



La U INVESTIGA

ARTÍCULO CIENTÍFICO/ SCIENTIFIC PAPER

MECATRÓNICA/FISIOTERAPIA
Volumen 4. Número 1. Enero - Junio 2017
ISSN 1390-910X

PARAMETRIZACIÓN DE PRÓTESIS DE MANO USANDO EL DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR

PARAMETRIZATION OF HAND PROSTHESIS USING COMPUTER AIDED
DESIGN

Alan Roger Proaño Rosero.

Ingeniero en Mecatrónica/ Docente Universidad Técnica del Norte

Arllys Michel Lastre Aleaga

Ingeniero Mecánico/ Magister en CAD/CAM. (PHD) Doctor en Ciencias/ Docente Investigador Universidad Tecnológica Equinoccial

Katherine Geovanna Esparza Echeverría

Licenciada en Terapia Física Médica/ Magister en Terapia Manual Ortopédica/ Docente Universidad Técnica del Norte

Daniela Alexandra Zurita Pinto

Licenciada en Terapia Física/ Magister en Gerencia de Servicios de Salud/ Docente Universidad Técnica del Norte

Autor para correspondencia: arproano@utn.edu.ec

Manuscrito recibido el 12 de enero del 2017
Aceptado, tras revisión el 1 de junio del 2017

RESUMEN

La mano del hombre es una herramienta maravillosa, capaz de ejecutar innumerables acciones gracias a su función principal: la prensión, en este artículo se presenta el diseño de mano antropomórfica paramétrica, un prototipo de prótesis de mano para movimientos básicos de mano como es el agarre prensil: cilíndrico, de punta, de gancho, palmar, esférico y lateral. Este prototipo propone una mano ajustable a diversas medidas configurables por el usuario mediante un mecanismo de cuatro barras inverso para las falanges, la cual se adapta a las necesidades del paciente encontrando soluciones personalizadas de prótesis, para personas con discapacidad con amputación de miembro superior. Para este diseño paramétrico fue necesario el estudio de la goniometría y la antropometría de la mano, la cual se ha vuelto una necesidad para cubrir la demanda de sus requerimientos en el menor tiempo posible cumpliendo el valor estético, sin afectar su funcionalidad, mejorando su calidad de vida y a bajos costos. La metodología aplicada fue la teórica como el histórico lógico, análisis y síntesis, de modelación y empírico. La prótesis de mano se adapta a la mitad de población de estudio y tiene como prioridad la precisión y no la fuerza de los movimientos.

Palabras clave: Diseño paramétrico, prótesis, mano, antropometría, goniometría.

ABSTRACT

The hand of man is a wonderful tool, able to perform innumerable actions thanks to its main function: grasping, in this article is presented the parametric anthropomorphic hand design, a prototype hand prosthesis for basic hand movements such as grip Prehensile: cylindrical, tip, hook, palmar, spherical and lateral. This prototype proposes a hand adjustable to various measures configurable by the user through a reverse four-bar mechanism for the phalanges, which adapts to the needs of the patient by finding customized solutions of prostheses for people with disabilities with upper limb amputation. For this parametric design, it was necessary to study the goniometry and the anthropometry of the hand, which has become a necessity to cover the demand of its requirements in the shortest possible time, fulfilling the aesthetic value, without affecting its functionality, improving its quality Of life and at low costs. The applied methodology was theoretical as the logical historical, analysis and synthesis, of modeling and empirical. The hand prosthesis adapts to half the population of study and has as priority the precision and not the force of the movements.

Key words: Parametric design, prosthesis, hand, anthropometry, goniometry.

INTRODUCCIÓN

Los avances en el diseño de prótesis han estado directamente relacionados con los avances en el manejo de los materiales utilizados por el hombre, así como el desarrollo tecnológico y la comprensión de la biomecánica del cuerpo humano. (1), (2) , (3)

Una prótesis es un elemento desarrollado para mejorar o sustituir una función, una parte o todo un miembro del cuerpo humano afectado, por lo tanto, una prótesis para el paciente y en particular para el amputado, colabora también con el desarrollo psicológico de la creación de percepción para recuperación de movilidad y apariencia del mismo. (4) (5). Para lo cual estudios de la biomecánica proporcionan las bases de diseño para el funcionamiento de la prótesis de mano y desarrollos tecnológicos para crear componentes pequeños y eficientes para controlar los movimientos de la misma sin perder la estética y movilidad. (6).

Productos comerciales de manos como Vincent, iLimb, iLimb Pulse, Be-bionic, Bebionic v2 y Michelangelo son los más conocidos, pero el elevado costo hace su difícil adquisición. (7)

En la provincia de Imbabura (Ecuador) datos del INEC en el 2017, manifiestan que existen 22660 personas con discapacidad permanente es decir el 5% de toda la provincia de las cuales un elevado número viven en la extrema pobreza. La discapacidad Físico-Motora es la más prevalente con el 40%. Las prótesis a las cuales tienen acceso las personas con discapacidad son de movilidad limitada, y en el caso de la mano en el cierre y apertura de los dedos. (8)

El estudio de la biomecánica de miembro superior es indispensable para la

arquitectura de la mano, su función principal como la prensión y la capacidad de oposición de su dedo principal como es el pulgar que diferencia de los animales. (9), (10)

La provincia cuenta con tres etnias (indígena, mestizo y negro), se analizaron 789 personas de las cuales se obtuvo los siguientes resultados en medidas antropométricas.

Tabla 1. Longitudes máximas y mínimas de cada falange por dedo.

Dedo	Falange	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Pulgar	Proximal	32	54
	Distal	23	44
Índice	Proximal	42	70
	Medial	27	44
	Distal	19	33
Medio	Proximal	46	70
	Medial	33	44
	Distal	22	33
Anular	Proximal	45	84
	Medial	30	58
	Distal	20	39
Meñique	Proximal	41	68
	Medial	24	45
	Distal	18	30

Tabla 2. Dimensiones palmares.

Medida Palmar	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Ancho	70	90
Longitud	60	130

Otro aspecto importante a tratar es la goniometría de la mano, cada uno de los dedos tiene un rol fundamental al momento de realizar un movimiento funcional. (11)

Los cinco dedos no tienen la misma relevancia en la utilización de la mano. La misma se compone de tres partes; una

de ellas es el pulgar, que desempeña un papel preponderante por su oposición a los otros dedos: perder el pulgar reduce la mano a casi nada. La segunda es la zona de las pinzas, compuesta por el dedo corazón y, principalmente, por el dedo índice, indispensables para la pinza bidigital (pulgar/índice) pinza de precisión- o la pinza tridigital (pulgar/índice/corazón) pinza empleada para alcanzar los alimentos en más de la mitad de la humanidad. Y por último

la zona de los alcances, borde cubital de la mano, con los dedos anular y meñique, indispensables para garantizar la precisión de la prensión con toda la palma de la mano o también la presa en forma de puño: manera de coger los mangos de las herramientas, prensión de fuerza, frecuentemente empleadas. (12)

Los ángulos de movimiento de cada uno de los dedos se detallan en la tabla 3 y 4. (13)

Tabla 3. Ángulos de movimiento de pulgar (14)

Pulgar	Flexión	Extensión
Articulación metacarpofalángica	0°-50°	0°
Articulación carpometacarpiana	0°-45°	0°
Articulación Interfalángica	0°-80°	0°-20°
Abducción carpometacarpiana	0°-70°	
Aducción carpometacarpiana	0°	

La arquitectura de los 4 dedos restantes es similar los ángulos de movimientos son:

Tabla 4. Ángulos de movimiento de índice, medio, anular y meñique. (14)

Índice-medio-anular-meñique	Flexión	Extensión
Articulación metacarpofalángica	0°-90°	0°-30°
Articulación interfalángica proximal	0°-100°	0°
Articulación interfalángica distal	0°-90°	0°

El objetivo de esta investigación es el desarrollo de un diseño paramétrico de prótesis de mano que permite que los mecanismos sean adaptables, brindando una apariencia natural, para la ágil y flexible fabricación de modelos personalizados a costos accesibles acordes a nuestro entorno.

bién, si presenta amputación bilateral se puede generar una propuesta de diseño acorde a su etnia, peso o tamaño del paciente.

El diseño del prototipo está creado para realizar una pinza tridigital (pulgar-índice-anular) (12), (15), (16)

La elaboración de la prótesis para una persona adulta con amputación unilateral, el tamaño de los dedos y el de toda la mano será del mismo tamaño que el de su otra mano; así como tam-

La población de estudio para el diseño, dimensionamiento y construcción de la prótesis, se enfocó a las personas con discapacidad de la provincia de Imbabura.

Esta investigación es aplicada, porque resuelve un problema práctico y de grado de generalización acción uniendo la teoría con la práctica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos utilizados en esta investigación son: teóricos como el histórico lógico durante el estudio del estado del arte, como marco teórico referencial y su relación con otras ciencias, análisis y síntesis para determinar los factores claves que influyen en el diseño, procesamiento de datos e identificar las variables que intervienen en la parametrización, modelación durante el diseño, estudio y concepción de la prótesis de mano. Empíricos como es la consulta de experto, como son los docentes en el área de salud de la Universidad Técnica del Norte con el propósito de conocer la biomecánica y antropometría para el diseño de la prótesis, así como también especialistas en el área de procesos de manufactura para el uso de dispositivos de prototipo rápido. (17)

Para la selección de mecanismo de la mano se estableció las prioridades para el diseño de la misma, es decir cómo influye las falanges en determinado movimiento y si son indispensables para que sean móviles o fijas. (18) En el caso de los dedos la fase metacarpofalángica, realiza el 77% del rango de movimiento, y la fase interfalángica, que supone un 23%. (19) Existen movimientos complementarios que no se ocupan en las funciones básicas de la mano. Por lo que se ha diseñado fijo la falange distal de todos los dedos con una inclinación adoptada a la posición de reposo de la mano.

El mecanismo seleccionado es el de cuatro barras invertido, este se relacionó a la tendencia de diseños avanza-

dos de prótesis de mano, así como la adaptabilidad a cualquier dimensión. (20)

Los actuadores propuestos para este diseño son los miniature linear motion de la serie PQ12 creados por Firgelli, con la relación 63:1 que poseen una fuerza máxima 45 Newton, una precisión de 0.1mm y un peso de 15 gramos. (21) El número de actuadores es configurable (3 a 5 actuadores).

Para el diseño (CAD) del prototipo de mano se utilizó el software SOLIDWORKS y mediante la herramienta Drive Works Xpress se parametrizo los croquis de cada componente de tal manera que este reemplace los valores de cada una de las variables relacionadas a las cotas. (22) (23)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo dispone de 3 grados de libertad y será configurable en los siguientes parámetros como: longitud palmar, ancho de mano longitud proximal y distal (pulgares), longitud proximal, medial y distal (índice, medio, anular y meñique), longitud de Primer metacarpiano y para cada uno de los dedos la altura de cada conexión interfalángica (h_1 , h_2 , h_3 y h_4)

Las falanges contienen las dimensiones de sus otros componentes que intervienen, debido a la forma de sujeción interfalángica. Para el caso de los dedos se compone de cuatro componentes (Figura 1.)

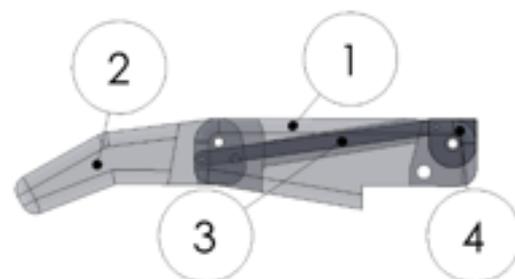
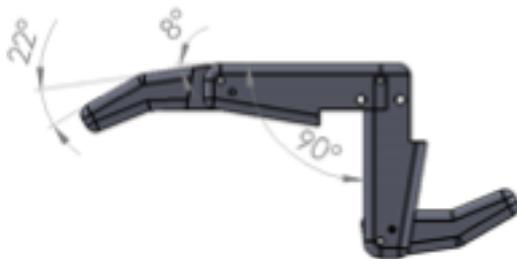


Figura 2. Diseño de dedo índice

1. Falange proximal.
2. Falange medial y distal.
3. Barra invertida.
4. Acople palmar.

El diseño propuesto realiza la extensión del dedo adoptada para la mano en posición neutral y la flexión a 90 grados para un recorrido funcional, como se analizó en la tabla 4. (figura 2) En el artículo de Merchán y la trayectoria del dedo índice se repite para los otros tres dedos (medio, anular y meñique). (24)

Figura 3. Ángulos de movimiento de los dedos del prototipo de prótesis de mano.



En este estudio al igual que las trayectorias del pulgar mencionas por Trujillo está proyectado en el mismo eje del dedo índice, con el fin de realizar el principal funcionamiento de la mano que es la pinza bidigital, (25) . Este diseño no realiza aducción y abducción (no realiza oposición a medio, anular y meñique), la falange distal se considera fija y la articulación metacarpofalángica realiza una flexión de 90 grados. (figura 3)

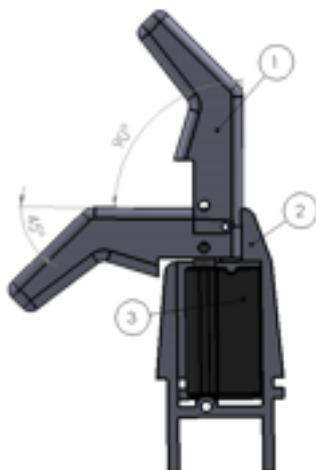
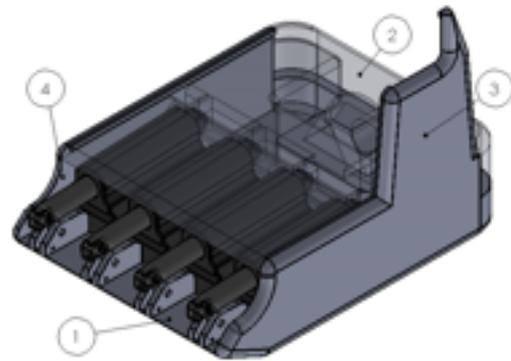


Figura 4. Diseño de dedo pulgar y su ángulo de movimiento.

1. Falange proximal y distal.
2. Base de pulgar configurable a primer metacarpiano.
3. Motor Lineal Firgelli.

La estructura palmar tiene como función la sujeción de los dedos (índice, medio, anular y meñique), base del pulgar, motores y acople a socket de muñeca, se compone de 4 partes.

Figura 5. Estructura Palmar y motores Lineales.



1. Base palmar superior (eje de dedos).
2. Base palmar inferior (eje de motores).
3. Base lateral izquierda (sujeción de pulgar).
4. Base lateral derecha.

En base al diseño propuesto y a las especificaciones de la población referente (Imbabura). La prótesis paramétrica se ha adaptado a los siguientes rangos de medidas (tabla 5 y 6).

Tabla 5. Rangos de medidas configurables en dedos para la prótesis para

Dedo	Falange	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Pulgar	Proximal	22	54
	Distal	28	44
	Primer Metacarpiano	55	60
	h1	14	27
	h2	12	20
Índice	Proximal	46	70
	Medial	27	44
	Distal	23	33
	h1	21	28
	h2	11	16
	h3	8	12
Medio	Proximal	46	84
	Medial	33	58
	Distal	22	39
	h1	17	25
	h2	11	16
	h3	7	12
Anular	Proximal	45	68
	Medial	28	45
	Distal	22	30
	h1	15	25
	h2	11	15
	h3	7	13
Meñique	Proximal	37	57
	Medial	20	34
	Distal	19	29
	h1	14	20
	h2	11	13
	h3	7	11
Índice-medio-anular-meñique		Flexión	Extensión
Articulación metacarpofalángica		0°-90°	0°-30°
Articulación interfalángica proximal		0°-100°	0°
Articulación interfalángica distal		0°-90°	0°

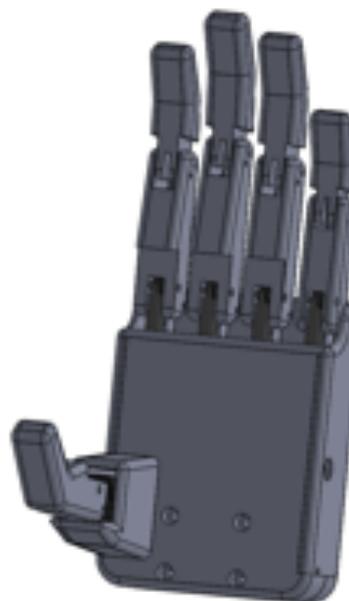
Tabla 6. Rangos de medidas configurables para la palma de la prótesis paramétrica.

Medida Palmar	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Ancho	64	90
Longitud	105	130

El porcentaje de adaptabilidad para medidas antropométricas de acuerdo al estudio realizado en la población en la provincia de Imbabura demuestra que para los dedos (pulgar, índice, medio, anular, meñique) la adaptabilidad es del 100%, el ancho palmar es del

99% y la longitud palmar al 50%.

Figura 6. Prótesis de mano paramétrica



CONCLUSIONES

El mecanismo de cuatro barras inverso se adapta cualquier dimensión, disminuyendo el número de actuadores interfalángicos y contribuyendo a la reducción de costos.

Los rangos de valores de las longitudes que intervienen en el diseño de la mano se ajustan a la mayoría a la población, en caso de existir valores fuera de estos rangos, los valores máximos pueden ser configurables mientras que los valores mínimos no, debido al espacio limitado que ocupan los actuadores en la base palmar de la mano del prototipo.

El prototipo está restringido principalmente a la longitud palmar, al diseñar una mano donde las falanges sean mínimas la función de pinza no se realizaría por lo tanto la funcionalidad disminuiría.

Los movimientos para los que se ha diseñado la mano son los funcionales, teniendo como prioridad la precisión y no la fuerza de los movimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. UNAM. Reseña histórica de las prótesis. 2014;; p. 5.
2. González JMD. Robótica y prótesis Inteligentes. UNAM. 2005;; p. 15.
3. Ventimiglia P. Design of a Human Hand Prosthesis. Worcester Polytechnic Institute. 2012;; p. 75.
4. John John Cabibihan DJ. Illusory Sense of Human Touch from a Warm and Soft Artificial Hand. IEEE. 2014;; p. 23.
5. Mendoza OF. Amputación, desarticulación, definición, indicaciones. CIRUGÍA ORTOPÉDICA Y TRAUMATOLOGÍA. 2014;; p. 12.
6. Báez SCCVDH. Diseño de un programa fisioterapéutico para pacientes con miembros amputados que acuden a la fundación Prótesis para la vida de la ciudad de Ibarra durante el periodo Julio 2012 - Enero 2013. Universidad Técnica del Norte. 2013 Dec; 1(1).
7. Joseph Belter JLAMDRF. Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review. JRRD. 2013;; p. 20.
8. Lopez G. Poblacion de personas con discapacidad por provincia 2017. INEC. 2017.
9. Sanchez JG. Extremidad Superior. Módulo de bases anatómicas y fisiológicas del deporte. 2016;; p. 12.
10. López LAA. Biomecánica y patrones funcionales de la mano. Morfolia. 2012;; p. 11.
11. Crawford AL. Design of a Robotic Hand and Simple EMG Input Controller with a Biologically-Inspired Parallel Actuation System for Prosthetic Applications. IEEE. 2010;; p. 8.
12. Kapandji AI. Fisiología articular Madrid: Panamericana; 2006.
13. Weir Rf. Desing of artificial arms and hands for prosthetic applications. In. Chicago: Mac Graw Hill; 2004. p. 61.
14. CH T. Goniometría una herramienta para la evaluación de las incapacidades. In. Argentina: ASOCIART; 2007.
15. José Alfredo Leal CRT. Structural numerical analysis of a three fingers prosthetic hand prototype. International Journal of Physical Sciences. 2013;; p. 11.
16. A. Ajoudani SBGMCGGNGTaAB. Teleimpedance Control of a Synergy-Driven Anthropomorphic Hand. IEEE. 2013;; p. 7.
17. Ruiz PA. Impresión 3D. [Online].; 2016. Available from: WWW.METALACTUAL.COM.
18. Hugh Herr GPWDC. Cyborg Technology - Biomimetic Orthotic and Prosthetic Technology. In. Cambridge: Biomimetics Group; 2014. p. 35.
19. Griño BS. Diseño mecánico de prótesis de mano multidedo antropomórfica infractuada. 2015;; p. 302.
20. N. Carbonaro GAMBGD LFGPGP. An Innovative Multisensor Controlled Prosthetic Hand. Springer International Publishing Switzerland. 2014;; p. 4.
21. Firgelli. Miniature Linear Motion Series · PQ12. Catalogo Firgelli. 2014;; p. 3.
22. Ana Bonilla LM. Herramientas de diseño en ingeniería. Zamudio. 2013;; p. 20.
23. Navarrete S. Diseño paramétrico. Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. 2014;; p. 10.
24. Merchán-Cruz VSA. Rango de movilidad y función descriptiva del dedo índice. ESIME-IPN. 2007;; p. 13.

25. Trujillo I. Propuesta de trayectoria de oposicion del pulgar. Universidad nacional autonoma de Mexico. 2012;; p. 75.
26. Aldo Piñeda LCCEJG. Variables antropométricas y su relación con la fuerza-prensión de mano, para el uso ergonómico de herramientas manuales en un grupo de trabajadores del sector de la construcción en Bogotá. Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información. 2015;; p. 8.
27. Fredy Paniagua MR. Prótesis de mano robótica adaptada para movimientos simples útil a pacientes con amputacion transradial. Universidad de San Carlos Guatemala. 2015;; p. 65.
28. CA Q. Diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres. In. Colombia: Universidad de Cauca; 2010. p. 95.
29. Anticipation AALARtAtPa. Patrick M. Pilarski, Michael R. Dawson. ADAPTIVE ARTIFICIAL LIMBS. 2013;; p. 10.