

Prótesis electrónicas: Una nueva esperanza para mejorar la calidad de vida de las personas

Electronic Prosthesis: A new hope of improving the quality of life

Recibido: 14-05-2015 Aceptado: 25-11-2016

Leidy Catherine Díaz Montealegre¹

¹ Colombiana, Ingeniera Electrónica, Facilitadora Tecnoacademia Centro de innovación Nodo Cali, Regional Valle SENA. leidiadm@sena.edu.co

Resumen

El presente artículo tiene como fin mostrar cómo las prótesis de miembros inferiores y superiores se convirtieron en una posibilidad de mejorar la calidad de vida de la población con capacidad diferente, brindando productos con grandes avances tecnológicos y teniendo en cuenta la extracción de patrones para la creación de cada prótesis con las características propias que definen a una persona. Teniendo en cuenta lo anterior, para mejorar esa calidad de vida se hablará de: ¿cómo las prótesis deben verse en sus cuerpos para que se sientan nuevamente incorporados en la sociedad y activos en sus funciones cotidianas?. Finalmente, el autor muestra cómo realizan experimentación en ciencias como la bioingeniería, mecánica, electrónica, robótica y electromecánica con nuevos diseños y creaciones de prótesis electrónicas que poco a poco perfeccionan con base en investigaciones alternas, criterios científicos y las observaciones de cada una de las personas que las utilizarán diariamente.

Palabras clave: Prótesis; prótesis de miembro inferior; prótesis de miembro superior, prótesis; biomecánica.

Abstract

This article aims to show how the upper and lower limbs prosthesis are a possibility of improving the quality of life of people with different capacities, offering products with great technological advances and taking into account the extraction of patterns for creating each prosthesis with the characteristics that define a person. Given the above, to improve the quality of life. We will discuss: how the prosthesis should be perceived on their bodies in order to incorporate them back in to society and how this will improve their activity during daily functions. Finally,

the author shows how to perform experiments in sciences, such as the bioengineering, mechanics, electronics, robotics and electro mechanics with new designs and creations of electronics prostheses that gradually improved based on alternative research, scientific criteria and the observations of each person who will use a prosthesis.

Keywords: electronic prosthesis, lower limb prosthesis, upper limb prosthesis, prosthesis, quality of life, biomechanics.

Introducción

Dando una mirada hacia el futuro con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas con un determinado tipo de amputación, se realiza un aporte para la rehabilitación de dicha población (Meier, 1999), enfocada principalmente en dar una nueva esperanza desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, bioingeniería, nanotecnología, biomecánica, robótica y otras ciencias que ayudan a la creación de herramientas o dispositivos guiados por diferentes conceptos, leyes y teorías que conllevan la solución de un problema que se evidencia en la actualidad. (Vera, Arias, Espejo, & Martín, 2007; Ascencio, Gómez, Espejo, & Martín, 2007; Torres, 2005).

Por lo anterior, para lograr brindar una nueva esperanza a toda la población censada o a la mayoría de dichas personas, se desarrolló un estudio de los diferentes tipos de amputaciones para determinar las posibles modificaciones en el diseño de las prótesis, basándose en las prótesis mecánicas pero llevándolas hacia una prótesis electrónica con mejores funciones y una facilidad a la hora de modificar sus respectivas características como tamaño, color, textura, centro de gravedad, alineación, marcha en la prótesis de pierna, manejo de los dedos en las prótesis de brazos con criterios de médicos fisiatras, fisioterapeutas, teóricos, técnicos, electrónicos y prácticos (Salazar, 2012; Grosso & Tibaduiza, 2009; Ascencio, Gómez, Espejo, & Martín, 2007).

El censo realizado por el DANE en el año 2005, muestra que de 41.242.948 personas en Colombia, hay 770.128 personas con limitaciones para caminar, y hay 387.598 personas con limitaciones para usar sus brazos y manos. (Dane, 2005), dando como resultado una gran población que puede mejorar su calidad de vida mediante la adecuación de un elemento protésico en su cuerpo.

Por otro lado, es importante resaltar que en Colombia, como también en el mundo, las amputaciones de alguna extremidad han aumentado por motivos de accidentes de tránsito, minas antipersonas, enfermedades crónico degenerativas o conflictos bélicos (Maya, Guerrero, Ramírez, 2007), por tal motivo la Organización Mundial de la Salud (OMS) efectuó estudios que arrojan información acerca de la cantidad de personas a las cuales se les realizan amputaciones por motivos de enfermedades como la diabetes. (Martínez, 2013).

Colombia es el cuarto país con mayor cantidad de personas víctimas de minas antipersonas, dado que los territorios rurales y urbanos se han visto afectados por la presencia de las minas y de municiones sin explotar como se observa en la Figura 1 (UNICEF, 2004).

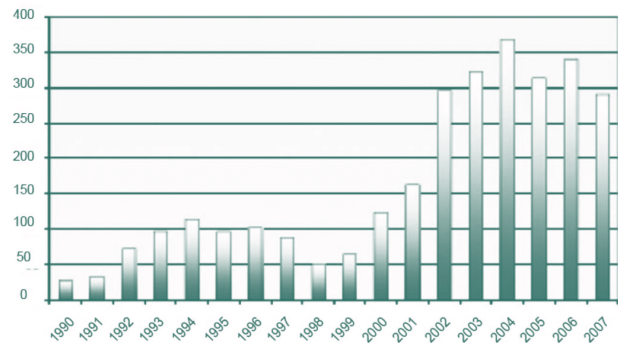


Figura 1. Frecuencia anual de municipios afectados por minas antipersonas (MAP) y municiones sin explotar Fuente: República de Colombia, 2008.

Con el fin de ayudar a la población que se conoce con diferentes discapacidades el artículo se enfocó en dar a conocer qué son las prótesis, qué tipos de prótesis existen y sus determinados usos en las personas. Por ello, primero se debe conocer que la palabra prótesis proviene del griego *prothesis* (προθεσις) formado de *pro* (προ) que significa antes y *thesis* (θεσις) de *tithemi* que significa yo pongo, en sentido de posición (Puglisi & Moreno, 2006), es decir, que las prótesis se crearon y desarrollaron como una extensión artificial que reemplaza total o parcialmente parte o partes del cuerpo que se han perdido, y la cual brinda versatilidad a la hora de ejercer sus tareas cotidianas, basándose en prótesis ya creadas actualmente, como lo son las de *Ilimb* y *Michelangelo* de las empresas Touchbionics y Otto Bock, respectivamente. (Flores & Dorador, 2009).

Normatividad de Órtesis y Prótesis

Para la mejorar la calidad de vida de las personas con alguna amputación y para la creación, desarrollo,

construcción, investigación y adecuación de prótesis mecánicas y electrónicas, se debe aplicar la normatividad existente en el mundo, ya que es un aditamento al cuerpo humano que debe tener exigencias, lo anterior con el objetivo de garantizar que en ningún momento afectan a la personas, por ello, se tienen en cuenta normas de la ISO "The International Organization for Standardization" sobre las órtesis y prótesis para cubrir aspectos como desempeño, seguridad, factores ambientales, intercambiabilidad, procedimientos, equipos auxiliares, efectos térmicos relevantes sobre las prótesis y las amputaciones (ISO/TC 168,1989; ISO 8549-1, 1987;ISO 8549-2, 1989; ISO 8549-4, 2014).

Por consiguiente, para la creación, adaptación, manipulación y comercialización de los dispositivos médicos exteriores (Giménez, Bresó, Guirao, Fayos, Atienza, & Solera, 2013), como lo son las prótesis de un miembro inferior o superior, se debe cumplir con los requisitos establecidos en normas, leyes y resoluciones para tal fin, es decir, toda la normatividad que establece las condiciones técnicas y sanitarias que debe tener cada una de las empresas que se dedican a la fabricación, elaboración y adaptación de las prótesis para los potenciales clientes como lo son las personas que han sufrido una amputación, por lo cual, estos procedimientos son realizados por motivos de seguridad y salubridad (Ministerio de la Protección Social, 2010).

Prótesis electrónicas

Al realizar un recorrido por la historia de las prótesis desde el pasado hasta el presente, se observa que en el año 1500 a.C. se creó la pierna computarizada y se siguió evolucionando al pasar de los años (Gómez, 2006). Luego del año 424 a.C. al año 1 a.C. se desenterró una pierna artificial de hierro y bronce con núcleo de madera para una persona con amputación por debajo de la rodilla, siguiendo la Alta Edad Media, donde estaban presentes los griegos que fueron pioneros con sus piernas de palo y ganchos para los brazos dando posteriormente una nueva creación con una prótesis de dedo del pie.

Hacia los siglos XXVII y XIX, en el año 1696 se creó la primera prótesis por debajo de la rodilla por el señor Pieter Verduyn, luego en el año 1800 se creó una prótesis de pierna de madera con encaje, articulación de rodilla en acero y pie articulado por el señor James Potts (Norton, 2007).

Avanzando en el tiempo en la edad del Renacimiento ya las prótesis se empezaron a crear con cobre, acero,

hierro y madera; en el año 1929 se introdujeron modernos procedimientos de amputación por el señor Francés Ambroise Paré y en 1936 elaboró prótesis para personas con amputación de miembro superior o inferior (Pedroza, S.F.)

Amputaciones de miembro inferior

La amputación se deriva del latín, *amputare*, donde su significado es cortar y separar un miembro o porción del cuerpo (DRAE, 2014). Por consiguiente, las amputaciones son un acto quirúrgico al cual se somete una persona, teniendo en cuenta factores como el nivel de la amputación según la clasificación que brinda la Academia Americana de Cirujanos Ortopédicos (Espinoza & García, 2014).

Las amputaciones transfemorales, a través del muslo, por encima de la rodilla, conocida como AK según sus siglas en inglés, son un tipo de amputación con el cual se pretende tener un punto isquiático, como se observa en la Figura 2 del esquema del hueso de la pelvis, teniendo en cuenta el largo del muñón, ya que de ese largo depende el resultado que tenga la persona en la marcha rápida, carreras, o en la práctica de algún deporte (Sáenz, 2014; Araujo, 2012).

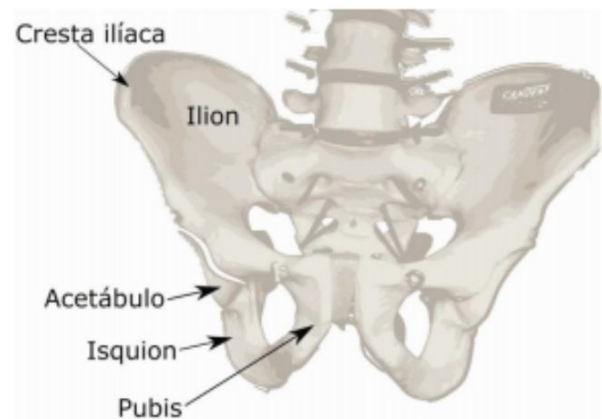


Figura 2. Esquema de la pelvis de un ser humano (Sáenz, 2014).

Las amputaciones transtibiales son realizadas a través de la pierna, por debajo de la rodilla, también conocidas como BK, de acuerdo con sus siglas en inglés; al practicar la cirugía se debe tener en cuenta los huesos que pertenecen a una fisiología anatómica como lo es la tibia y también la parte interna como los compartimientos musculares, ya que estos determinarán el grado de comodidad que tendrá la persona para el futuro uso de un elemento protésico. (Smith, 2003; Araujo, 2012).

Las amputaciones de desarticulación de rodilla y de tobillo se realizan a través de las articulaciones de rodilla y tobillo respectivamente, cuando se pierde la articulación de la rodilla no se cuenta con algunas uniones musculares

dando como resultado alteraciones en la locomoción normal, es decir, disminuye la eficiencia y aumenta el gasto energético en la persona. (Ocampo, Henao, Vásquez & 2010; Araujo, 2012).

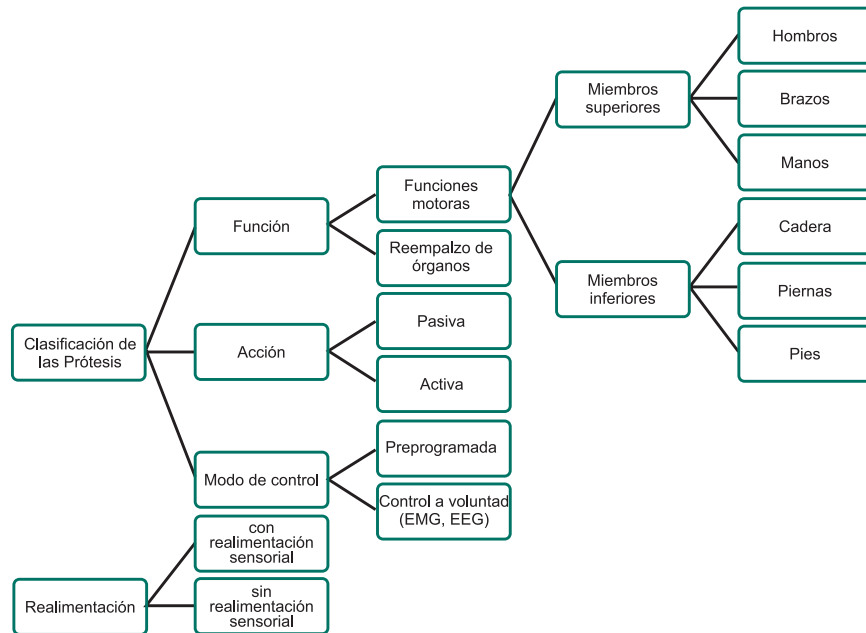


Figura 3. Clasificación de las prótesis. Tomada y adaptada de Ramírez, 2012.

Prótesis de miembro inferior

Las prótesis tienen una clasificación de acuerdo con su función, acción, modo de control, y realimentación como lo observamos en la Figura 3. (Ramírez, 2012; Araujo, 2012).

Las prótesis inteligentes de miembros inferiores se crean a partir del estudio en planos anatómicos donde se

obtienen 8 grados de libertad, de los cuales la cadera tiene 3, la rodilla tiene 2, y el tobillo tiene 3. Por lo tanto, se realiza un análisis de la biomecánica de la marcha reconociendo cada ciclo en los movimiento ejecutados y de esta forma se conocerá cuáles son los respectivos movimientos que deben efectuarse por medio de la prótesis, donde un 60% pertenece a la fase de apoyo y un 40 % a la fase de oscilación como se observa en la Figura 4 (Martínez, 2013; Rodríguez & Torres, 2005).

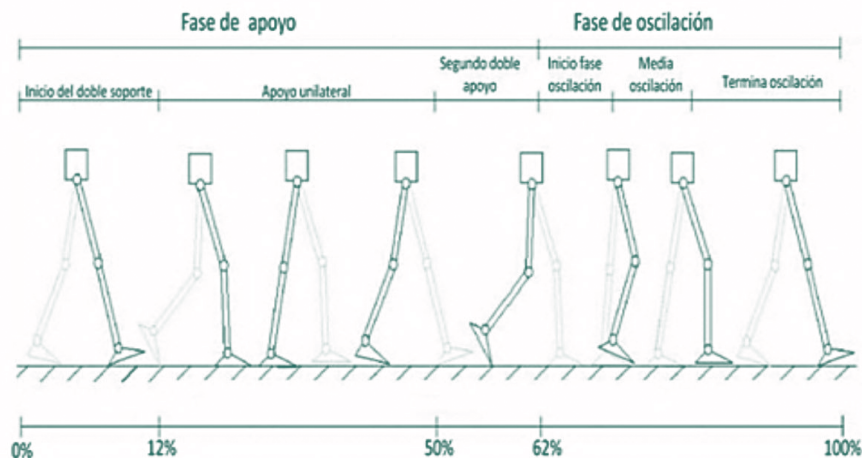


Figura 4. Un ciclo de la marcha humana. Tomado de Martínez, 2013

Partiendo de la investigación sobre la marcha del ser humano, se crean las prótesis inteligentes de miembro inferior, logradas a partir de la clonación artificial utilizando células madres mecatrónicas que se obtienen a partir del análisis en ciencias como la bioingeniería, la electrónica, la mecánica, la nanotecnología, la robótica y otras herramientas útiles para su continuo desarrollo. Existen funciones y elementos potenciales como son los patrones de movimiento, controladores inteligentes y articulaciones que tienen la capacidad de realizar una adquisición de datos para obtener una clonación eficaz a la hora de la creación de la prótesis. (Ver Figura 5)

Es decir, que el determinado conjunto de datos entregado por el proceso de clonación, es procesado por un sistema y allí la Defuzzificación de una parte del cromosoma es una de las etapas más importantes para obtener un rango de valores de discurso y no de pertenencia de conjuntos borrosos (Muñoz, Díaz & Gómez, 2012; Batista, Abreu & Fernández, 2012)

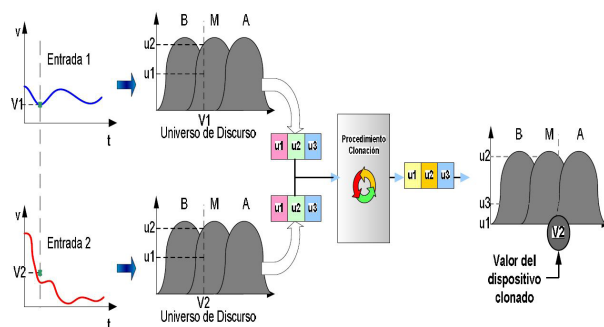


Figura 5. Procedimiento de clonación. Tomado de Muñoz, Díaz, & Gómez, J., 2012.

Para poder obtener resultados experimentales de algunas de las prótesis electrónicas y mecánicas que se diseñan, se parte de una prueba piloto realizada en el Centro Integral de Rehabilitación de Colombia - CIREC, el cual es un laboratorio encargado de evaluar la parte de la tecnología avanzada, orientándola en modelos de estudio avanzado sobre el movimiento y los efectos del mismo durante el proceso de la marcha (Contreras & Roa, 2005).

Prótesis de mano

La mano humana realiza dos funciones básicas, la del tacto que es enfocada principalmente en desarrollar las capacidades de sensibilidad, con las cuales puede reaccionar y medir la cantidad de fuerza o movimientos que esta realiza, y la de la presión, que representa la manipulación que esta puede desarrollar de acuerdo con

la actividad que se desea ejecutar. De igual forma y como parte porcentual mayoritaria del funcionamiento, la mano cuenta con el dedo pulgar, el cual representa un 40% del desempeño que cumple la mano (Loaiza & Arzola, 2011).

Todos los factores que interactúan en el funcionamiento de una mano, ofrecen la capacidad de dar expresión a las palabras, tal como lo hacen las personas con pérdida de la capacidad auditiva (sordos, sordomudos), los cuales las utilizan para comunicarse mediante el lenguaje de señas, o en el caso de la lectura, con el tacto mediante el lenguaje Braille; o los escultores, que dan forma a sus pensamientos o imaginación (Quinayas, Muñoz, Vivas & Gaviria, 2010).

Desde hace más de dos mil años, se ha venido trabajando en el reemplazo de miembros humanos por elementos o aditamentos que puedan dar un tipo de función que se asimile a los movimientos o actividades cumplidos por estas extremidades. En el siglo XX se empezaron a dar innovaciones en prótesis de mano que permitían a las personas amputadas regresar a la vida laboral, logrando ser pionero el médico francés *Gripoulleau*, quien desarrolló una serie de elementos que servían como reemplazo de la extremidad de mano perdida (Brito, Quinde, Cusco & Calle, 2013).

Mediante el estudio y las innovaciones desarrolladas a lo largo de los años, en diferentes países como Alemania, Estados Unidos, Japón, se lograron avances como los obtenidos en 1912 por el médico estadounidense *Dorrance*, quien fabricó una prótesis de mano que puede abrirse y cerrarse mediante movimientos de la cintura escapular, con la ayuda de aditamentos como un tirante de goma (Ávila, Gómez & Zapata, 2013). Para los años 60, en Rusia, nace una nueva tecnología de prótesis de mano denominada prótesis mio-eléctrica, la cual basa su principio de funcionamiento en la captura de pequeños potenciales eléctricos extraídos de la masa muscular del muñón, para posteriormente ser conducidas, filtradas y amplificadas, consiguiendo energizar y dar movimiento a la prótesis. (Escudero, Lejía, Álvarez, & Muñoz, s.f.).

Con el avance y desarrollo de diferentes elementos protésicos, se ha logrado dar solución a diversos tipos de amputación; a lo largo de la historia se han utilizado una variedad de actuadores que cumplen con los requerimientos de cada paciente, y por lo cual se ha realizado una clasificación por categorías de acuerdo con el actuador empleado, organizadas por su tipo, como lo muestra la Tabla 1 (Loaiza & Arzola, 2011).

Tabla 1. Tipos de prótesis de mano según el actuador implementado

TIPO	CARACTERÍSTICAS
MECÁNICA	Las prótesis de mano mecánicas son dispositivos que se usan con la función de cierre o apertura a voluntad, controlados por medio de un arnés que se encuentra sujeto alrededor de los hombros, parte del pecho y del brazo. Solo pueden ser utilizados para el agarre de objetos relativamente grandes y redondos debido a la poca precisión del mecanismo. (Dorador, 2004; Flores & Juárez 2004; Kutz, 2003; Vitali, 1996).
ELÉCTRICA	Utilizan motores eléctricos en los dispositivos terminales, muñeca y codo, con una batería recargable. Es posible controlarlas de varias formas: servo control, un botón pulsador o un interruptor con arnés. El precio de adquisición es elevado. Existen además otras desventajas inherentes como el mantenimiento más complejo, la baja resistencia a medios húmedos y el peso. (Díaz & Dorador, 2009).
NEUMÁTICA	Accionadas por medio de ácido carbónico comprimido, que proporciona una gran cantidad de energía. Aunque, presenta como inconveniente las complicaciones de sus aparatos y accesorios, y el riego en el uso del ácido carbónico. Su desarrollo fue interrumpido debido a las dificultades técnicas presentadas. (Díaz & Dorador, 2009).
HÍBRIDA	Combinan el movimiento del cuerpo con el accionamiento por electricidad. Este concepto es ampliamente utilizado en las prótesis transhumerales (amputación por encima del codo), donde por lo general el codo es accionado por el cuerpo y el dispositivo terminal (gancho o mano) es de accionamiento eléctrico. Tomada y adaptada de Loaiza & Arzola, 2011.(Norton, 2007; Puglisi & Moreno, 2006)

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 de la cual carece el paciente (Silva, Muñoz, Garzón, Landinez & Silva, 2011).

Con la evolución y desarrollo de prótesis de mano, se han venido aplicando diferentes teorías matemáticas y físicas, con el fin de llevar a un nivel descriptivo el movimiento de la mano y la interpretación de las señales mioeléctricas (Díaz & Dorador, 2010; León & Camacho, 2008). La teoría newtoniana permite describir de forma detallada el movimiento de la mano desde el punto de vista de la geometría del movimiento y la implementación de fuerzas aplicadas mediante músculos, tendones y huesos. La transformada de Fourier es la principal herramienta que permite descifrar, interpretar y reproducir de forma idéntica los movimientos de la mano, los cuales son generados por medio de los impulsos electroquímicos, y que producen el movimiento de la mano, utilizando como canal la red nerviosa y los músculos (Romo, Realpe, & Jojoa, 2007).

En la actualidad, las prótesis mioeléctricas utilizan como arterias los alambres musculares, que cuentan con una estructura delgada y de alta resistencia mecánica, ya

que son construidas con aleaciones de Níquel y Titanio, las cuales reciben el nombre de "NITINOL", la cual se caracteriza por ser una de las aleaciones con más memoria (Aparicio, Caicedo & Cuy, 2004).

Conclusiones

El uso de prótesis electrónicas ayuda a mejorar significativamente la calidad de vida de las personas, mediante la adaptación y rehabilitación de un elemento protésico personalizado anatómicamente según estandarizaciones y normativas, brindando la oportunidad de seguir realizando sus labores cotidianas.

Las prótesis electrónicas basadas en teorías y criterios experimentales son creadas con veracidad y utilidad para la población con discapacidad, enfocadas a mejorar y cambiar un estilo de vida que fue afectado al momento de realizar una amputación, ya sea en una intervención quirúrgica o sufrida en un accidente, teniendo en cuenta que cada prótesis varía sus especificaciones para cumplir exitosamente con la necesidad de una determinada persona y que haga parte de su anatomía obteniendo un óptimo control y dominio en su proceso de rehabilitación, adicionando a las prótesis una variedad de elementos y aspectos a tener en cuenta en la creación de diferentes materiales y partes mediante la electrónica, la bioingeniería y la microelectrónica.

Referencias

- Aparicio, A., Caicedo, L.A., Cuy, J.E. (2004) Prototipo de prótesis para mano utilizando músculos de alambre (nitinol) para la generación de movimiento. Universidad Santo Tomás de Aquino, Bogotá.
- Araujo, N. (2012). Diseño conceptual de una prótesis para amputación transfemoral (trabajo de grado). Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Biomédica, Santiago de Cali. Colombia.
- Ascencio, O., Gómez, D., Espejo, A. y Martín, P. (2007). Diseño y modelamiento de pie para prótesis transfemoral con sistema de amortiguación. *Revista Épsilon*. 9. 7-18.
- Ávila, C.M., Gómez, J.M., Zapata, J. (2013). Diseño y construcción de una prótesis electromecánica de la mano humana (trabajo de grado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México D.F. 1-173.
- Batista, R., Abreu, J. y Fernández, F. (2012). Modelo de sistemas de control de prótesis de rodilla transfemoral para un ciclo de marcha. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*. 33(2). 42-49.
- Brito, J.L., Quinde, M.X., Cusco, D. y Calle, J.I. (2013). Estudio del estado del arte de las prótesis de mano. *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*. (9). 57-64.
- Contreras, L. y Roa, M. (2005). Modelamiento de la marcha humana por medio de gráficos de unión. *Tecnura*. 9(16). 26-42.
- DANE. (2005). Censo general 2005. Discapacidad en personas con limitaciones permanentes. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 1-34.
- Díaz, J. C. y Dorador, J. M. (2009). Mecanismo de transmisión y actuadores utilizados en prótesis de mano. *Memorias del XV Congreso Anual de la SOMIM*. UNAM, México, D.F: 335-343.
- Díaz, J.C. y Dorador, J.M. (2010). El futuro en las prótesis de mano. *Memorias del XVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM*. México D.F. 1-11.
- Dorador, J., (2004). Robótica y prótesis inteligentes. *Revista Digital Universitaria*. 6(1). 1-15.
- DRAE, Diccionario de la Lengua Española. (2014). Amputación. Recuperado de: <http://lema.rae.es/drae/?val=amputacion>.
- Escudero. Z., Lejía, L., Álvarez, J. y Muñoz, R. (s.f.). Prótesis para extremidad superior controlada mediante la interpretación de la señal mioeléctrica en músculos remanentes. Sección Bioelectrónica CINVESTAV-IPN. 1-4. Recuperado de: <http://proton.ucting.udg.mx/posgrado/cursos/idc/pdf/idc/140.pdf>.
- Espinoza, M.J., García, D. (2014). Niveles de amputación en extremidades inferiores: repercusión en el futuro del paciente. *Revista de Medicina Clínica CONDES*. 25(2). 276-280.
- Flores, I. y Juárez, A. (2004) Actualidad y tendencias en el diseño de prótesis de miembro superior. *Memorias del X Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Querétaro, México, D.F.* 1255-1258.
- Flores, R. y Dorador, J. (2009). Diseño de una mano mecatrónica para prótesis. *Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 223-232.
- Giménez, J., Bresó, M., Guirao, L., Fayos, J., Atienza, C. y Solera, J. (2013). Implantes que mejoran la calidad de vida de personas con amputaciones transfemorales. *Revista de Biomecánica* 60. 55-60.
- Gómez, J.L. (2006) Las prótesis: Restauración del individuo. Ciencia y desarrollo, el conocimiento a tu alcance. Rescatado de: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/196/Articulos/Lasprotesis/Lasprotesis01.htm>.
- Grosso, J.M. y Tibaduiza, D. (2009) Diseño conceptual de un exoesqueleto para asistir la rehabilitación de miembro inferior. *Revista*

- UNAB – II Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica. 1(1), 1-6.
- ISO/TC 168, The international organization for Standardization. (1989). Prothesis and orthotics. Recuperado de: http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=53630.
- ISO 8549-1, The international organization for Standardization. (1989). Prothesis and orthotics - vocabulary - Part 1: General terms for external limb prostheses and external orthoses. Recuperado de: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:8549:-1:ed-1:v1:en>.
- ISO 8549-2, The international organization for Standardization. (1989). Prothesis and orthotics - vocabulary - Part 2: Terms relating to external limb prostheses and wearers of these prostheses. Recuperado de: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8549:-2:ed-1:v1:en>.
- ISO 8549-4, The international organization for Standardization. (2014). Prothesis and orthotics - vocabulary - Part 4: Terms relating to limb amputation. Recuperado de: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8549:-4:ed-1:v1:en>.
- Kurtz, R. (2003). Standard hand book of biomedical engineering design. McGraw Hill, New york.
- León, F.M., Camacho, J. (2008). Diseño de una interfaz electrónica para el conocimiento de patrones EMG para prótesis de mano. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia. 1-174.
- Loaiza, J. y Arzola, N. (2011). Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano. 78(169), 191-200.
- Martínez, F. (2013). Diseño de prótesis transfemoral activa (tesis de doctorado). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Ingeniería Electrónica, Cuernavaca Morelos, México, D.F.
- Martínez, F., Claudio, A., Vergara, S., Rodríguez, J.M. y Olmos, A. (2010). Estrategias de control implementadas en el diseño de prótesis para extremidades inferiores. Memorias del Congreso Anual 2010 de la AMCA, 1-6.
- Maya, A. L., Guerrero, J.F., Ramírez, J.F. (2007). Parámetros de diseño de una prótesis de rodilla en Colombia. (18), 770-773. Recuperado de: <https://goo.gl/2CC11Y>.
- Meier, R. (1999). Resultados contemporáneos para la persona con una amputación. Revista InMotion. 9(3). 1-3.
- Ministerio de la Protección Social. (2010). Resolución social 00001319 de 2010. República de Colombia. Recuperado de: <http://www.minsalud.gov.co/Normatividad/RESOLUCI%C3%93N%201319%20DE%202010.pdf>.
- Muñoz, A., Díaz, J. y Gómez, J. (2012). New Nanotech in models for the design of artificial skin with nanoparticles for the lining of prostheses of hand and leg for disabled. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(20), 136-143.
- Norton, K., (2007). Un breve recorrido por la historia de la protésica. inMotion, 17(7), 17-21.
- Ocampo, M.L., Henao, L.M., Vásquez, L. (2010). Amputación de miembro inferior: cambios funcionales, inmovilización y actividad física. 42. 1-26.
- Pedroza, A. (S.F). Historia de las prótesis de mano. La Reunión, Revista de Búsqueda, Rescate y Encuentro. Recuperado de: <http://goo.gl/tQxC0V>.
- Puglisi, L. y Moreno, H. (2006). Prótesis Robóticas. Revista del Departamento de Automática e Informática Industrial. 1-10.
- Quinayás, C., Muñoz, M., Vivas, O., Gaviria, C. (2010). Diseño y construcción de la prótesis robótica de mano UC-1. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Pontificia Universidad Javeriana. 14(2). 223-237. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47715443001>.

- Ramírez, C. (2012). Desarrollo de un sistema de control aplicado a un mecanismo policéntrico de miembro inferior (trabajo de grado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacanteco, México, D.F.
- República de Colombia. (2008). Situación por MAP y MUSE en Colombia 1990 - 15 abril 2008. Programa presidencial para la acción integral contra minas antipersona. Recuperado de: http://www.acnur.org/t3/uploads/media/COI_1969.pdf?view=1.
- Rodríguez, C. y Torres, Y. (2005). Evaluación cuantitativa en prótesis de miembro inferior unilateral. 9(17). 1-6.
- Romo, H.A., Realpe, J.C., y Jojoa, P.E. (2007) Análisis de señales EMG superficiales y su aplicación en control de prótesis de mano. Revista avances en sistemas e informática. 4(1). 127-136.
- Sáenz, G. (2014). Metodología de pruebas estáticas y dinámicas para un socket protésico de miembro inferior a nivel transfemoral (trabajo de grado). Universidad nacional autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, D.F.
- Salazar, S. (2012). Alineación en prótesis de miembro inferior por encima de rodilla (trabajo de grado). Universidad CES, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, Medellín, Colombia.
- Sandoval C., Villamizar, R., Delgado, E. y Cordero, A. (2010). Estimación de velocidad del movimiento de mano usando redes neuronales artificiales y mediciones electromiográficas. Revista Ingeniería Biomédica, 4(8), 41-56.
- Silva, C.A., Muñoz, J.E., Garzón, D.A., Landínez, N.S., Silva, O. (2011). Diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 30(1). 15-41.
- Smith, D.G. (2003). Amputaciones tibiales: éxitos y retos. Revista inMotion. 13(4). Recuperado de: http://www.amputee-coalition.org/spanish/inmotion/jul_aug_03/meddir.html.
- Torres, Y. (2005). Evaluación cuantitativa de una prótesis de miembro inferior unilateral. Tecnura. 9(17). 77-86.
- UNICEF (2004, 27 de octubre). Colombia destruye arsenal de minas antipersonales. *Centro de prensa UNICEF*. Recuperado de: http://www.unicef.org/spanish/media/media_23870.html.
- Vera, B., Arias, C., Espejo, A. y Martín, P. (2007). Diseño de un encaje para prótesis de miembro inferior con amputación por encima de la rodilla. Revista Épsilon. (9), 19-28.
- Vitali, R y Andrews, H. (1996). Amputaciones y prótesis. JIMS. Londres.