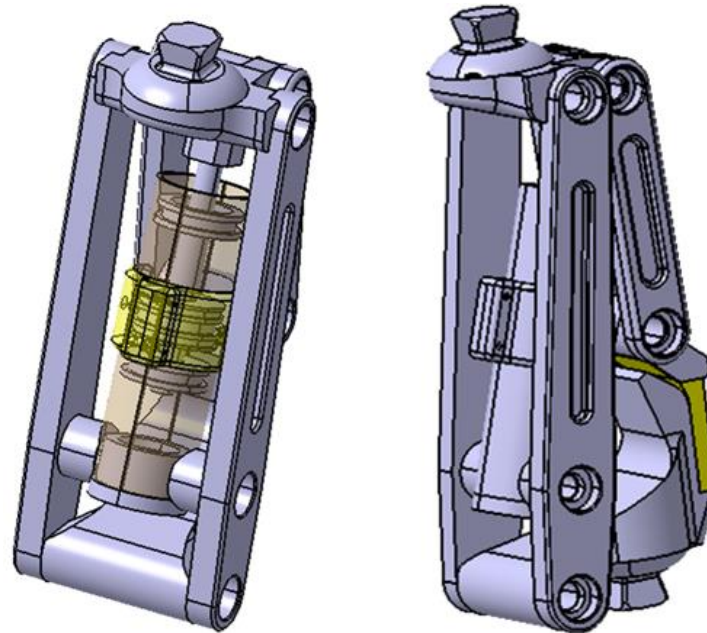


Figura 2: Diseño propuesto de Prótesis de rodilla policéntrica de cinco barras con incremento de estabilidad en fase de apoyo.

### 3. SIMULACIÓN NUMÉRICA

Para la determinación de los esfuerzos sobre el diseño propuesto, se analiza cada componente principal de la prótesis por separado en forma numérica, para verificar el estado tensional, el mismo se realizó mediante la utilización del software CATIA, para los componentes principales Figura 3, 4, 5, 6 y mediante el uso del software ABAQUS, para la parte en material compuesto Figura 7.

Para la realización de las simulaciones de los componentes principales (Bielas), se utilizó los datos del material (PLA) ácido poliláctico, los cuales se obtuvieron de probetas impresas y ensayadas, para la obtención del módulo de elasticidad y tensión máxima una vez depositado el mismo, para las demás partes se utilizó los datos de del material Aluminio, ya que las mismas se realizaron mediante fundición de dicho material.

Para la pieza en material compuesto, se emplearon los datos del material compuesto (fibra de vidrio y resina epoxi) el cual se utilizó para materializar el mismo en la construcción.

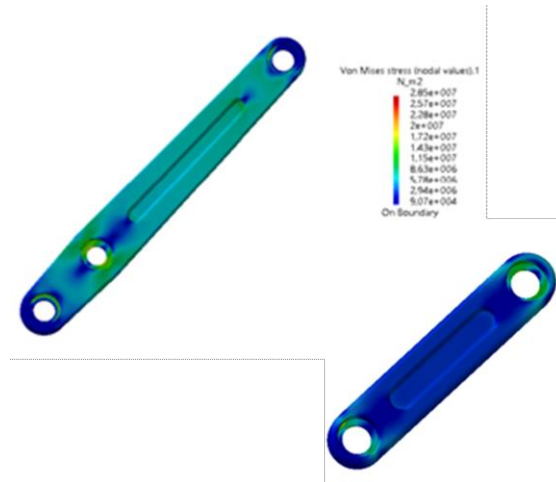


Figura 3: Estado tensional mediante simulación numérica de biela principal y secundaria en material impreso material (PLA) ácido poliláctico

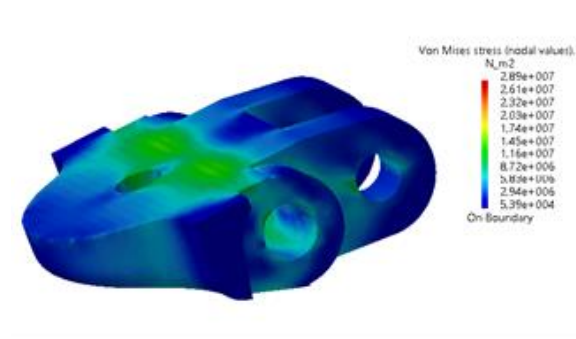


Figura 4: Estado tensional mediante simulación numérica de parte superior

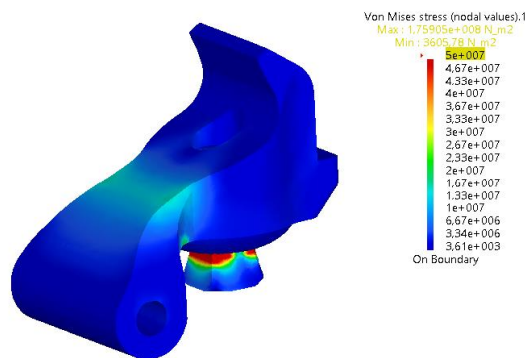


Figura 5: Estado tensional mediante simulación numérica de parte inferior



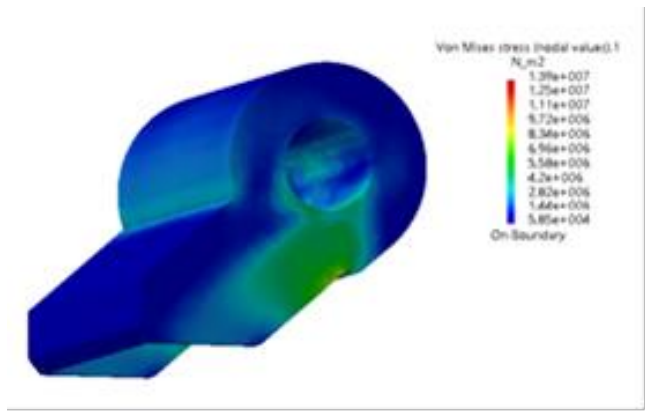


Figura 6: Estado tensional mediante simulación numérica de soporte de biela en material compuesto

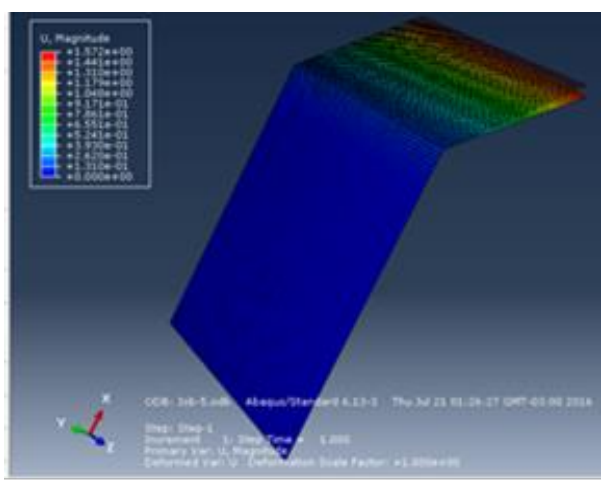


Figura 7: Estado de deformación obtenida mediante simulación numérica de quinta barra en material compuesto, se observa que la deformación es de 1.57mm

**4. MATERIALIZATION DEL PROTOTIPO**

El diseño propuesto se construyó en gran parte, mediante la utilización de una impresora 3D convencional de bajo costo, de tecnología (FDM) Fused Deposition Modeling, el material utilizado fue (PLA) ácido poliláctico para todas las piezas plásticas, a su vez para la parte superior e inferior, así como para el soporte de la biela en material compuesto, se realizaron mediante fundición de aluminio, asimismo para la construcción se utilizaron diversos materiales y elementos,



entre ellos material compuesto (fibra de vidrio y resina epoxi), rodamientos, resorte y tornillería convencional.

En Figura 8. y Figura 9, se presenta una de la partes durante la impresión y el prototipo final terminado, y en la Figura 10. se presenta el prototipo final integrado a un pie en material compuesto.

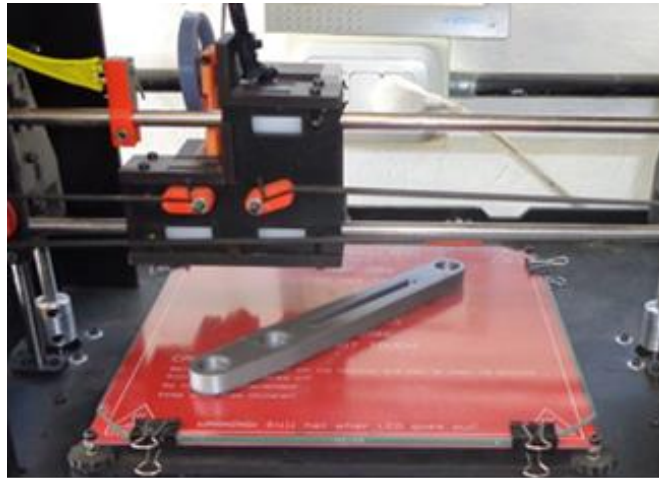


Figura 8: Impresión de biela principal mediante la tecnología (FDM) Fused Deposition Modeling



Figura 9: Prototipo construido de prótesis de rodilla policéntrica de cinco barras con incremento de estabilidad en fase de apoyo.





Figura 10: Prototipo construido de prótesis de rodilla policéntrica de cinco barras con incremento de estabilidad en fase de apoyo, integrado a prótesis de pie en material compuesto

## 5. CONCLUSIONES

Se diseñó una prótesis total de rodilla policéntrica con incremento de estabilidad en la fase de apoyo, mediante el uso de la flexibilidad de materiales compuestos, sin necesidad de agregar sistemas o componentes adicionales. El diseño abarca las consignas propuestas y simplifica notoriamente este tipo de prótesis. Asimismo se realizó la construcción del prototipo mediante impresión aditiva de las partes de menores solicitaciones y de fundición de aluminio las de mayor solicitación.

Avances futuros incluyen pruebas funcionales sobre el prototipo construido para determinar performance del diseño planteado y la realización de los ensayos estructurales, estáticos y dinámicos establecidos en la norma de referencia ISO 10328 (Prosthetics. Structural testing of lower-limb prostheses. Requirements and test methods)



## 6. REFERENCIAS

- [1] Norton, R. Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y maquinarias. McGraw-Hill, 2005.
- [2] MatWeb, «MatWeb Material Property Data,» [En línea]. Available: <http://www.matweb.com>.
- [3] Radcliffe, C. W. Biomechanics of knee stability control with fourbar prosthetic knees. ISPO Australia Annual Meeting, Melbourne, 2003.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Laboratorio U.I.D.E.T G.E.M.A. de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. en el cual se llevó adelante el presente trabajo.