

## PROTESIS DE RODILLA POLICENTRICA IMPRIMIBLE

Menghini, Matías

UIDT – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata  
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: [matias.menghini@ing.unlp.edu.ar](mailto:matias.menghini@ing.unlp.edu.ar)

**Palabras Claves:** Prótesis, Rodilla policéntrica, pie.

### INTRODUCCIÓN

El ser humano ha logrado a través de su creatividad y de los nuevos descubrimientos tecnológicos, cubrir las necesidades que se le presentan, logrando materializar herramientas que le hacen la vida más sencilla. Estas necesidades no sólo involucran las que son externas a él, como el crear distintos dispositivos o herramientas de trabajo, también se le han presentado necesidades que afectan su propio cuerpo. Una de ellas es la falta de una o varias de sus extremidades.

La discapacidad física de miembro inferior afecta a miles de personas, entre las cuales están los amputados transfemorales, quienes no tienen la articulación femoro-tibial móvil y a quienes se les dificulta la movilidad, y en general las actividades cotidianas, debido a la utilización de muletas para moverse.

En Argentina las prótesis que se utilizan de miembro inferior son importadas, dependiendo de las características y ventajas de las mismas, cuanto más modernas, más caras, así como cómoda y funcional.

Cada ser humano que necesite una prótesis, es diferente, con necesidades distintas, por ello el diseño debe ser de gran versatilidad a la hora de adaptarse de manera eficiente a los distintos usuarios.

La necesidad de una prótesis es un problema que ha existido desde mucho tiempo atrás, el cual a través de los años ha tenido la responsabilidad de proponer una solución que permita al paciente reincorporarse a sus actividades cotidianas lo más rápido posible, sin tiempo de espera, desde que el mismo está apto para poder comenzar a usar una prótesis. Para personas de bajos recursos sin cobertura médica la espera es de 12 a 18 meses aproximadamente para obtener una prótesis, periodo en el cual, dependiendo de la edad y actividad que realiza, comienza a perder el interés y se le dificulta el aprendizaje para la correcta utilización de la prótesis, lo que conlleva al mal o escaso uso una vez entregada la misma.

La respuesta a dicha problemática que representa una amputación del miembro inferior que contemple la solución más confiable, es una prótesis de rodilla, con un mecanismo policéntrico de cuatro barras imprimible mediante una impresora 3D convencional de bajo costo, bajo la tecnología (FDM) Fused Deposition Modeling. El desarrollo, consistió en el diseño y construcción y prueba de una prótesis total de rodilla policéntrica imprimible de bajo costo Fig. 1.

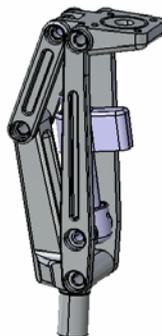


Figura 1: Prótesis de rodilla policéntrica imprimible de bajo costo.

## DISEÑO

En la actualidad existen diversos tipos de prótesis de articulación de rodilla, que se basan en dos mecanismos, el de tipo bisagra o de eje simple y el policéntrico; el de tipo bisagra, es más sencillo, tiene limitaciones, ya que en virtud de su simpleza, no tienen control de postura y los pacientes deben de hacer uso de su fuerza muscular para mantenerse estables cuando se encuentran de pie; por otra parte, el mecanismo de tipo policéntrico es más complejo. Actualmente es el más eficiente porque tiene mayor estabilidad en la marcha que el de tipo bisagra y no se necesita fuerza muscular para mantener el equilibrio.

La gran ventaja del arreglo 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.

Las prótesis de rodillas policéntricas, son sistemas de cuatro barras, porque tienen cuatro eslabones rígidos y cuatro puntos de pivote. El diseño es más complejo ya que está formado por centros múltiples instantáneos de rotación; esencialmente consta de articulaciones anteriores y posteriores. Esta complejidad optimiza algunas características de la marcha, incrementando los niveles de estabilidad en la fase de apoyo y brindando mayor naturalidad al movimiento de oscilación. En este 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 los mecanismos policéntricos 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.

A partir de las investigaciones, cálculos y resultados realizados se propuso un diseño mecánico haciendo uso del programa de diseño CATIA, donde se evaluaron las formas, el tamaño y simulaciones del movimiento (Figuras. 2, 3, 4), para luego realizar la verificación de esfuerzos, mediante simulación numérica.

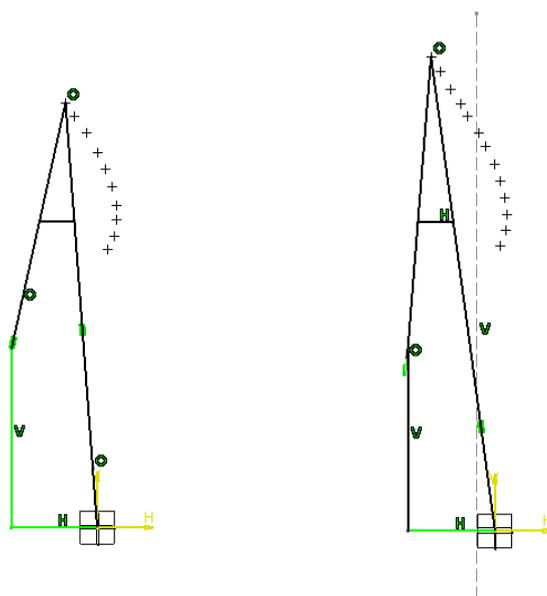


Figura 2: Variación de centro Instantáneo de rotación durante el movimiento para distintos diseños.

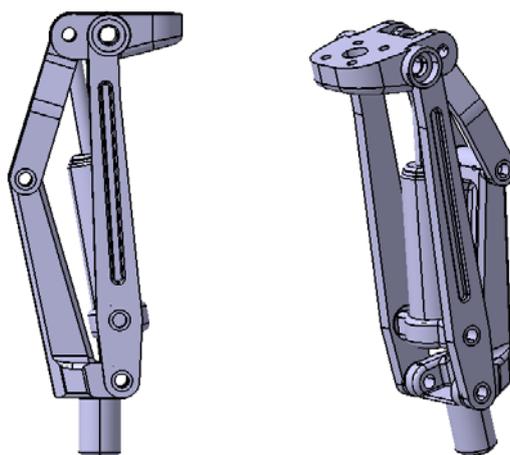


Figura 3: Diseño original propuesto de Prótesis de rodilla policéntrica

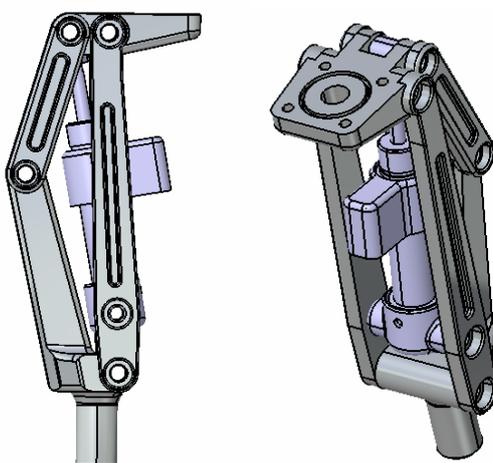


Figura 4: Diseño final construido de Prótesis de rodilla policéntrica

### SELECCIÓN DEL MATERIAL A UTILIZAR EN LA FABRICACION

La selección del material empleado fue considerada a partir de las propiedades físicas y mecánicas, disponibilidad y costo, de este análisis se desprende la utilización de (PLA) ácido poliláctico para la fabricación de las partes, en la en la Tabla 1 se detallan las propiedades del material antes del depositado y en la Tabla 2 se detallan las propiedades obtenidas mediante ensayos de tracción de probetas impresas Fig. 5, bajo las mismas condiciones como se construirían las partes de la prótesis.

Tabla 1: Propiedades del PLA

Propiedades	PLA	
	Valor	Valor medio
Tensión a la tracción última	16.0 - 114 MPa	50.1 MPa
Tensión a la tracción límite	16.0 - 103 MPa	44.7 Mpa
Modulo elasticidad	2.5- 3.5 GPa	3 GPa

Tabla 2: Propiedades obtenidas mediante ensayo de tracción de probetas impresas de PLA

Propiedades	PLA
	Valor ensayo
Tensión a la tracción última	39.7 MPa
Tensión a la tracción límite	30 MPa
Modulo elasticidad	2.73 GPa



Figura 5: Probetas de material en máquina de ensayos INSTRON

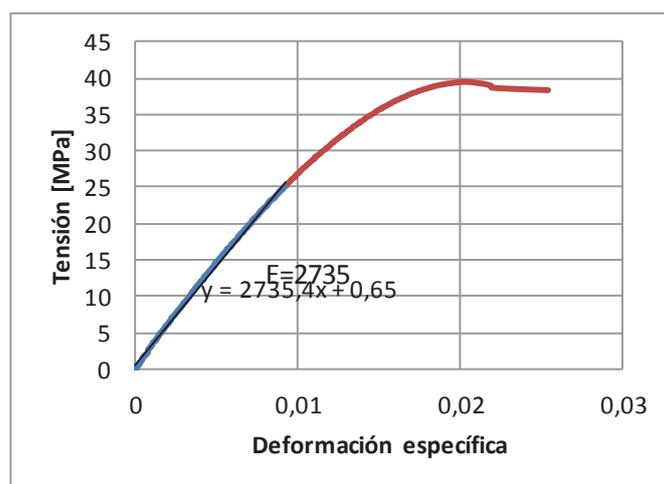


Figura 6: Curva obtenida de ensayo de probeta impresa de (PLA) ácido poliláctico

## DETERMINACION DE ESFUZOS MEDIANTE SIMULACION NUMERICA

La determinación de los esfuerzos sobre el diseño planteado, se realizó mediante la utilización del software CATIA, para ello se modelo cada componente principal de la prótesis por separado en forma numérica, para verificar el estado de tensiones y deformaciones Figura 7.

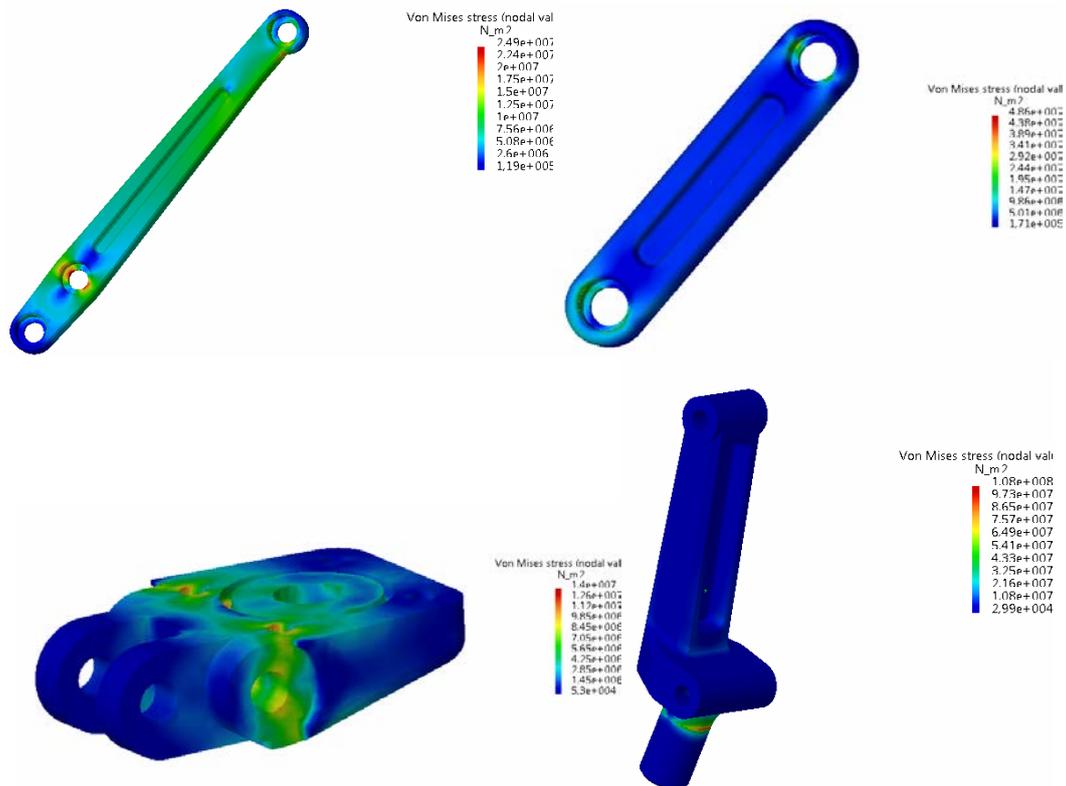


Figura 7: Simulación numérica de partes principales del diseño propuesto.

## CONSTRUCCION DE PROTOTIPO

El diseño propuesto se construyó 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 construcción se utilizaron diversos materiales y elementos, entre ellos aluminio, cilindro neumático, rodamientos, resorte y tornillería convencional. En las Figuras 8 y 9, se presentan una de las partes durante la impresión y el primer y segundo prototipo final terminado.

Para la realización de las pruebas funcionales, se ensambló la prótesis construida a un cono de enchufe y un pie en materiales compuestos (Figura 10).



Figura 8: Impresión de parte inferior de prótesis de rodilla



Figura 9: Primer y segundo prototipo de rodilla construido



Figura 10: Prótesis de rodilla policéntrica imprimible de bajo costo, integrada a prótesis de pie y cono de enchufe.

## CONCLUSIONES

Se pudo diseñar y construir una prótesis total de rodilla policéntrica, mediante una impresora 3D convencional de bajo costo, la misma se fabricó con solo el 6% del costo actual en el mercado de prótesis con características similares, en cuanto a las prestaciones y performance.

Las primeras pruebas realizadas en pacientes fueron satisfactorias, ya que el prototipo respondió según lo esperado, tanto en paciente que nunca había utilizado prótesis alguna desde su amputación, como así también en paciente con amplia experiencia en uso de prótesis de rodilla, tanto de eje fijo como policéntricas.

En la Figura 11, se muestra una secuencia de imágenes de dos de las pruebas realizadas en pacientes.

Actualmente se están realizando pruebas funcionales en paciente, de las cuales se desprende el correcto funcionamiento del prototipo planteado.



Figura 11: Prueba de prótesis en paciente

Trabajo presentado en el III CONGRESO INTERNACIONAL DE BIOINGENIERÍA, celebrado en el marco de la 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura (XVIII CCIA 2016) La Habana, Cuba.

## REFERENCIAS

- [1]Otto Bock Health Care, “Prótesis de rodilla”.  
[http://www.ottobock.com/cps/rde/xchg/ob\\_com\\_en/hs.xsl/611.html](http://www.ottobock.com/cps/rde/xchg/ob_com_en/hs.xsl/611.html)
- [2]C.W. Radcliffe, “Four-bar linkage prosthetic knee mechanisms: kinematics, alignment and prescription criteria”, Mechanical Engineering, University of California Berkeley, ISPO, Prosthetic and Orthotics International, Vol. 18, 159-173, 1994.
- [3]MatWeb, «MatWeb Material Property Data» [En línea]. Available: <http://www.matweb.com/index.aspx>.
- [4]A. Gebhardt, «Understanding Additive MAnufacturing: Rapid Prototyping, Rapid tooling, Rapid Manufacturing» Hanser Gardner Pubs. 978-1-56990-507-4.