



PRÓTESIS DE BRAZO CON BIO-SENSOR IRX

Arm prosthesis with IRX Bio-sensor

Alexis Del Águila¹, Anderzon Vargas¹, Judith Gonzales¹ y Martin Poma¹

¹ Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Continental, Junín, Huancayo, Perú

Resumen

En la actualidad, las prótesis biomédicas en Huancayo tienen un precio exorbitante, por lo cual no son accesibles a las poblaciones vulnerables; esta situación se debe al atraso de la tecnología de prótesis existente en la provincia.

Según las estadísticas, las personas pierden alguna de las extremidades superiores en accidentes, asimismo se han incrementado la pérdida de extremidades debido a causas congénitas.

El proyecto de investigación tiene como base una plataforma tecnológica para diseñar y producir prótesis de brazos y manos con los estándares esperados. La prótesis es un elemento artificial que se integra en el cuerpo con la finalidad de reemplazar, total o parcialmente, un segmento de un miembro deficiente o ausente. Con el transcurrir del tiempo y en la actualidad, los avances tecnológicos han dado lugar a innovadores avances que sorprenden a la población en general. Si bien la pérdida de una mano, un brazo o una pierna le ocasiona problemas a la persona para reintegrarse de una manera adecuada a la sociedad, hoy en día estas personas pueden reemplazar sus miembros amputados (o ausentes) por dispositivos protésicos sin perder funcionalidad y comodidad, incluso estos nuevos dispositivos los pueden dotar de capacidades superiores a las naturales.

Las prótesis biomédicas de brazo se basan funcionalmente en la detección de proximidad de los tendones mediante el sensor de reluctancia infrarrojo que está ubicado sobre la piel, miden las distancias a través de algoritmos, que al final resultarán movimientos mecánicos. A partir de esta observación, esta investigación tiene dos propósitos: mostrar a la sociedad un prototipo desarrollado con tecnología de punta en el área de diseño, fabricación y costo y enfatizar en la accesibilidad a esta propuesta de diseño.

Palabras clave: Prótesis de miembro superior; prótesis biomédica de brazo; biónica; robótica; mecatrónica.

Abstract

Currently, biomedical prostheses in Huancayo have an exorbitant price, which is not accessible to vulnerable populations, this due to the delay that exists in the province in the prosthesis sector, it is worrying to see so many accidents where the upper limb is lost or due to congenital causes is increasing.

Due to this we develop this incentive project, which is based on a technological platform that manages to design and produce prostheses of arms and hands, with the expected standards. The prosthesis, as an artificial element that is integrated into the body in order to completely or partially replace a segment of a deficient or absent member. However, technological advances over time and today, has led to innovative advances that surprise the general population, because it is well known that the loss of a hand, arm or leg causes problems for the person to reintegrate to society in an appropriate way; However, today, amputee patients can be allowed to replace these losses with prosthetic devices without losing functionality and comfort, even being able to equip themselves with superior capabilities to natural ones.

The biomedical arm prostheses base their operation on the detection of proximity of the tendons by means of the infrared reluctance sensor that is located on the skin, measuring the distances through algorithms, which in the end will result in mechanical movements. From this observation, our purpose is to show society a prototype under which it has been possible to develop cutting-edge technology in the area of design, manufacturing and cost, emphasizing the latter and asking ourselves, if it is accessible.

Keywords: Upper limb prosthesis; biomedical arm prosthesis; bionics; robotics; mechatronics.

I. INTRODUCCIÓN

La superación que ha tenido la mano del hombre ha dado vida, como si se tratase de magia, a los cuadros de Rafael, a las estatuas de Thorwaldsen y a la música de Paganini (1). Nos concientiza su vital función y crucial importancia. La mano a través del tiempo ha demostrado ser una prolongación del cerebro y contrariamente, gracias a ella, el cerebro humano ha sido capaz de desarrollarse. La importancia de las áreas motoras y sensoriales de la mano están demostradas por la extensa área que ocupa en la corteza cerebral, ya que no solo es capaz de recibir, sino también de brindar (2). La extremidad superior humana no es solamente un órgano indispensable para desarrollar actividades laborales, recreativas y de comunicación durante la vida cotidiana, sino también es un artilugio altamente dotado de sensibilidad, porque a través del sentido del tacto indagamos y distinguimos nuestro entorno, siendo así la parte sensorial es uno de los principales problemas manifestados por los pacientes que usan prótesis de miembros superiores, ellos refieren que al perder la extremidad, también perdieron la información sensorial (3).

Previo a detallar el proyecto, es indispensable dar a conocer cómo la evolución tecnológica ha avanzado en tal sentido cronológico, porque servirá de guía para entender por dónde el ser humano está tratando de avanzar en dicho sector. La prototización del miembro superior constituye, desde siempre, un objetivo de investigación tanto de funcionalidad como de cosmética. La tecnología protésica tiene como fin minimizar las complicaciones del amputado en cuanto se refiere a la reincorporación social, brindándole así mayor confianza en este duro proceso (4).

Actualmente, existen numerosos métodos para fabricar prototipos de prótesis; sin embargo, una forma muy habitual, en el presente, y de reducido costo es la impresión 3D, que, por lo general, es rápida y fácil de aplicar. Esta tecnología nos

resultó bastante útil en el proceso de producción y se constituyó, además, en la mejor opción para construir prótesis de bajo costo, direccionadas a las poblaciones vulnerables que son nuestro foco de atención (5).

En las siguientes secciones se mostrará la metodología empleada y se describirá con mayor detalle los procesos realizados durante la elaboración del proyecto y, finalmente, se plasmarán los resultados anhelados.

II. MARCO TEÓRICO

La prótesis de brazo con biosensor IRX está elaborada con impresión 3D, se ha tomado como referencia la morfología de un brazo humano para establecer las dimensiones. El encargado de medir las distancias, a través de algoritmos que al final resultan movimientos mecánicos, es el sensor infrarrojo, que después de una investigación profunda mostró beneficios importantes en la funcionalidad y la reducción de costos.

Actualmente, en Huancayo no se han visto iniciativas en el campo tecnológico de la implementación de prótesis. Durante las últimas décadas, la industria de prótesis ha lanzado al mercado global un sin fin de prototipos, y ofreciéndole al público variedad en diseño, calidad o funcionamiento. El principal problema son los costos exorbitantes de las prótesis, es decir, mientras más sofisticadas y más necesidades cubran, más costosas resultan, por ello las poblaciones vulnerables no pueden adquirirlas y se ocasionan resultados perjudiciales tanto a la salud física como mental (6).

III. METODOLOGÍA

Diseño

Se aportaron soluciones para la investigación, según los requerimientos del usuario mediante la metodología de despliegue de la función de calidad (QFD), la caja negra y la



caja transparente; la antropometría se efectuó mediante el modelado de la mano en yeso para una mayor precisión; el traspaso de los datos físicos a datos virtuales se hizo con el programa Solidwork, con el cual se diseñó y ensambló virtualmente el prototipo.

Diagrama de caja negra y de caja transparente

Mediante el método de caja negra, se eliminaron las limitaciones en el proceso creativo y se logró autonomía para incentivar la creatividad. En el método de caja transparente, se establecen, principalmente, los objetivos con claridad, los criterios de evaluación y las variables que se van a considerar. Para hacer un análisis del problema, es importante efectuar una búsqueda previa de soluciones (7). La evaluación de los resultados se realiza en forma verbal y se basa en la lógica; las estrategias se fijan con anticipación, es decir con un procedimiento específico. Se debe permitir que el diseñador se contradiga hasta que encuentra una de las soluciones más óptimas (8).

En la figura 1, se observa el diseño de la caja negra, en la cual se estudian los diferentes dispositivos con los que se debe armar la ortopedia para compensar la ausencia de la extremidad superior.



Figura 1. Diseño de caja

El diseño de la caja transparente (Figura 2) nos ofrece varias posibilidades de escoger el mode-

lo final y también específica cuál será la variable de control a usarse. En conclusión, la caja negra elimina las limitaciones en el desarrollo creativo, pero no nos da las variables de control (9).

El diseño de la caja negra se inicia con los dispositivos basados en la mecánica y eléctrica, pero se usó el diseño de la caja transparente por sus ventajas en la función y entre otras cosas para este tipo de prótesis.



Figura 2. Diseño de la caja transparente: Se definen las entradas físicas del Sistema (variables de control), se realiza una serie de acciones en la caja transparente y se obtiene funcionalidad para el miembro superior amputado.

Mediante el método despliegue de la función de calidad (QFD)

Se investigan las necesidades del público objetivo a fin de realizar productos o crear nuevos prospectos que generen satisfacción en el usuario, de esa manera el personal puede perfeccionar su trabajo y cumplir con lo previsto (10)

La función de despliegue de calidad toma en cuenta la deficiencia del usuario para así deter-

minar la precisión del movimiento y dotarle esas características de la prótesis y sensibilidad. Estos resultados son evaluados con un intervalo de 1 a 9 según el nivel de conformidad (11).

Nuestro prototipo de prótesis de brazo con Bio-sensor IRX cuenta con 12 grados de libertad. Los primeros 6 grados de libertad permiten el desplazamiento del dedo medio junto con el anular después de haber logrado la circulación del dedo meñique, continúan dos grados de desplazamiento: el de la flexión y extensión del dedo índice; a esto, le siguen los dos grados de libertad que tiene el movimiento de uno de los dedos de la prótesis que permiten llevar a cabo el movimiento de abducción y aducción independientemente; y, finalmente, los 2 últimos grados de libertad se le atribuyen a la muñeca con la aducción y abducción, respectivamente (12).

El monitoreo del prototipo generó una funcionalidad alta de los mecanismos, de tal forma que se obtuvieron los resultados esperados. En cuanto al movimiento, el accionar de la prótesis se puede adaptar automáticamente y formar cinco tipos de movimientos principales de prensión de la mano de suma importancia, conocidos como: pinza fina (Figura 3), prensión en puño, prensión en gancho, presas pluridigitales y presas palmares (13).



Figura 3. Prototipo de prótesis de brazo realizando la función de pinza fina.

La parte principal del diseño es tanto la parte antropométrica como la del miembro superior conservado del cliente, teniendo en cuenta la suavidad, el giro, la resistencia a fuerzas axiales y las condiciones climáticas normales, movilidad, comodidad, el peso, la flexibilidad y lo acomodable de la prótesis. Después de haber considerado estos puntos, se continuó con la evaluación de los mecanismos y la cosmesis.

El diagrama QFD proporcionó un diagrama de Pareto que ayudó a identificar y mostrar problemas, así como a establecer los principales factores para iniciar la acción y a formular y distribuir esfuerzos para resolver efectivamente estos problemas (14). Esto revela que lo más importante en el diseño son los mecanismos internos y la calidad de imitación antropométrica y de la piel. En base a esto, se conseguirá un diseño eficaz del mecanismo, sencillo de elaborar para que pueda ser cubierto por la imitación de piel sintética. También existen otros factores menos importantes, los cuales se toman en cuenta para la elección del diseño final, así como para la sujeción, la precisión y la sensibilidad.

Material de prótesis

Los materiales más utilizados en la elaboración de las prótesis son los termoplásticos, la silicona (y similares), metales y acabado cosmético. Cada uno de estos materiales presenta ventajas y desventajas que básicamente dependen de las necesidades y funcionalidades que la persona necesite (16).

La calidad de los materiales de la superficie de contacto influirá en la comodidad del encaje; los materiales de la estructura afectarán la resistencia y el peso de la prótesis completa. Es importante saber que ningún material o tipo de componente es el mejor para todos los individuos. Cada individuo debe ser cuidadosamente evaluado en consideración de su estilo de vida, esperanzas y características físi-

cas. El protésico debe estar informado acerca de cómo trabajar con materiales tradicionales (madera, acero y cuero) y materiales de era espacial (titanio, fibra de carbón y plásticos) (15).

Moldeado del miembro superior

El modelo en yeso (Figura 4) es una copia de la extremidad superior conservada perteneciente al paciente; se obtuvo vertiendo yeso líquido en la impresión con alginato. El modelo es utilizado como base para evaluar la prótesis y obtener un correcto o adecuado tamaño de esta para luego ajustarlo adecuadamente a la extremidad superior faltante.



Figura 4. Modelo de yeso, vista palmar y vista dorsal

El modelo en yeso y digital del miembro superior afectado (parte del antebrazo) se obtuvo mediante técnicas de modelado con vendas de yeso (Figura 5), con esta base se podrán modelar y ajustar los mecanismos de la prótesis a implementar (17).



Figura 5. Modelo de venda de yeso de antebrazo, del miembro superior afectado

Impresión de la prótesis

La estructura de la prótesis está elaborada con cartuchos de ácido poliláctico (PLA), que se utilizan también para la impresión 3D de las piezas en general del prototipo de la prótesis, totalmente moldeada en un 100 % tomando como referencia los moldes de yeso obtenidos al inicio del proceso y sobre el estudio de antropometría del paciente. El periodo para realizar la impresión de todas las piezas abarca, aproximadamente, 120 horas sin interrupción alguna, luego se procede a ensamblarlas para obtener la forma del miembro superior, similar a la muestra de referencia (Figura 6) (18).



Fig. 6. Prototipo de prótesis con Bio-Sensor IRX ensamblado.

Diseño mecánico y eléctrico: El diseño a implementar es un mecanismo que programa los algoritmos de interpretación de los datos que capta el sensor IRX de distancias proximales o distales, este envía señales eléctricas para que se traduzcan en los movimientos mecánicos que realiza la prótesis (19).

Mecanismos de sujeción a la mano

Los mecanismos de la prótesis se sujetan a la mano del paciente mediante estructuras que envuelven la mano y mediante correas móviles, ubicadas a la altura distal, proximal

y media de la prótesis; así mismo, se incluyó una cubierta que le brinda estabilidad propiamente dicha (20).

IV. CONCLUSIONES

La implementación de proyectos innovadores en nuestra sociedad genera un impacto positivo y permite e indagar sobre las nuevas tecnologías, esto incentiva cambios óptimos y ágiles en el rendimiento de las actividades, ya sean estas laborales, personales, sociales y culturales, Este impacto revela el interés de las personas sobre el uso de la tecnología, el control de la energía, sus diferentes manejos, y su distribución en varios campos de desarrollo.

El diseño y la implementación de estas tecnologías (mecánica y sistemática) ayudan a conocer la importancia de tener nuestros dispositivos intercomunicados entre ellos, debido a que acorta tiempo en actividades y nos libera de tareas rutinarias.

Finalmente, se concluye que la realización autónoma de las funciones básicas de la mano es fundamental en cualquier ser humano. Con la ejecución de este proyecto, se puede tener la satisfacción de realizar un aporte e innovación para el bien común de un grupo de la sociedad: las personas con discapacidad física.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional para las Personas con Discapacidad (Conadis), al FabLab de la Universidad Continental, a Rehabilita “Medicina Física y Rehabilitación, al Instituto de Gestión de Tecnología en Salud Ocupacional e Ingeniería Clínica E.I.R.L, a ColiDo y a ATICH (Agrupación Tecnológica de Innovación, Creativa e Humanitaria).

VI. BIBLIOGRAFÍA

[1] ENGELS, F. *El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre*. 1996. pp. 1-9.

- [2] CAMPOS, A. *Los aportes de la neurociencia a la atención y educación de la primera infancia*. 2014, pp. 60. Cerebrum Ediciones.
- [3] DANIELA. Discapacidad y accesibilidad [online]. 2015. ISBN 1233565487. Available from: cendoc.continental.edu.peadsfgsdafgasdfg
- [4] SOCIEDAD ESPAÑOLA DE REHABILITACIÓN Y MEDICINA FÍSICA. *Rehabilitación*. Revista de la Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. 2007, vol. 41, pp. 222. Disponible en http://www.fgcasal.org/publicaciones/Revista_de_la_Sociedad_Espanola_de_Rehab.pdf
- [5] ACEVEDO, F. *Estudio sobre la aplicación de las tecnologías de fabricación aditiva al sector aeronáutico y espacial. Impresión 3D* [online]. 2016. p. 313. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60376/fichero/PFC+FMAV+53594781C.pdf>
- [6] SILVA, C. et al. Diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* [online]. 2011, vol. 30, n.º 1, pp. 15-41.
- [7] CONDE, L. *El diseño y la creatividad: heurística y técnicas de creatividad en la generación de ideas para el proyecto de diseño gráfico: la praxis en el aula en el contexto de la Escuela Superior de Diseño de Madrid* [Tesis doctoral]. 2016. Madrid, Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=126713>
- [8] VAN DER VELDEN, A. The evolution of design decisions. *Aerospace Engineering* 2011, vol. 1, n.º 6, pp. 20-23.
- [9] ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas* [online]. 2014. ISBN 9786120016671. Disponible en: <https://bit.ly/34zRfn8>
- [10] PERESSON, L. *Sistema de gestión de la calidad con enfoque al cliente*. 2007. pp. 115. [Consulta en línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf/calidad-enfocada-cliente/calidad-enfocada-cliente.pdf>
- [11] GRZYNA, F., CHUA, R. y Defeo, J. *Método Juran: Análisis y planeación de calidad*. 5.a ed. 2007. Mc Graw Hill Interamericana. ISBN 9789701061428.
- [12] QUINAYÁS-BURGOS, C. et al. Diseño y construcción de la prótesis robótica de mano UC-1. *Ingeniería y Universidad*. 2010, vol. 14, n.º 2, pp. 223-237.



- [13] GALLO, L. et al. Diseño de un prototipo electro-mecánico para la emulación de los movimientos de un brazo humano. *Inge Cuc*. 2016, vol. 12, n.º 2, pp. 17-25. Disponible en: <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.02>
- [14] MORALES, J. *Aplicación de la metodología Six Sigma en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo* [online]. 2007. pp. 211. Universidad Iberoamericana. Disponible en: <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014873/014873.pdf>
- [15] CHAMORRO, K. *Construcción de una mano robótica, enfocado al control del movimiento de la muñeca*. [Tesis de Licenciatura] 2016. pp. 154. Ecuador, Universidad Técnica del Norte. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5691?locale=en>
- [16] CHAMORRO, Katherine. *Estudio de prótesis robótica de una mano humana*. 2015. Ecuador, Universidad Técnica del Norte. pp. 1-6. Disponible en: <https://bit.ly/2XJRFWV>
- [17] SOSPEDRA, J. *Diseño mecánico de prótesis de mano multidedo antropomórfica infractuada*. [Tesis de Licenciatura]. 2015. Universitat Jaume I. Departament d'Enginyeria Mecànica i Construcció. Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/114179>
- [18] OROS, D. y HERRERA, E. *Diseño y construcción de un prototipo de engranaje de ABS utilizando la impresión 3D*. [online]. [Tesis de Licenciatura] 2015. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Disponible en: <https://bit.ly/3b7xYv>
- [19] VILCAHUAMÁN, G. *Diseño e implementación de un sistema de navegación autónomo basado en el filtro extendido de Kalman en el módulo robótico CoroBot empleando lenguaje C*. [Tesis de Licenciatura] 2013. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Disponible en: <https://bit.ly/3b7zOwK>
- [20] ÑAHUINCOPA P, G. *Tratamiento fisioterapéutico en amputados debajo de rodilla del miembro inferior*. [Tesis de Licenciatura]. 2017, pp. 88. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Disponible en <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/1818>