

Análisis cinemático y síntesis de un sistema de palancas para la sub-actuación de un dedo artificial con 3 articulaciones

Jesús Alberto Ordaz Rivera

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 18 Sur y Avenida San Claudio, San Manuel,
Puebla, Puebla
j.a.ordaz@live.com.mx

Emilio Miguel Soto García

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 18 Sur y Avenida San Claudio, San Manuel,
Puebla, Puebla
sotobungee@gmail.com

José Eligio Moisés Gutiérrez Arias

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 18 Sur y Avenida San Claudio, San Manuel,
Puebla, Puebla
jmgutierrez@ece.buap.mx

José Eladio Flores Mena

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 18 Sur y Avenida San Claudio, San Manuel,
Puebla, Puebla
eflores@ece.buap.mx

María Monserrat Morín Castillo

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 18 Sur y Avenida San Claudio, San Manuel,
Puebla, Puebla
mmorin@ece.buap.mx

Resumen

Se presenta el análisis y síntesis de un conjunto de palancas mecánicas como un sistema óptimo y con capacidad de extensión, para el desarrollo de las funciones biomecánicas humanas de la apertura y cierre de un dedo artificial multi-articulado, cuyo movimiento es descrito por el principio articular de sub-actuación, disminuyendo de esta manera los grados de libertad en un dedo de tres articulaciones. Proponemos una relación funcional para un grado de libertad, mediante la incorporación como elemento motriz de entrada a un actuador lineal. Planteamos la extensión del diseño del sistema de palancas correspondientes para la actuación de cada uno de los dedos secundarios en una mano robótica.

Palabra(s) Clave(s): análisis, dedo, multi-articulado, palancas, síntesis, sub-actuación.

1. Introducción

En la actualidad se han desarrollado pocos sistemas robóticos tratando de introducir el concepto de sub-actuación para el movimiento de un dedo artificial articulado [1], planteando el desarrollo de movimientos basados en tratar de imitar los ligamentos humanos por extensiones de cables o elementos elásticos, o bien, el uso de un conjunto de mecanismos de cuatro barras; por lo cual, se puede presentar un mayor número de fricciones presentes en el sistema mecánico con las extensiones por cables al entrar en contacto con el objeto de agarre, o bien, obtener en casos particulares un menor grado en la función biomecánica multi-articular, mediante la incorporación de uno o dos mecanismos de cuatro barras.

Algunos de los ejemplos que han optado por introducir este tipo de elementos para la sub-actuación de un dedo son: la mano robótica “Manus Hand”, que propone el uso de extensiones de cables a través de un sistema de poleas para la actuación de sus dedos [2], así como también la mano robótica del CENIDET [3] y otras más [4, 5]. Para las que han optado por el uso de mecanismos de cuatro barras se tiene la mano BHG-1 [6],

robótica DLR [7, 8, 9], la mano robótica del IPN, incorporando el mecanismo propuesto por Velázquez a través del análisis de trayectorias [10], así como también la mano robótica MUC-I, que incorpora el uso de 2 mecanismos de cuatro barras [11, 12].

Las nuevas metodologías y técnicas de análisis, así como de diseño, son implementadas con el fin de abordar la problemática de la baja funcionalidad de manos robóticas en los movimientos de sus dedos articulados, sin dejar de cumplir con características particulares como su peso y tamaño ideal [13]. Así como también, las características músculo-esqueléticas de la mano humana son estudiadas con el fin de extraer los elementos esenciales para el diseño de una mano antropomórfica.

En esta propuesta de análisis y síntesis para la sub-actuación, se integra un sistema de 3 palancas mecánicas, que guardan determinadas relaciones biomecánicas, para efectuar de forma correcta el movimiento y transmisión de la fuerza deseada, mediante la incorporación de un actuador lineal como elemento motriz de entrada.

La singularidad funcional de la mano ha sido reconocida y discutida ampliamente en la literatura y avance tecnológico referente al desarrollo de manos artificiales. Con más de 20 grados de libertad (GDL), también se ha reconocido como un modelo que vale la pena para su emulación del movimiento de los dedos [14].

La mano del hombre es una herramienta maravillosa, capaz de ejecutar innumerables acciones, gracias a su función principal: la prensión. Esta facultad de prensión, debida al cierre y apertura de los dedos, se puede encontrar desde la pinza del cangrejo hasta la mano del simio, pero en ningún otro ser que no sea el hombre ha alcanzado este grado de perfección, aquello que nos distingue de cualquier otra especie [1].

Esto implica un alto grado de relevancia el diseñar un sistema para el movimiento de los dedos que imite las características esenciales de su arquitectura, formas geométricas y capacidades funcionales de la mano humana, con el fin de producir una mano artificial, que presente similitud para el desarrollo de las tareas de manipulación y capacidad de agarre.

2. Desarrollo

El diseño para la sub-actuación del dedo propone utilizar un sistema de 3 palancas mecánicas, las cuales conforman directamente la estructura de los dedos, de una manera similar a los humanos.

Mediante el análisis biomecánico de la mano se tiene que los tendones flexores son aquellos que permiten realizar el movimiento de cierre de los dedos. Los principales tendones flexores son el FDS (flexor común de los dedos superficial) y el FDP (flexor común de los dedos profundos). La FDS se conecta a la base de la falange media, mientras que el FDP se adhiere a la falange distal. La FDS flexiona la articulación PIP (interfalángica proximal), mientras que el FDP flexiona tanto el PIP y articulaciones DIP (interfalángica distal). La flexión de la MCP (metacarpofalángica) se logra con la ayuda de la campana extensora. La LU intrínseca (lumbrical) y IO músculos (interóseos), están conectados a la campana (ver Fig. 1). A medida que estos músculos se contraen, la estructura de la campana abraza la falange proximal e inicia la flexión de la MCP [14].

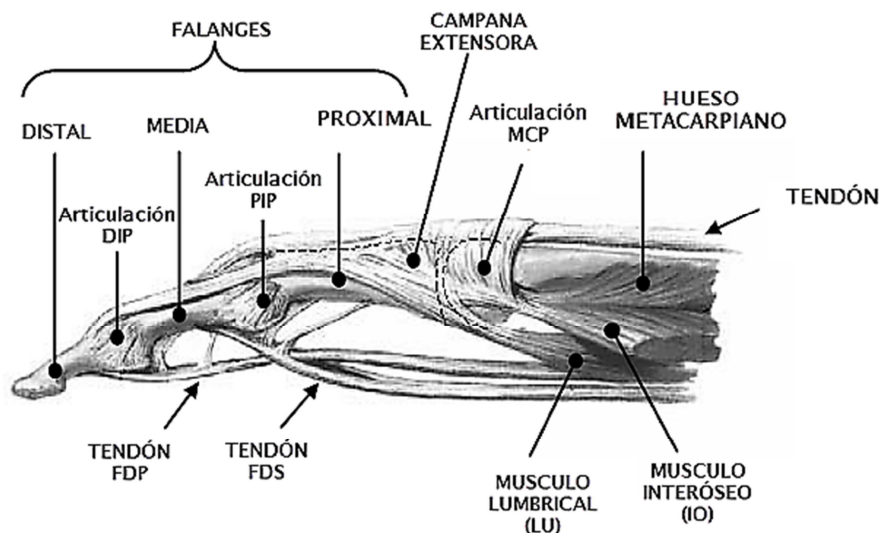


Fig. 1. Músculos y tendones de un dedo de 3 articulaciones.

Se imita el comportamiento biomecánico del dedo, partiendo de la incorporación de un actuador lineal Firguelli, el cual, cumple con la función del tendón y musculo interóseo (IO) motriz, cuya rotación sobre su propio eje posterior de conexión, permite la rotación del cuerpo del mismo (ver Fig. 2), realizando el movimiento angular de la simulación del hueso metacarpiano.

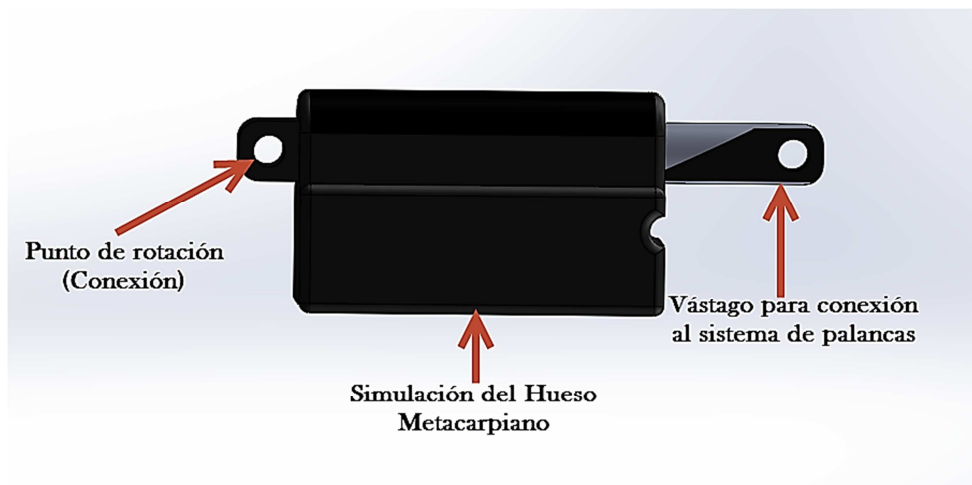


Fig. 2. Cuerpo del actuador lineal Firguelli PQ12.

El diseño del sistema de palancas parte de la transferencia de un movimiento rotacional, que conforma el brazo de potencia de acuerdo a un punto de apoyo o fulcro y el brazo de resistencia, en cual, también se tiene la función de la localización del eslabonamiento al punto de transmisión para la palanca subsecuente; se menciona el movimiento rotacional del punto de conexión “B” del vástago del actuador lineal, como resultado del punto posterior de conexión fijo al actuador y la fuerza de oposición presentada por el punto “A” de apoyo para la palanca, al momento de realizar el desplazamiento lineal por parte del vástago en “B” y que de manera conjunta representan a la articulación metacarpofalángica (MCP), se generará la trasmisión del movimiento rotacional del brazo de resistencia del segmento \overline{AD} (ver Fig. 3).

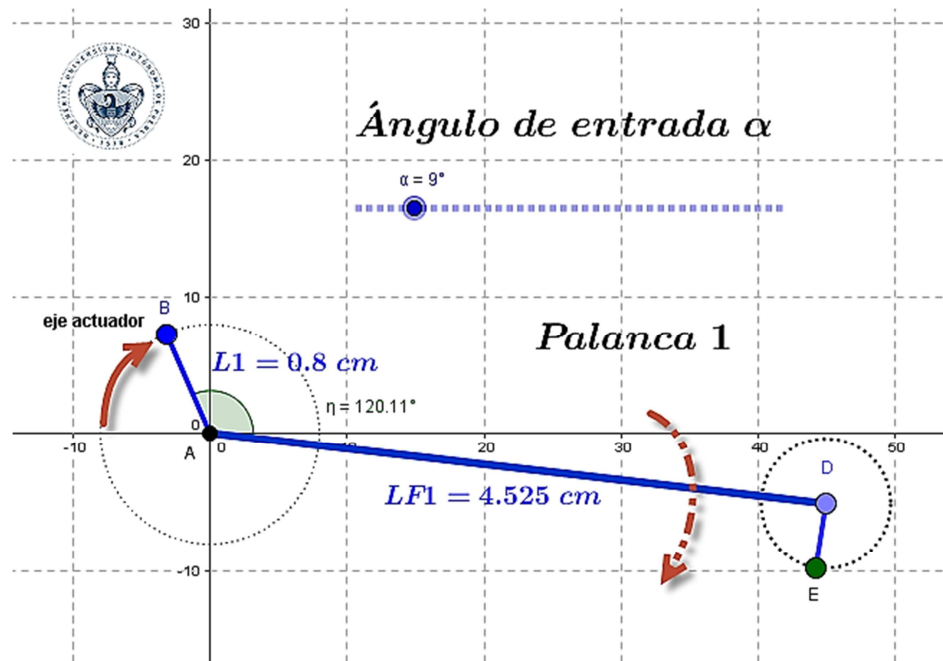


Fig. 3. Palanca 1 con conexión al vástago como elemento de transmisión.

Se observa que el brazo de potencia, segmento \overline{AB} , se encuentra separado por un ángulo obtuso de 120° del brazo de resistencia, segmento \overline{AD} ; y tomando $L1= 0.8\text{ cm}$ y $LF1= 4.525\text{ cm}$, se definen su posición descrita de la siguiente manera:

$$B = (L1 \cos(\alpha - 120^\circ), -L1 \sin(\alpha - 120^\circ)) \quad (1)$$

$$D = (LF1 \cos(\alpha - 2.5^\circ), -LF1 \sin(\alpha - 2.5^\circ)) \quad (2)$$

Este hecho permite la transferencia de la fuerza y el movimiento deseado, generando la trayectoria descrita para el extremo en el punto "D", la cual, también es capaz de describir al punto "E", a través de un ángulo recto (ver Fig.4).

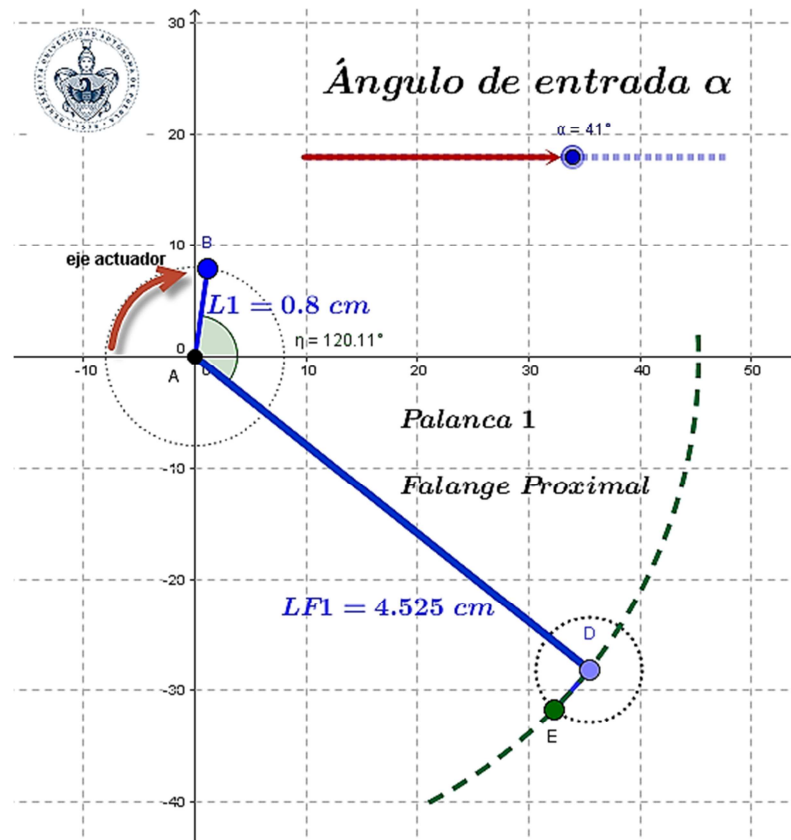


Fig. 4. Trayectoria del punto final de la palanca 1.

Para la transferencia del movimiento a la palanca 2, se anexa un punto fijo “C”, con valores de $LS2=1.131$ cm y el ángulo $a= 45^\circ$ del punto de apoyo u origen “A”. El punto “C” de manera conjunta al punto “G”, conformarán el segmento \overline{CG} , que permite realizar la transmisión del movimiento rotacional a la palanca 2, ahora tomando como punto de apoyo o fulcro al punto “D”, que conforman la articulación interfalángica proximal (PIP) para la palanca 2, a un punto de intersección (ver Fig. 5), y el cual se describe por la ecuación:

$$C = (L2S \cos(a), -L2S \sin(a)) \quad (3)$$

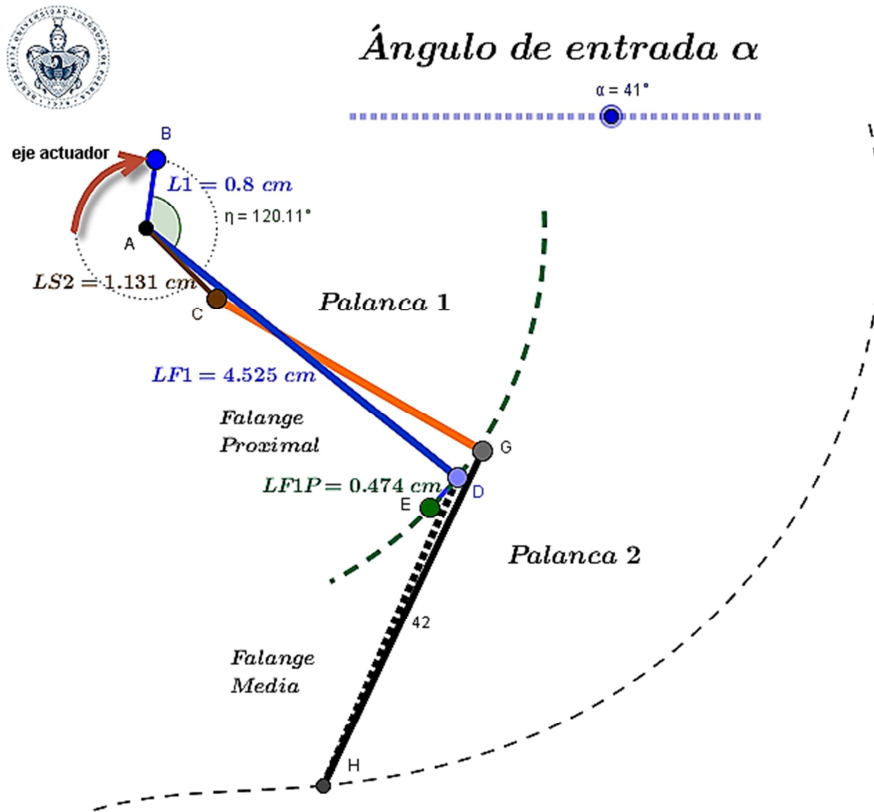


Fig. 5. Conexión y trayectoria de la palanca 2.

Se plantea el punto “E” como un punto fijo con $LF1P = 0.474$ cm, para realizar la rotación de la palanca 3, y cuya posición se describe por la ecuación:

$$E = (LF1\cos(\alpha - 2.5^\circ) + LF1P\cos(\alpha + 90^\circ), -LF1\sin(\alpha - 2.5^\circ) - LF1P\sin(\alpha + 90^\circ)) \quad (4)$$

Punto mediante el cual, se genera la conducción de la palanca 3, utilizando este punto como elemento de traslación de manera conjunta con el punto “K”, que determinan la variación de las trayectorias de salida para la palanca 2 y el punto final o distal del dedo con respecto a la distancia total para el segmento \overline{EK} ; finalmente tomando ahora como el punto de apoyo al punto “H” o articulación interfalángica distal (DIP) para la palanca 3, sobre el cual, se genera la transferencia del movimiento para la rotación de la falange distal (ver Fig. 6).

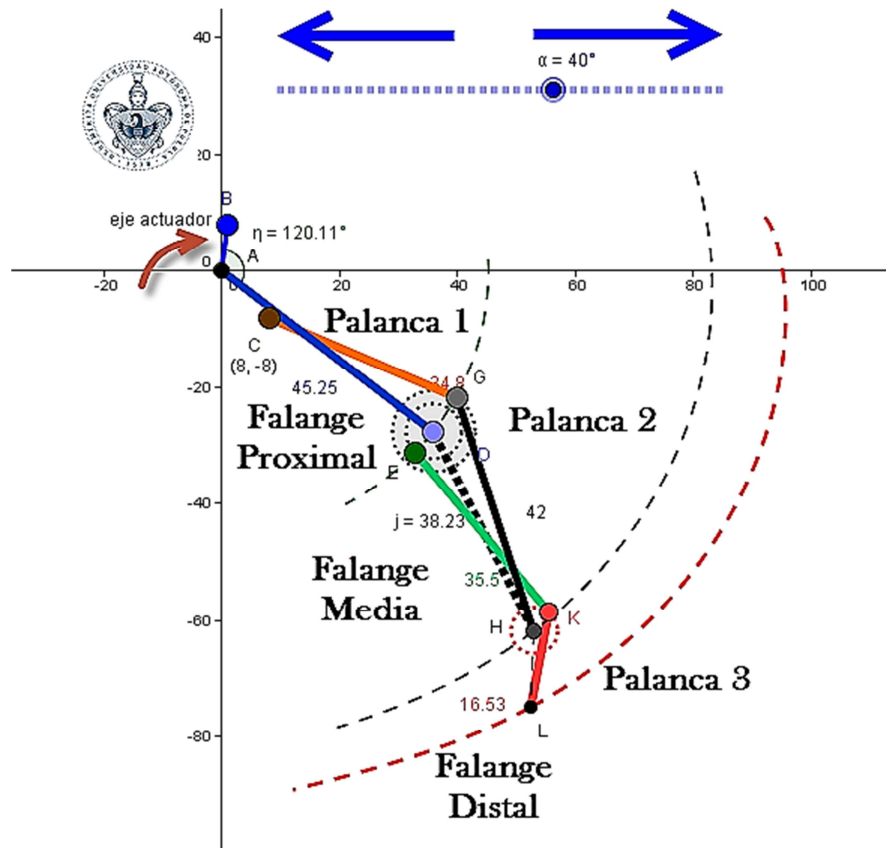


Fig. 6. Cambio de trayectorias de la palanca 2 y 3 dada la variación del punto “E”.

A partir del análisis desarrollado, contemplando los parámetros biomecánicos necesarios, se encuentran las relación funcional de los parámetros angulares de la palanca 2 y 3, con respecto al ángulo de entrada del elemento motriz de transmisión a la palanca 1 con el objetivo de lograr encontrar una función descriptiva para su incorporación en la descripción de la cinemática del dedo artificial multi-articulado y una posible simplificación del modelo matemático; para lo cual, de manera generalizada se verifican las relaciones para la palanca 2 y 3, las cuales están dadas por una relación f_K descrita por dos funciones exponenciales, hecho por el cual se realiza la aproximación de las relaciones para f_{K1} y f_{K2} de la palanca 2 y 3 respectivamente, a una sola función exponencial (ver Fig. 7) y cuyos comportamiento se describen por los trayectos en color verde y amarillo (ver Fig.8).

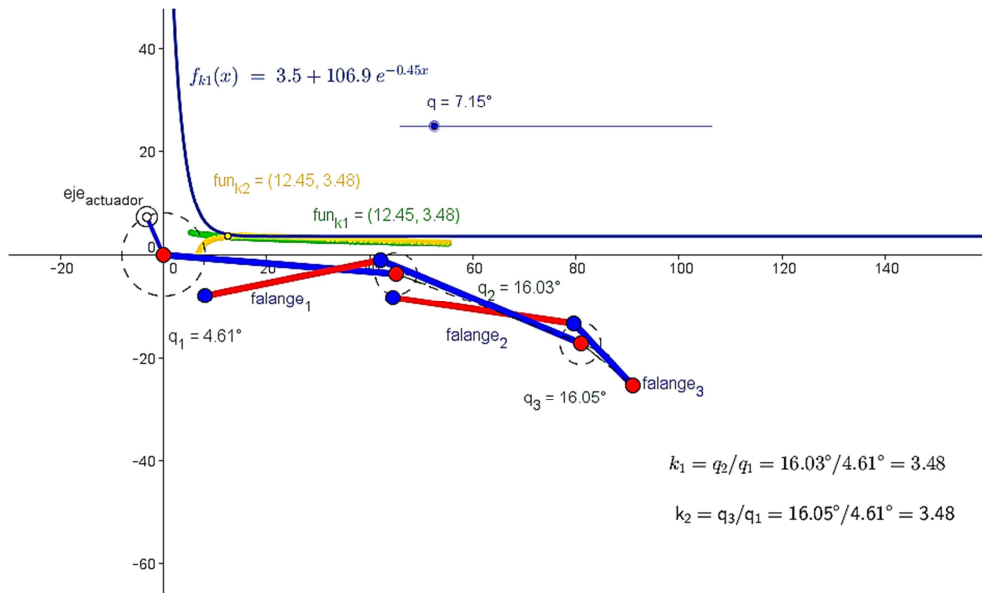


Fig. 7. Aproximación de las funciones exponenciales de la palanca 2 y 3 a una sola función exponencial.

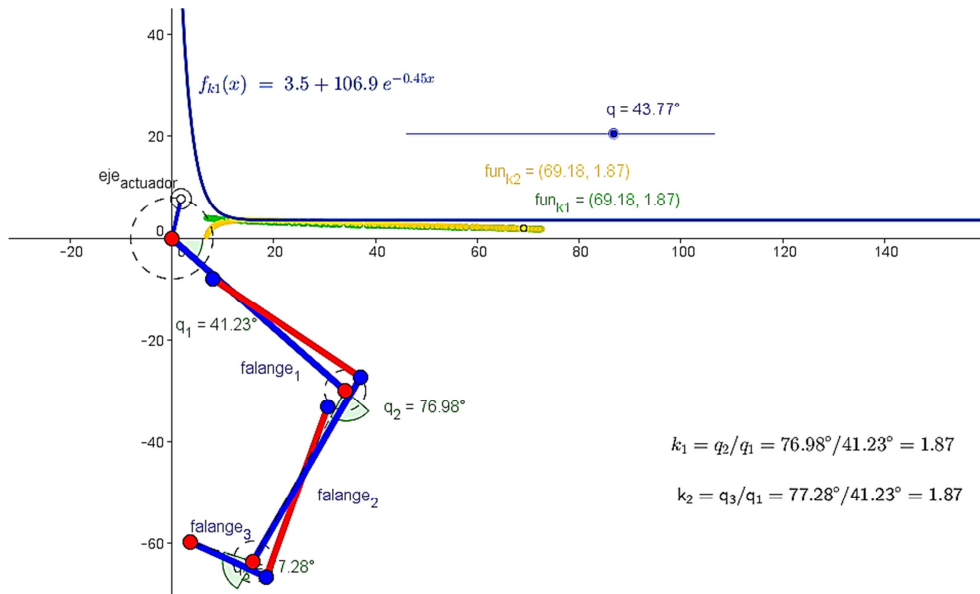


Fig. 8. Despliegue de los puntos para las funciones f_K de las palancas 2 y 3 con respecto a la palanca motriz.

La función exponencial encontrada, aún no es la deseada para describir y simplificar al sistema real mecánico-físico desde un punto de vista dinámico, esto quiere decir de

manera general, en lugar de modelar cada uno de los dedos como una cadena cinemática abierta de tres grados de libertad y un actuador en cada una de sus articulaciones, se propone la implementación de la síntesis de palancas para modelar al sistema como una cadena cinemática de tres articulaciones con 1 solo grado de libertad, introduciendo una relación funcional f_K , la cual, se desea expresar de la manera más simple, sin perder sus características funcionales descriptivas a medida de lo posible, por lo que se implementa el uso de métodos numéricos para la aproximación de una función lineal a la función exponencial encontrada (ver Fig. 9), que se obtendrá en función del eslabón de entrada o de actuación con el eslabón de salida de movimiento o efector para cada una de las articulaciones subsecuentes.

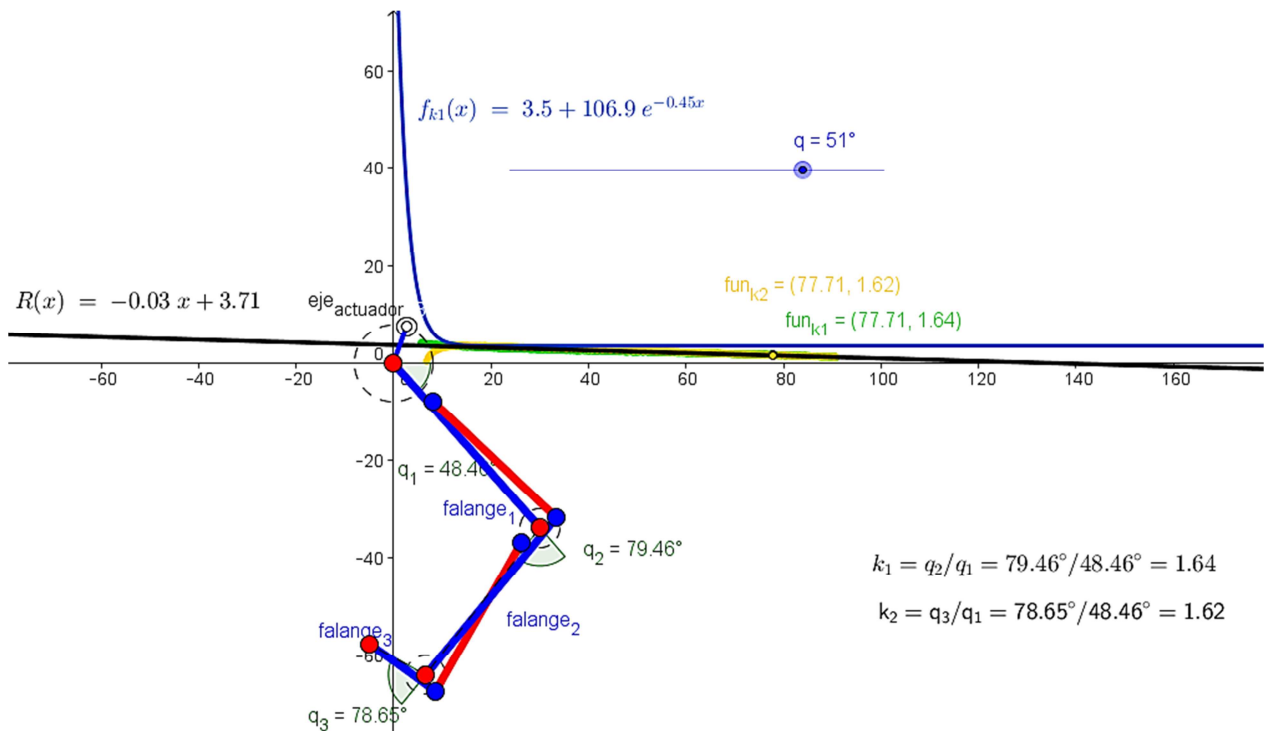


Fig. 9. Aproximación de la función lineal con respecto a la función exponencial descrita.

Sintetizando los rangos articulares, se encuentra la función lineal $R(x) = -0.03X + 3.71$, que permite describir los movimientos de salida para las palancas 2 y 3 con respecto a la 1 del elemento motriz de entrada, sin sacrificar la relación biomecánica como la

aproximación más cercana al área de trabajo del dedo índice, dada como una función exponencial representada por $f_{k1}(x) = 3.5 + 106.9e^{-0.45x}$.

3. Resultados

Se introduce el concepto de sistema sub-actuado para el diseño de los dedos secundarios de una mano robótica antropomórfica, mediante la transmisión y conversión del movimiento funcional a través de un solo actuador lineal, que como ya se demostró, le otorgará la facultad de movilidad al dedo en cada una de sus articulaciones con respecto a los puntos de apoyo o pivotes que conforman su arquitectura, esto en función de un sistema de palancas interconectadas entre sí, que conforman cada uno de las 3 falanges.

Al realizar la variación de las longitudes dadas para cada uno de los brazos de palanca y de resistencia con respecto a los puntos de apoyos o pivotes en relación a las barras que intervienen en la articulación de la palanca subsecuente, se encuentran las distancias reales biomecánicamente funcionales para la transmisión de acuerdo a la posición de los puntos de rotación o pivotes e interconexiones para la traslación de las palancas. Parámetros que permiten describir la trayectoria del punto final de la falange distal y el área de trabajo en los movimientos biomecánicos de flexión y extensión en relación a un dedo multi-articulado y sub-actuado por un sistema de palancas con la variación de un ángulo de entrada (ver Fig. 10).

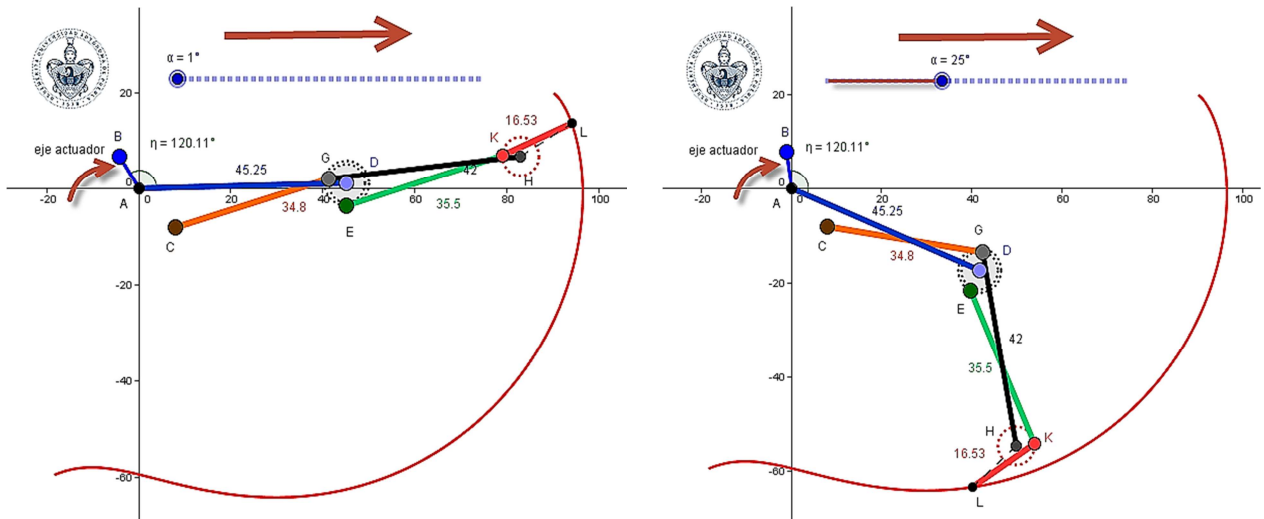


Fig. 10. Trayectoria de salida y área de trabajo del dedo artificial multi-articulado.

Esto significa que para lograr la función de apertura y cierre de cada uno de los dedos, se utiliza el actuador lineal como elemento motriz de entrada, mediante el cual, a través de la interconexión del vástago con el eslabón 1 del arreglo de palancas, se contempla el rango predefinido para la distancia total de cada una de las falanges del dedo articulado, tomando las distancia de los brazos de resistencia y sumándolos con los radios a los puntos de transmisión o brazos de palanca, encontrando así las distancias de las falanges del dedo índice que se describen (ver Tabla 1), exhibiendo el número de uniones por palanca, que logran transmitir el movimiento lineal y/o rotacional de entrada a los siguientes eslabones de la cadena cinemática o conjunto multi-articular.

Número de Palanca	Número de Uniones	Falange	Longitud total (cm)
1	4	Proximal	5.325
2	3	Media	4.223
3	2	Distal	1.71

Tabla 1. Puntos de uniones por palanca y longitudes de las falanges del dedo artificial.

Se verifica el comportamiento biomecánico de los rangos de movilidad para cada una de las articulaciones del dedo artificial; considerando la flexión de los cuatro segmentos de una cadena digital, conformada por un metacarpiano y tres falanges, se constata que ésta se lleva a cabo por enrollamiento a modo de la espiral dorada o logarítmica descrita por la trayectoria en negro (ver Fig. 11), como bien lo ha demostrado Littler, cirujano americano. Esta espiral, está construida en base al acoplamiento sucesivo de “Rectángulos de Oro”, denominados así porque la proporción entre su longitud y su anchura es de 1,618, nombrado el "Número de Oro", y que descende de la serie de Fibonacci [1].

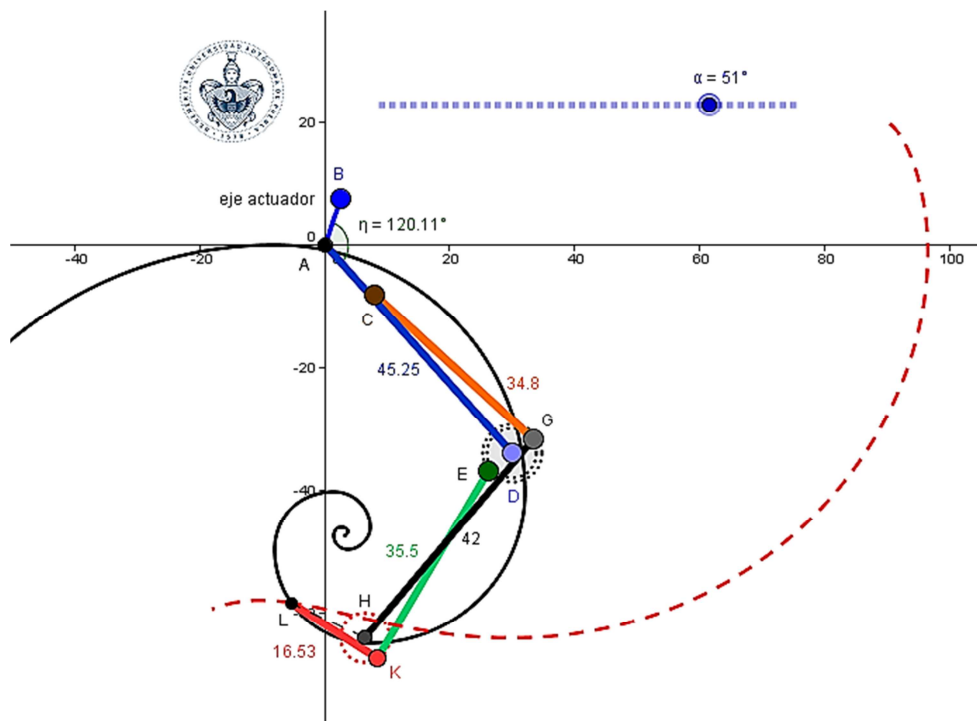


Fig. 11. Comparación biomecánica de la flexión en relación a la “espiral dorada”.

Para describir la cinemática directa del sistema propuesto, se parte del tomar como base la función lineal encontrada de la relación de posición que existe entre la palanca 2 con respecto a la palanca 1, así como la de la palanca 3 con respecto a la palanca 1, y que se demostró que satisface completamente la transferencia del movimiento lineal por medio del actuador lineal y el conjunto de palancas (ver Fig. 12)

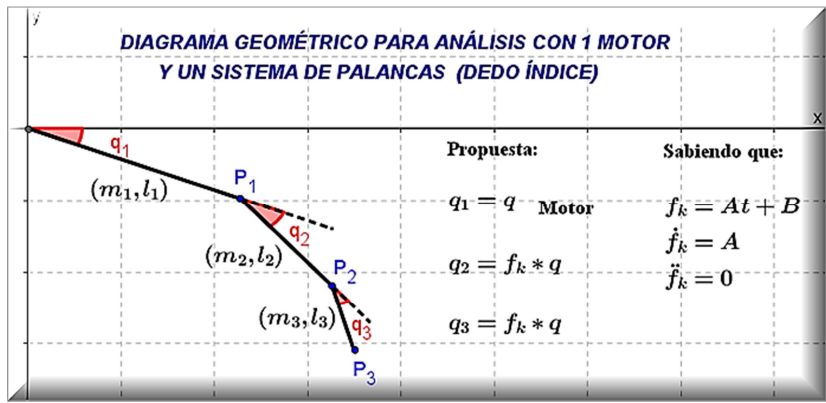


Fig. 12. Relación para el sistema sub-actuado de tres articulaciones y el actuador lineal.

Se propone la introducción de un ángulo de entrada para la palanca 1 vista como un eslabón en el caso del análisis en un robot manipulador, cuyo valor está dado por el actuador lineal conectado a la primera palanca para la transferencia del movimiento y a su vez la relación de la palanca 2 y 3 (eslabón 2 y 3) con respecto al de entrada o motriz, las cuales se describen a continuación:

$$q_1 = q \quad \text{Actuador} \quad (5)$$

$$q_2 = q * f_K \quad (6)$$

$$q_3 = q * f_K \quad (7)$$

Sabiendo que:

$$f_K = At + B = -0.03t + 3.71 \quad (8)$$

Se presenta la Cinemática Directa del Dedo con 3 Articulaciones, simplificando su descripción en términos del ángulo "q" de entrada, y la función "f_K" como la relación para el movimiento de sub-actuación del sistema de palancas propuesto:

$$P_1 = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \cos(q) \\ -l_1 \sin(q) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \cos(q) + l_2 \cos(q + q * f_K) \\ -l_1 \sin(q) - l_2 \sin(q + q * f_K) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \cos(q) + l_2 \cos(q + q * f_K) + l_3 \cos(q + 2 * q * f_K) \\ -l_1 \sin(q) - l_2 \sin(q + q * f_K) - l_3 \sin(q + 2 * q * f_K) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Determinados los parámetros para el sistema sub-actuado que describa biomecánicamente el comportamiento en la apertura y cierre del dedo humano, se propone el CAD del conjunto de falanges para la construcción de un dedo artificial robótico implementado con 3 articulaciones, lo equivalente a la incorporación de la síntesis de 3 palancas y el actuador lineal, cuyo movimiento en extensión corresponde a la posición funcional para la mano humana (ver Fig. 13). Y para el movimiento de flexión (ver Fig. 14), descrita como se demostró anteriormente por la relación de enrollamiento en función de la espiral dorada o logarítmica.

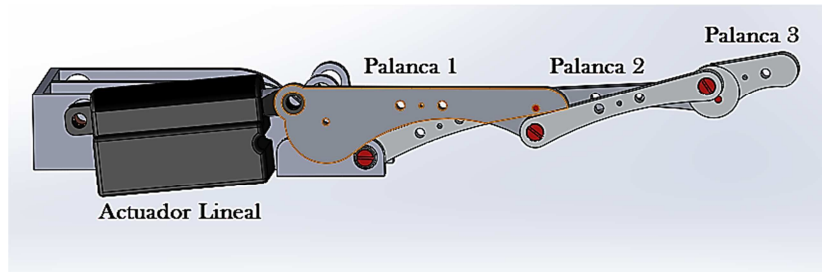


Fig. 13. CAD del dedo robótico en extensión y posición funcional en una mano.

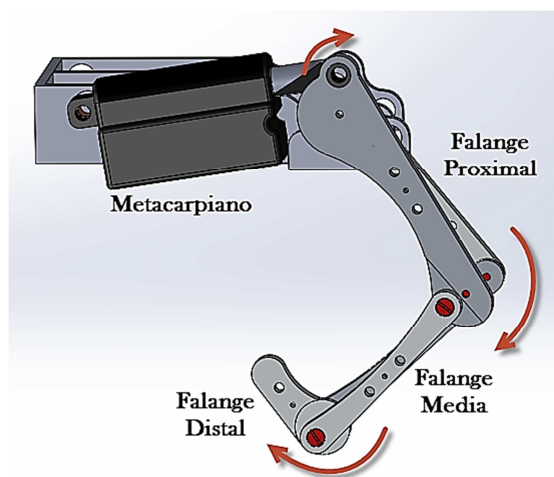


Fig. 14. CAD del dedo robótico en flexión en relación a la espiral logarítmica.

4. Discusión

Partiendo de los parámetros de la síntesis del sistema de palancas sub-actuadas para el dedo índice de una mano robótica, se otorga la capacidad de expansión y diseño para la construcción de los otros dedos, tomando como referencia las relaciones proporcionales de las palancas dependiendo al tamaño de los dedos restantes estéticamente y de manera funcional con respecto a su posición en la mano artificial.

Esto generaría un sistema de dedos multi-articulados con un actuador por dedo, lo cual, significaría una implementación a un menor costo, con una alta capacidad funcional y de alto grado de portabilidad; con posibilidades de integración al sector biomédico como propuesta de sistema protésico; así como de aplicación industrial, en el que se podría contemplar como efector final de sistemas robóticos manipuladores.

5. Conclusiones

Se ha demostrado la funcionalidad e impacto de la síntesis del sistema de palancas propuesto para la sub-actuación de un dedo artificial de 3 articulaciones, ya que biomecánicamente funciona en relación a la capacidad de los dedos humanos en los movimientos de extensión y flexión; para este último se verificó el comportamiento en

función de la espiral logarítmica, esto significa sencillamente, que las correlaciones de longitud de cuatro segmentos óseos que configuran a 3 articulaciones, en este caso el metacarpiano y los tres falanges, están en proporción adecuada. En la práctica e implementación de un dedo artificial robótico se tiene la condición para el buen enrollamiento de las falanges, a través del uso de palancas.

En la actualidad, existen pocos trabajos referentes a los sistemas sub-actuados para el movimiento de dedos multi-articulados en una mano robótica. Sin embargo, las manos artificiales comúnmente requieren el uso de actuadores voluminosos y sistemas de transmisión complejos, elementos que no concuerdan con las estrictas restricciones en peso y el tamaño para la generación de manos robóticas antropomórficas. Lo que enmarca el planteamiento de diseños desafiantes, evitando especificaciones conflictivas en el momento de la implementación, construcción y control, como el contemplado en esta propuesta de diseño de un dedo sub-actuado, que a menudo no pueden lograrse, sin utilizar un mayor número de recursos tecnológicos y económicos.

El sistema de mano sub-actuada es la solución intermedia entre las manos durante la manipulación y pinzas simples (control simple, pocos actuadores, tareas específicas). En una mano robótica sub-actuada, el número de actuadores es menor que el número de articulaciones y grados de libertad de la mano, razón por la cual, se ha convertido en un tema de estudio para los interesados en el control y síntesis de sistemas robóticos sub-actuados aplicados a la reproducción de la funcionalidad motriz y reproducción de los movimientos esenciales (funcionales) de la mano humana a reproducir por los sistemas robóticos en vías de desarrollo.

6. Referencias

- [1] A. I. Kapandji, *Fisiología Articular*. 6ª Edición. Tomo 1. 2006. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.

- [2] J. L. Pons, E. Recon, R. Ceres, D. Reynaerts, B. Saro, S. Levin, W. Van Moorleghem, "The manus-hand dextrous robotics upper limb prosthesis - mechanical and manipulation aspects". *Autonomous Robots*. No. 16. 2004. 143-163.
- [3] H. Cimadevilla, J. Herrera, "Diseño de un Sistema Articulado emulando el Movimiento de una Mano". Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Tesis de maestría. Cuernavaca, Morelos. Junio, 2006.
- [4] Y. Shin, H. Lee, K. Kim, "A Robot Finger Design Using a Dual-Mode Twisting Mechanism to Achieve High-Speed Motion and Large Grasping Force". *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS*. Vol. 28. No. 6. December 2012.
- [5] Y. Shin, K. Kim, "BLDC motor driven robot finger design using the sliding actuation principle". *IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*. No. 978-1-4244-6506-4/10. 2010.
- [6] Q. Zhan, R. Yang, "Design and Optimization of a Robotic Finger". *6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*. No. 978-1-4244-8756-1/11. 2011.
- [7] J. Zhao, L. Jiang, S. Shi, H. Cai, H. Liu, G. Hirzinger, "Five-fingered Underactuated Prosthetic Hand System". *International Conference on Mechatronics and Automation*. No. 1-4244-0466-5/06/. 2006. 1453-1458 pp.
- [8] H. Huang, L. Jiang, D.W. Zhao, J.D. Zhao, H.G. Cai, "The Development on a New Biomechatronic Prosthetic Hand Based on Under-actuated Mechanism". *International Conference on Intelligent Robots and Systems*. No. 1-4244-0259-X/06. 2006. 3791-3796 pp.
- [9] H. Liu, "Development of a Multi-DOF Anthropomorphic Prosthetic Hand". *International Conference on Robotics and Biomimetics*. No. 1-4244-0571-8/06. 2006. 878-883 pp.

- [10] M. Pérez Romero, A. T. Velázquez Sánchez, C. R. Torres San Miguel, L. Martínez Sáez, P. F. Huerta González, G. M. Urriolagoitia Calderón, "Sub-actuated anthropometric robotic prototype hand". *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* No. 65. Diciembre, 2012. 46-59 pp.
- [11] É. A. Portilla Flores, O. F. Avilés Sánchez, R. Piña Quintero, P. A. Niño Suárez, É. Moya Sánchez, M. A. Molina Vilches, "Análisis Cinemático y Diseño de un Mecanismo de Cuatro Barras para Falange Proximal de Dedo Antropomórfico". *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Vol. 20. No. 1. Bogotá. Junio de 2010. 45-59 pp.
- [12] É. A. Portilla Flores, O. F. Avilés Sánchez, R. Piña Quintero, P. A. Niño Suárez, "Diseño Óptimo de un Dedo tipo Antropomórfico". *IFMBE Proceedings*. Vol. 33. No. 201. 1276–1279 pp.
- [13] J. T. Belter, J. L. Segil, A. M. Dollar, R. F. Weir, "Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review". *J Rehabil Res Dev*. Vol. 50. No. 5. 2013. 599–618 pp.
- [14] V. Bundhoo, E. J. Park, "Design of an Artificial Muscle Actuated Finger towards Biomimetic Prosthetic Hands". PO BOX 3055 STN CSC. Victoria. No. 0-7803-9177-2/05. 2005. 368-375 pp.

7. Autores

Ing. Jesús Alberto Ordaz Rivera es Ingeniero en Mecatrónica por la Benemérita Universidad de Puebla. El objeto de su investigación es la "Instrumentación de Sistemas Mecatrónicos y Análisis Biomecánico". Actualmente se encuentra realizando sus estudios en el programa de Maestría en Ingeniería Electrónica, opción Instrumentación Electrónica, de la misma institución.

Dr. Emilio Miguel Soto García obtuvo su título de Doctor con especialidad en Ingeniería Biomédica por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, profesor investigador en la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, quien se encuentra en el área de investigación y desarrollo en "Sistemas Biomecánicos e Instrumentación Biomédica".

Dr. José Eligio Moisés Gutiérrez Arias obtuvo su título de Doctor en Ciencias Matemáticas por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. El objeto de su investigación es la “Modelación Matemática y el Análisis de Sistemas Dinámicos”. Es profesor Investigador Titular en la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y miembro del Sistema Nacional de Investigadores.