

Tarea 2

Brayan Uriel Grimaldo Salazar
Jesús Mario Duarte Salinas
Irving Raúl Garza Escobar
Osiris Acosta Cisneros
Hernán Abif Castillo Mota

30 de agosto de 2022

Resumen

En esta presente actividad se hace la investigación enfocada en las prótesis, en específico en las prótesis de mano, con el objetivo de tener una mejor visión en el campo de dicho tema. Comenzamos describiendo los tipos de prótesis y los mecanismos que estos pueden tener. A continuación, se muestra los modelos matemáticos aplicados en el diseño de la prótesis de mano. Y por último, se habla de los métodos utilizados para la manufactura de este tipo de prótesis, así como también se mencionan algunas prótesis que se encuentran en el mercado actual.

1. Introducción

Una prótesis de mano se trata de un dispositivo mecánico y estético diseñado para sustituir de manera artificial este miembro del cuerpo humano que ha sido amputado de forma total o parcial por un accidente o enfermedad. Este aparato se diseña simulando la apariencia y las funciones de las manos del cuerpo humano, las cuales son las principales herramientas de las cuales disponen las personas para interactuar con su entorno y poder manipular todo tipo de objetos, herramientas y dispositivos.

Es por ello que el sustituir una o ambas manos es imprescindible para todos los pacientes que han sufrido la pérdida de ellas, pues el no contar con esta extremidad puede representar muchos problemas para poder llevar una vida normal o para desempeñar cualquier tipo de tarea, por más sencilla que sea, como sujetar objetos, escribir, manipular dispositivos tecnológicos o más. Actualmente con el avance de la tecnología existen diversos tipos de prótesis de mano, las cuales van desde las prótesis estéticas que únicamente simulan la presencia de una mano, hasta las prótesis robóticas o biónicas de mano, las cuales pueden realizar todo tipo de movimientos automatizados controlados por la persona para realizar cualquier tipo de tarea.

De este modo, en el presente trabajo hacemos un enfoque relacionado a las prótesis de mano, sin dejar a un lado otros tipos de prótesis que se consideran de igual importancia. Podemos observar cómo son algunos de los mecanismos que se pueden encontrar en este tipo de prótesis, así como su forma de elaboración. Y de igual manera, nos parece importante conocer como se lleva a cabo el diseño de una prótesis de mano por lo que mencionar los modelos matemáticos aplicados para esto nos sirve como una buena base.

2. Desarrollo

En esta sección se conocen sobre Tipos de prótesis biomecánicas, Métodos para la manufacturación de prótesis, Ejemplos de mecanismos que emplean las prótesis, así como sus mecanismos eléctricos, mecánicos, prótesis comer-

ciales y materiales mas comerciales utilizados.

2.1. Tipos de protesis

La fabricación de prótesis se ha convertido en una ciencia en los últimos años como resultado del enorme número de amputaciones producidas, en un inicio por las guerras y actualmente por accidentes automovilísticos y enfermedades crónicas degenerativas, como la diabetes y el cáncer. Otra de las necesidades importantes es el diseño y construcción de prótesis para amputados a nivel femoral supracondílea, debido a que es la amputación más frecuente en nuestro país.

El avance en el diseño y fabricación de prótesis ha estado ligado directamente con el avance en el manejo de los materiales empleados por el hombre, así como el desarrollo tecnológico y el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano.[10]

2.1.1. Protesis de mano

La mano humana realiza principalmente dos funciones: la presión y el tacto, las cuales permiten al hombre convertir sus ideas en formas (movimientos, manipulación, etc.).

El sentido del tacto desarrolla totalmente las capacidades de la mano, sin este sería imposible medir la fuerza prensora. Es importante mencionar que el dedo pulgar representa el miembro más importante de la mano, sin este la capacidad funcional de la mano se reduce en cerca de un 40 %.

En el siglo XX se ha venido trabajando en el estudio del comportamiento de la mano y sus diferentes tipos de mecanismos y agarres. Muchos investigadores han generado amplios estudios y métodos para evaluar las características cinemáticas que tiene la mano humana para los diferentes agarres que realiza. [3]

De esta manera la mano es un elemento muy importante del cuerpo humano, ya que con esta se realiza una inmensa cantidad de actividades, por lo que una prótesis de esta extremidad ha sido muy innovador en las últimas décadas, con el fin de asemejar el comportamiento como si fuera real, aunque todavía hay mucho campo para la mejora de esta misma.



Figura 1: Prótesis desarrollada en la Universidad Politécnica Salesiana primera parte

2.1.2. Protesis de rodilla

Las prótesis totales de rodilla constituyen uno de los implantes más colocados en el ámbito de la ortopedia. El número de modelos existentes en el mercado es muy elevado y todos tienen sus características. A pesar de ello podemos agrupar las artroplastias de rodilla por estas características, siendo las prótesis de platillo móvil el grupo más novedoso. La biomecánica de las prótesis totales de rodilla, engloba aspectos como los materiales, el polietileno, la fijación, la geometría o la presencia del ligamento cruzado posterior.[1] En las prótesis de pierna existen aún algunos problemas, por ejemplo, los amputados que utilizan prótesis mecánicas requieren entre 10-60% más energía metabólica que las personas con sus extremidades inferiores completas, dependiendo de la velocidad de caminado, el estado físico de la persona, la causa de la amputación.

La Construcción de un mecanismo de articulación de rodilla para prototipo de prótesis externa mecatrónica contribuye en el desarrollo de una prótesis inteligente capaz de ser controlada por señales biológicas, proporcionando un mejor control de la prótesis durante las diversas fases de la marcha.[13] Se desarrollo un prototipo, en el cual su principal función es la de restablecer la capacidad de comenzar a usar una prótesis definitiva esto implica realizar la marcha a una velocidad baja en superficies planas sin obstáculos como bordillos o escaleras.



Figura 2: Prótesis de rodilla

2.1.3. Prótesis de cadera

Las lesiones de cadera son un padecimiento muy recurrente, y, en segundo lugar, debido a que estas cirugías son las que han tenido mayor éxito en el reemplazo total o parcial. Además, la creciente población de adultos mayores, las inherentes fracturas asociadas a la edad y la osteoporosis.

Las prótesis de cadera han ido evolucionando a través del tiempo, desde la primera implementación de las prótesis de cadera en el año de 1960, han variado en las formas y en los materiales, desde aceros de grado quirúrgico hasta aleaciones de cromo, cobalto, níquel y titanio, entre otros; todas con la intención de proponer un modelo eficaz para la aceptación completa del cuerpo humano de un miembro no perteneciente a él.

las prótesis de cadera deben soportar los esfuerzos en actividades normales, caminar o subir escaleras, las cuales pueden superar cuatro veces el peso corporal del individuo implantado y en algunos casos 10 veces, por ejemplo, ante un tropezón. Todo supone un compromiso entre ligereza, diseño y las propiedades mecánicas de los materiales con que se fabrican las prótesis.[5]

Las prótesis actuales, presentan un tratamiento superficial, el cual da un aspecto rugoso, en una pequeña sección el vástago y en el componente acetabular, cubierto con hidroxiapatita. [5]

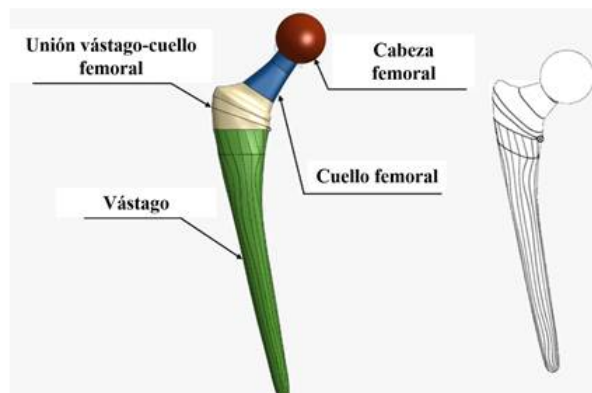


Figura 3: Prótesis de cadera[5]

2.2. Mecanismos

Para la transmisión de movimientos en las articulaciones de manos robóticas y prótesis de mano normalmente se utilizan mecanismos que permitan flexionar o tensionar las falanges en los dedos [9]. Considerando que un mecanismo es un dispositivo que transforma un movimiento y una fuerza de entrada en otra de salida. Entre estos mecanismos están la transmisión por barras, motores instalados en cada articulación y transmisión por poleas

2.2.1. Mecanismo de barras

Este tipo de mecanismo es muy utilizado para construir prótesis robóticas, consiste en la transmisión de movimientos a las falanges instalando barras conectadas a los mismos en una configuración adecuada, con este mecanismo se elimina el empleo de motores para dar movimiento a las articulaciones y es fácil de manufacturar.

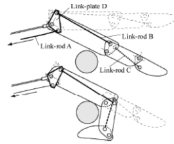


Figura 4: Mecanismo de barras rígidas

En la figura se muestra un mecanismo de barras sencillo de implementar pero que limita los movimientos, ya que la flexión se produce al tiempo en las 3 articulaciones.

2.2.2. Mecanismo con motor en cada junta

Es muy utilizado en manos robots. Consiste en ubicar motores pequeños o micromotores en cada una de las articulaciones rotacionales de una cadena cinemática, pero que conlleva a aumentar costos por el número de motores que se debe utilizar y además de incrementar el peso del mecanismo. En la figura se muestra el dedo de la mano DLR y el dedo de la mano I-LIMB

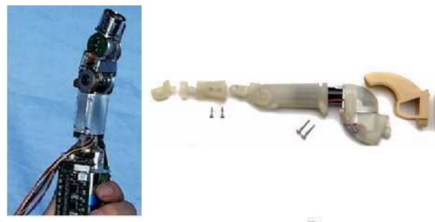


Figura 5: Dedo de la mano HIT/DLR Dexterous, dedo mano I-LIMB.

2.2.3. Transmisión por poleas

Para la transmisión por poleas las cuerdas de transmisión de todas las poleas deben ir unidas en un punto fijo a las respectivas poleas para así evitar deslizamientos y lograr que el movimiento se transmita, este tipo de transmisión aplicado a un dedo mecánico se muestra en la Figura 3. Se observa un esquema que permite observar el funcionamiento de este mecanismo.

La ventaja de este sistema de transmisión radica en la reducción de peso de la mano, además de que es fácil de implementar. La transmisión mediante poleas pueden transmitir, por fricción o a través de una correa o cuerda, su movimiento a otra polea que este montada en otro mecanismo receptor del movimiento.

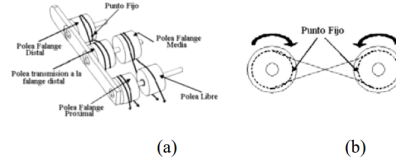


Figura 6: Descripción del sistema de poleas para la generación de movimientos en los mecanismos de los dedos. (a) Mecanismo de transmisión de poleas. (b) Funcionamiento de las poleas

2.2.4. Control Mioeléctrico

El sistema microelectrónico ha sido el que brinda el mayor grado de rehabilitación, ya que cuenta con una combinación de diseño estético, fuerza, libertad de movimiento, precisión, y una gama de combinaciones, gracias a su funcionamiento basado en la captura de los pulsos eléctricos generados en el momento de contracción de un músculo, logrando hacer uso de las señales mioeléctricas (EMG), que serán convertidas finalmente en los movimientos de la mano.

El control mioeléctrico es considerablemente el esquema de control más popular. Se desarrolla en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica (EMG) que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es demasiado pequeña (5 a 20 μV) Un micro-voltio es una millonésima parte de un voltio.

El uso de sensores llamados electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel permite registrar la señal EMG. Una vez registrada, esta señal se amplifica y es procesada después por un controlador que conmuta los motores encendiéndolos y apagándolos en la mano, la muñeca o el codo para producir movimiento y funcionalidad. [8]

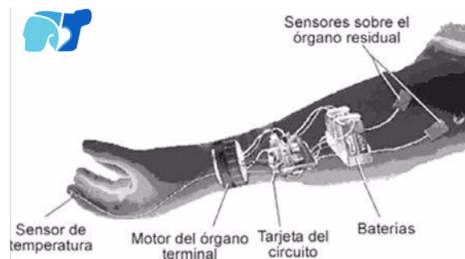


Figura 7: Prótesis mioeléctrica accionada por servomotor

2.3. Modelos matemáticos aplicados al diseño de prótesis de mano.

Los progresos recientes en el desarrollo de modelos de prótesis automáticas se deben principalmente a la incorporación de la física y la matemática tanto a nivel de la descripción del movimiento de la mano como en el análisis de las señales mioeléctricas. La cinemática y la cinética permiten, por medio de la teoría Newtoniana, encontrar una descripción aproximada del comportamiento de la mano humana tanto desde el punto de vista de la geometría del movimiento como de la generación y aplicación de la fuerza a través de los músculos tendones y estructura ósea que conforma la mano[4].

Existen algunos modelos derivados de la teoría visco-elástica que permiten describir el comportamiento de los músculos de la mano en las acciones de contracción y relajamiento, estos modelos corresponden a emulaciones con sistemas masa-resorte – amortiguador, y los mismos, representan el comportamiento ya mencionado comparándolo con el comportamiento de un sólido o de un fluido sometido a carga. La descripción utilizada que aproxima el funcionamiento del músculo al de un fluido se denomina “Modelo viscoelástico de fluido de Maxwell” ya que fue precisamente James Clerk Maxwell quien lo propuso, mientras el que aproxima el mismo comportamiento al de un

sólido sometido a la acción de una carga se denomina “Modelo viscoelástico de solido de Voigt”, propuesto por el físico alemán Woldemar Voigt[6]

El modelo viscoelástico fue inicialmente introducido por Flügge en 1975 y detallado por, entre otros, el Ing. Cristensen en 1981[11]. Esta teoría parte de la aplicación de la ley de Hooke estudiada en la mecánica de sólidos. (Ecuación 1).

$$\sigma = \mu * \epsilon \quad (1)$$

Donde:

$\sigma = E s f u e r z o$

$\epsilon = T e n s i ó n$

$\mu =$ Constante De Elasticidad.

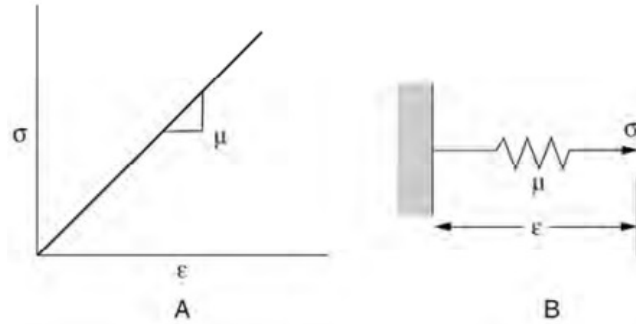


Figura 8: (A) Esfuerzo-tensión característica de un resorte, (B) Modelo viscoelástico de un resorte[4].

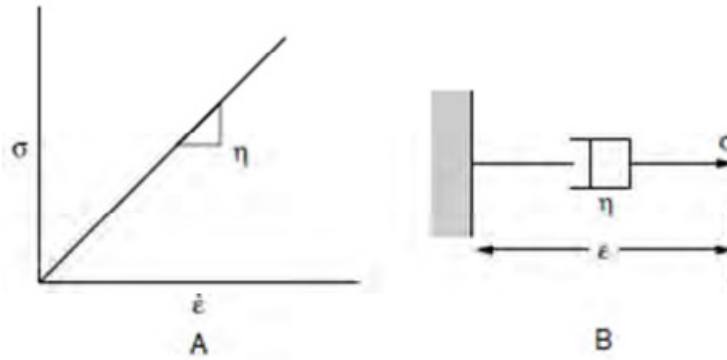


Figura 9: (A) Relación Esfuerzo-tensión característica de un Amortiguador. (B) Modelo viscoelástico de un amortiguador[4].

La viscosidad se define como la capacidad que posee un material de resistirse a las fuerzas que tienden a hacerlo fluir. En un fluido perfecto este esfuerzo es proporcional al cambio en la velocidad de flujo y puede ser representado como un amortiguador cuya ecuación característica es (Ecuación 2):

$$\sigma = \frac{\eta d\epsilon}{dt} \quad (2)$$

En la Figura 6 y la Figura 7 se observan las gráficas del comportamiento de un resorte y un amortiguador aplicados en la teoría viscoelástica, sin embargo, los modelos del fluido de Maxwell y del solido de Voigt son combinaciones de resorte-amortiguador en serie, como es el caso de primero, y en paralelo, como es visto en el segundo (Figura 8)[4]. Esta combinación es posible al aplicar el modelo de cuerpo de Kelvin y el modelo matemático que representa este modelo es el siguiente:

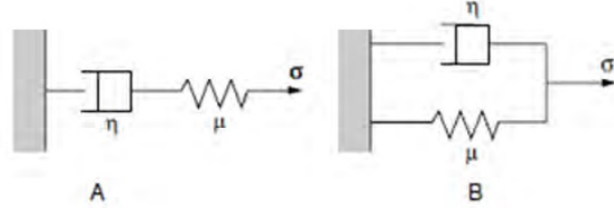


Figura 10: (A) Modelo viscoelástico del fluido de Maxwell. (B) Modelo viscoelástico del solido de Voigt.[4]

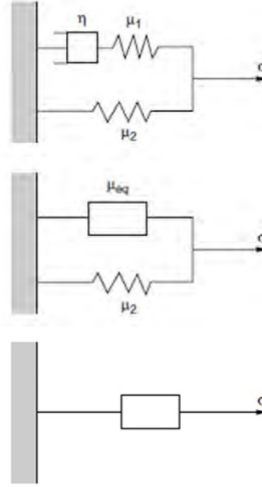


Figura 11: Obtención de la función de transferencia para el modelo de Kelvin.

$$\mu_{eq} = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \quad (3)$$

Donde μ_{eq} es la constante equivalente para un sistema de resortes en serie μ_1 y μ_2 y para un sistema de amortiguadores se tiene:

$$\sigma = \eta s \epsilon + \mu \epsilon = (\eta s + \mu) \epsilon \quad (4)$$

Se tiene que la función de transferencia para el modelo es:

$$H(S) = \frac{(\mu_1 + \mu_2) \eta s + \mu_1 \mu_2}{\eta s + \mu_1} \quad (5)$$

Por medio de esta última expresión y aplicándola a los resultados obtenidos por Fenn y Marsh en 1935, Hill definió un modelo de músculo para tres condiciones dadas [2] [12]:

- (a) Respuesta activa del musculo
- (b) Acumulación de tensión
- (c) Creep (Esfuerzo retardante).

2.4. Métodos de manufactura

Un posible método para producir las prótesis de mano es el uso de la fabricación aditiva, comúnmente conocida como impresión 3D. La impresión 3D se puede utilizar para construir casi cualquier modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) utilizando termoplásticos como ABS, PLA y PET. Las ventajas de la impresión 3D son la personalización, la simplicidad y el bajo costo. Los filamentos de plástico utilizados en las impresoras 3D deben importarse si los materiales no están disponibles localmente. Sin embargo, puede ser posible reciclar plásticos para producir localmente los filamentos requeridos, reduciendo así los costos de insumos. Los archivos CAD se pueden modificar y escalar fácilmente, lo que es particularmente útil para colocar una prótesis. El ajuste y la comodidad de la prótesis son fundamentales para la aceptación resultante por parte del usuario y la función del dispositivo. El método de impresión 3D es simple: la impresora requiere que el usuario solo ingrese el filamento termoplástico y el archivo que se imprimirá. Mientras haya suficiente filamento para la impresión, la impresora funcionará por sí sola durante la duración de la impresión. La mayor preocupación para la impresión 3D como un método de fabricación viable es la cantidad de tiempo requerido para una impresión. La realización de una sola mano, por ejemplo, requiere entre 32 y 54 horas.

Un método alternativo que se puede utilizar para la producción de este tipo de prótesis es el moldeo por inyección. Las ventajas del moldeo por inyección incluyen los cortos tiempos de producción y la repetibilidad constante. Para crear una pieza utilizando moldeo por inyección, el filamento calentado se inyecta en un molde de metal. Las piezas rara vez tardan más de 30 segundos en enfriarse, y el tiempo de todo el proceso es órdenes de magnitud más corto que el de la impresión 3D. Mientras que la impresión 3D es limitada en términos del tipo de materiales compatibles con la impresora, el moldeo por inyección ofrece muchas más opciones para los plásticos. Algunas desventajas del moldeo por inyección incluyen un alto costo y complejidad [7].

2.5. Prótesis comerciales

En la actualidad existe una gran variedad de prótesis mecánicas de mano para casos de amputación a nivel de desarticulación de muñeca. El desarrollo en los últimos veinte años se ha traducido en dispositivos manuales más hábiles; pese a ello, los productos generados carecen de un equilibrio entre funcionalidad, durabilidad, apariencia estética y accesibilidad (precio) [1]. Algunos ejemplos de los prototipos actuales son la SensorHand y la Michelangelo de Otto Bock; las iLimb en varias versiones, producidas por Touch Bionics y las Bebionic, desarrolladas por RSL Steeper, entre otras. En general, estos prototipos presentados tienen once articulaciones y seis grados de libertad; sólo las prótesis de Michelangelo tienen seis articulaciones y, por ende, menos grados de libertad, que se limitan únicamente a dos. Esto último impacta directamente en la funcionalidad de los ejemplares: las manos que presentan seis grados de libertad contienen agarres adaptativos.

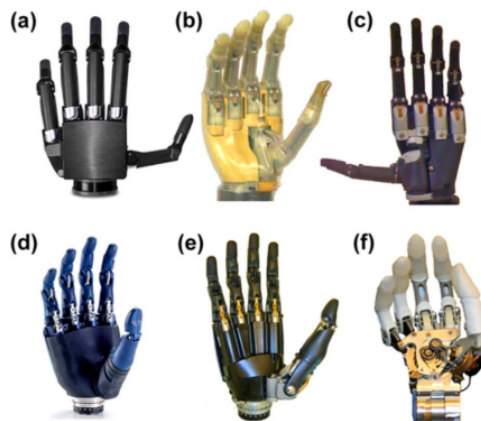


Figura 12: Prótesis de manos comerciales. a) Mano Vicent de Vincent Systems, b) Mano iLimb de Touch Bionics, c) iLimb Pulse de Touch Bionics, d) Mano Bebionic de RSL Steeper, e) Mano Bebionic v2 de RSL Steeper, y f) Mano Michelangelo de Otto Bock

2.5.1. Materiales de prótesis comerciales

Los materiales que constituyen la prótesis son elegidos de acuerdo a las cargas que soporta la prótesis y es a la vez dependiente del nivel de actividad del paciente. No existe un material adecuado para todos los pacientes protetizados, sino más bien se debe tomar en consideración las aspiraciones que tiene el paciente respecto a la prótesis y su estilo de vida. Es necesario que el prototipo soporte el peso del cuerpo humano, además de ser lo más livia no posible. Por tal motivo se usa generalmente en prótesis comerciales los siguientes materiales: aleaciones de aluminio, titanio, fibra de carbono, acero y polímeros.

3. Conclusiones

Las prótesis cumplen con la importante función de cubrir o sustituir alguna parte del cuerpo, con la finalidad de lograr un equilibrio estético. Esto es benéfico para estos tipos de paciente, ya que facilita la reintegración a su entorno social, familiar y laboral, dicho de otra forma, permite al individuo a la recuperación de su confianza. Esta investigación muestra todo lo que conlleva realizar una prótesis, más específicamente una prótesis de mano. Realmente es muy interesante y complejo todo el proceso y materiales que involucra la creación de un solo dedo, pero de igual forma da un panorama totalmente nuevo con respecto al área de diseño, ya que permite la integración de distintas disciplinas y ramas relacionadas a la ingeniería.

Un punto importante de todo esto, es que no importa que tan complejo y avanzada sea una prótesis, nunca será mejor que la ingeniería biológica de nuestro cuerpo. Es normal suponer que no es posible superar el diseño de una extremidad que tuvo todo un proceso de millones de años en elaborarse, por lo que con nuestra tecnología actual solo podemos llegar a simular una pequeña parte de todos los procesos del miembro original.

Esta investigación cumple con la función de hablarnos de una manera muy general acerca de la fabricación de prótesis de manos, al igual que referenciar distintos tipos de prótesis comerciales, todo con el fin de darnos una idea más exacta de lo que implica la disciplina de la Biomecánica.

Referencias

- [1] Álvaro Basoalto. Desarrollo de prótesis de mano con sistema de agarre adaptativo para uso general en amputaciones a nivel de desarticulación de muñeca. B.S. thesis, 2018.
- [2] D. F. B. A. F. J. CANTO. Estimativa da força muscular resultante dos flexores. pages 65–71. Biomechanica, 2007.
- [3] Gabriel Angel Encalada Seminario. Análisis cinemático y cinético de los mecanismos para una prótesis biomecánica de mano y construcción de un prototipo utilizando el proceso de estereolitografía. B.S. thesis, 2018.
- [4] A. FREIVALDS. Biomechanics of the upper limbs. pages 101–187. CRC press, December 2004.
- [5] K Hernández-Romero, AB Martínez-Valencia, L Béjar-Gómez, and Miguel Villagómez-Galindo. Análisis biomecánico de una prótesis de cadera mediante elementos finitos. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 41(2):53–65, 2020.
- [6] J. C. U. L. D. C. JAUREGUI. Modelado multidimensional de sistemas viscoelásticos. pages 6–12. Ingeniería Mecánica; Tecnología y Desarrollo, 2005.
- [7] Michael King, Brienna Phillips, Marc Shively, Venkatesh Raman, Aaron Fleishman, Sarah Ritter, and Khanjan Mehta. Optimization of prosthetic hand manufacturing. In *2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pages 59–65. IEEE, 2015.
- [8] Leidy Catherine Díaz Montealegre. Prótesis electrónicas: Una nueva esperanza para mejorar la calidad de vida de las personas. *Biomecánica*, 1(1), 2015.

- [9] JC Díaz Montes and J Dorador González. Mecanismos de transmisión y actuadores utilizados en prótesis de mano. *Memorias del XV Congr. Int. Anu. la SOMIM*, pages 335–345, 2009.
- [10] Gerardo Alejandro Valentino Orozco, Leobardo Guerrero Beltrán, Dinora Obregón Velasco, and Oscar Ávalos Fernández. Desarrollo de prótesis externa de rodilla con mecanismo policéntrico. *Acta Ortopédica Mexicana*, 22(4):247–253, 2008.
- [11] J. C. R. DEL RIO. Modelo simple para la permeabilidad de un fluido viscoelástico. *Revista Mexicana de Física*, 2003.
- [12] J. M. F. M. A. ROSEN. Performances of hill-type and neural network muscle models— toward a myosignal-based exoskeleton. pages 415–439. *Computers and Biomedical Research*, 2002.
- [13] F Valencia, X Lima, D Ojeda, and D Ortiz. Prótesis de rodilla externa mecatrónica. *Biomecánica*, 23(1), 2015.