

Diseño e Implementación de una Plataforma Experimental de Mano Robótica

Design and Implementation of a Robot Hand Experimental Platform

Washington Caraguay, Marco Sotomayor, Miguel Alonso

Resumen—En el presente artículo, se describe el diseño e implementación de una plataforma experimental de mano robótica con la finalidad de crear un entorno real para pruebas de señales que hayan sido tratadas con diferentes técnicas aplicadas o dispositivos utilizados en la extracción de señales bioeléctricas. Mecánicamente la plataforma dispone de una mano de cinco grados de libertad, uno para cada dedo. El movimiento de cada dedo lo genera un servomotor, el mismo que recibe la señal desde una tarjeta multiplexora electrónica. La recepción de señales desde el exterior es tanto alámbrica como inalámbrica. Para comprobación del movimiento de manera individual de los dedos, se ha provisto de un joystick, un teclado y un dispositivo bluetooth. El movimiento de las articulaciones en cada dedo se logra al tensar un hilo nylon desde la polea ubicada en el eje del servomotor. Se utilizó señales PWM para la comprobación del movimiento de los dedos.

Abstract—In this article, we describe the design and implementation of an experimental robotic hand platform in order to create a real environment to tests signals that have been treated with different applied techniques or devices used in the extraction of bioelectrical signals. Mechanically the platform has a hand of 5 degrees of freedom, one for each finger. The movement of each finger is generated by a servomotor, which receives the signal from an electronic distribution board. The reception of signals from the outside is both wired and wireless. To check the individual movement of the fingers, a joystick, a keyboard and Bluetooth device have been provided. The movement of the joints on each finger is achieved by tightening a nylon thread from the pulley located on the servomotor shaft. PWM signals were used to check the movement of the fingers.

Index Terms—robotic hand, experimental platform, test signal, degrees of freedom, PWM signals.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación “Inclusión educativa y laboral de personas con capacidades especiales mediante la ayuda de Tecnología Asistiva, el mismo que es financiado por el Centro de Investigaciones de la Universidad Espíritu Santo-Ecuador.

Washington Caraguay, Universidad Espíritu Santo-Ecuador (e-mail: wcaraguay@uees.edu.ec).

Marco Sotomayor, Universidad Espíritu Santo-Ecuador (e-mail: mvinicio@uees.edu.ec).

Miguel Alonso, Universidad Espíritu Santo-Ecuador (e-mail: aalonso@uees.edu.ec).

En los últimos registros del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), en Ecuador se encuentran registradas 199.284 personas con discapacidad física [1]. Dentro de este grupo se encuentran aquellas personas que han sufrido amputaciones tanto de brazos como de manos. La imposibilidad que representa para una persona realizar acciones como tocar, dejar y recoger objetos, entre otras acciones es evidente debido a la falta del miembro superior. Sin embargo, del total de personas registradas, solamente 31.924 se encuentran incluidas laboralmente.

A nivel mundial, existen avances científicos considerables en el diseño de prótesis de manos robotizadas con la finalidad de lograr aprovechar señales bioeléctricas propias del cuerpo humano. Varios métodos para el control de las prótesis, así como diferentes enfoques en la obtención y tratamiento de las señales han sido considerados, entre los cuales se estudian algoritmos genéticos como entradas para un clasificador simple [2], y técnicas de visión por computador para controlar la posición del brazo [3]. Carozza et. al, propone movimientos de la mano controlados por los movimientos de los dedos del pie, demostrando una alta efectividad en el control [4]. Además, se ha investigado el uso de técnicas como Fast Orthogonal Search (FOS), para la estimación de la fuerza de la muñeca inducida por el codo por medio de señales EMG [5]. Castenelli et. al, 2008 aborda la fuerza necesaria que debería ser aplicada en el cierre de la mano, para lo cual aplica técnicas de machine learning tales como redes neuronales y support vector machine [6]. Harada et.al, 2010, discuten el diseño de una mano robótica, la cual utiliza redes neuronales para el reconocimiento de la operación de cada dedo, diferenciando como opera cada dedo de la mano de manera independiente [7]. Las manos robotizadas multiagarre son de gran interés en la comunidad científica y los esfuerzos en su desarrollo han logrado resultados satisfactorios [8], sin embargo la aparición de nuevos materiales y técnicas de inteligencia artificial, motivan a experimentar con diferentes enfoques.

En el Ecuador, varias universidades están contribuyendo con incrementar el estado del arte en el desarrollo de manos robotizadas. A continuación se exponen algunos desarrollos:

En los años 2009, en la Escuela Politécnica Nacional, se diseñó e implementó una mano robótica capaz de emular el movimiento de una mano humana, controlada por un guante con sensores a través de comandos desde un computador. La mano provista de cinco dedos, con tres grados de libertad cada

uno, emula los movimientos de flexión de los dedos, cuyas dimensiones son muy parecidas a las de una mano humana. Al guante de mando se le acoplaron quince sensores fotoeléctricos, uno en cada articulación que conforman los dedos de la mano humana. Se implementó un controlador PID para cada articulación, el mismo que toma los datos proporcionados por el guante o el computador, los compara con los valores de posición de la mano, ejecuta el algoritmo de control y un microcontrolador se encarga de transformar las señales a PWM. Pruebas realizadas mostraron que la diferencia entre el ángulo real de las articulaciones de los dedos y aquellas en las que se posiciona la mano robótica, difieren con un error de aproximadamente $\pm 1.55\%$ cuando es controlado por el guante, y ± 0.46 cuando es controlado por el computador [9].

En el año 2012, en la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Cuenca, se desarrolló un prototipo de mano robótica activada por señales electromiográficas (EMG). El prototipo dispone de 4 grados de libertad y consiste en el movimiento de 3 dedos y rotación de la muñeca, comandado por pulsos recibidos de señales EMG. Cada dedo tiene un sensor fuerza para controlar la presión ejercida por la mano sobre los objetos. Las pruebas de funcionalidad realizadas fueron exitosas. Sin embargo, el usuario debe aprender a coordinar sus movimientos [10]. En el año 2014, estudiantes de la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Técnica Particular de Loja, desarrollan el prototipo "Hand of Hope, Una mano de Esperanza", el mismo que trata de un Proyecto para reproducir prótesis de extremidades superiores a precios reducidos. La prótesis desarrollada hace uso de bioseñales para su control y fue confeccionada con biopolímeros plásticos [11]. Al año siguiente, la Escuela Superior Politécnica del Ejército, diseña una prótesis biónica de mano derecha de siete grados de libertad, utilizando materiales inteligentes y control mioeléctrico, adaptada para varios patrones de sujeción. El objetivo principal de este proyecto era permitir realizar movimientos básicos de agarre para la ejecución de tareas cotidianas a una persona con amputación transradial debajo del codo.

Mediante el análisis de la biomecánica de la mano humana se determina sus parámetros principales, los cuales son utilizados para el diseño de la estructura mecánica del dispositivo, asegurando el desempeño funcional al simular los movimientos naturales de la mano [12]. Posteriormente, se le aplicaron algoritmos de control y se realizaron pruebas de movimiento, carga, agarre y presión, validando el modelo mediante pruebas estadísticas de independencia de Chi cuadrado [13]. En el mismo año, la Universidad Católica de Cuenca en conjunto con la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación dentro del marco del Proyecto Prometeo, desarrollaron una prótesis biomecánica de mano derecho para niños mayores de ocho años y adolescentes.

Con un peso de hasta 200 gramos, el dispositivo protésico funciona con un sistema de reconocimiento de voz que permite realizar tres funciones importantes: presión cilíndrica, pinza fina y la extensión del índice para permitir el contacto con pantallas táctiles. Morfológicamente emula una palma de mano articulada a sus cinco dedos, trabaja con unas barras de

mecanismo lateral que permiten realizar las funciones de flexión y extensión de todos los dedos de acuerdo a los ángulos naturales de la mano, exceptuando el pulgar. No utilizan resortes ni hilos de tensión, reduciendo su peso significativamente [14].

En el año 2016, en la Universidad Técnica del Norte, como trabajo de titulación se presenta la construcción de una mano robótica enfocado al control de movimiento de los dedos. En este trabajo, se analiza la sujeción de forma puntual o pinza entre pulgar e índice, y apertura y cierre total de la mano. Se planteó un diseño con apariencias aproximadas a una mano real. El movimiento de los dedos se hace a través de hilos que hacen la función de tendones. El control total de la estructura se realiza a través de un guante, que contiene tres sensores de flexión para emular el movimiento del pulgar, el dedo índice y tres dedos restantes. Además contiene un acelerómetro que simula el movimiento de pronosupinación de la muñeca. Así la estructura ejecuta el mismo movimiento que realiza el guante [15].

Con el marco referencial expuesto, el presente trabajo es un módulo del Proyecto de Investigación "Desarrollo de Tecnología Asistiva para la Inclusión Laboral y Educativa de personas con Capacidades Especiales", cuyo objetivo es utilizar diferentes técnicas en el tratamiento de señales bioeléctricas y a su vez desarrollo de dispositivos como prototipos de brazos o manos robóticas. Por tanto, se propone el diseño de un banco de pruebas experimental de mano robótica de carácter multifuncional y mecánicamente desacoplada entre sus dedos pero acopladas entre sus falanges, generando un entorno real de comprobación de señales que hayan sido filtradas previamente y así contribuir con el estado del arte de la tecnología asistiva en el tratamiento de señales aplicadas a prótesis de mano robotizadas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En [16], se sostiene que las simulaciones son importantes durante las primeras etapas del diseño de algoritmos de control. Sin embargo, los estudios de simulación generalmente son incompletos debido a que se desprecian aspectos prácticos, de ahí que los resultados de simulación sean de valor limitado. Por otro lado, la validación experimental de algoritmos de control de señales, asegura su éxito potencial en el mundo real de las aplicaciones.

A. Estructura de la Plataforma Experimental de Mano Robótica

Estructuralmente, La plataforma experimental se compone de cuatro módulos: mando, control, el prototipo mecánico de mano y un regulador de voltaje. En el módulo de mando se dispone de 3 modos: un Joystick para pruebas independientes de abre y cierre de la mano, una tarjeta electrónica Bluetooth para la recepción de señales inalámbricas que provienen de dispositivos móviles y un banco de pulsadores para el movimiento desacoplado de cada dedo. También se dispone de un switch selector del modo a considerar.

El módulo de control consta de un dispositivo programable que multiplexa cada una de las señales recibidas direccionando hacia los respectivos servos, este microcontrolador puede ser remplazado fácilmente y

reprogramado en tareas de acondicionamiento de señales. El prototipo mecánico de mano robótica recibe las respectivas señales desde los servos y dependiendo de la anchura del pulso de la señal PWM entregada a los servos, ejecuta el movimiento de los dedos. Para su funcionamiento la plataforma experimental de Mano Robótica dispone de voltajes regulados de +5 Vcc., y +6.5Vcc. El diagrama funcional de bloques, se muestra en la Fig. 1.

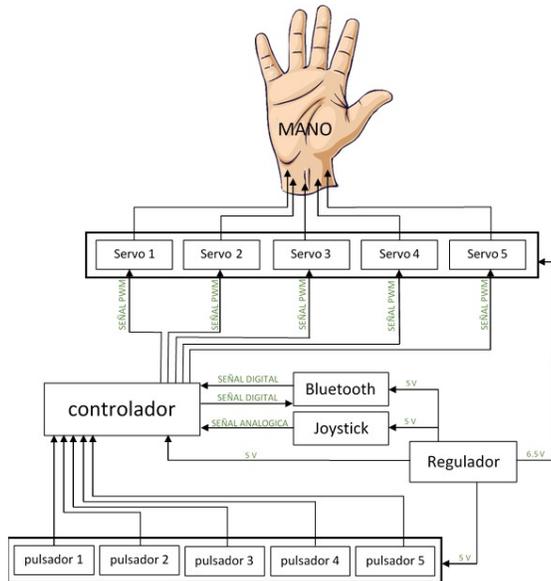


Fig. 1. Diagrama funcional de bloques de la Plataforma Experimental de Mano Robótica.

Morfológicamente, el prototipo de mano, consiste de cinco servomotores, uno para cada dedo y para la transmisión de movimiento para cada una de las articulaciones de los dedos, se hacen uso de hilos que hacen las veces de tendones. Cada dedo se compone de tres eslabones seriales, los mismos que se mueven conforme lo hace el servomotor ubicado en la base de la plataforma.

Se utilizó la impresión 3D para el desarrollo del prototipo de mano, el material que se utilizó para su fabricación es plástico ABS. La Fig. 2, muestra la plataforma implementada.

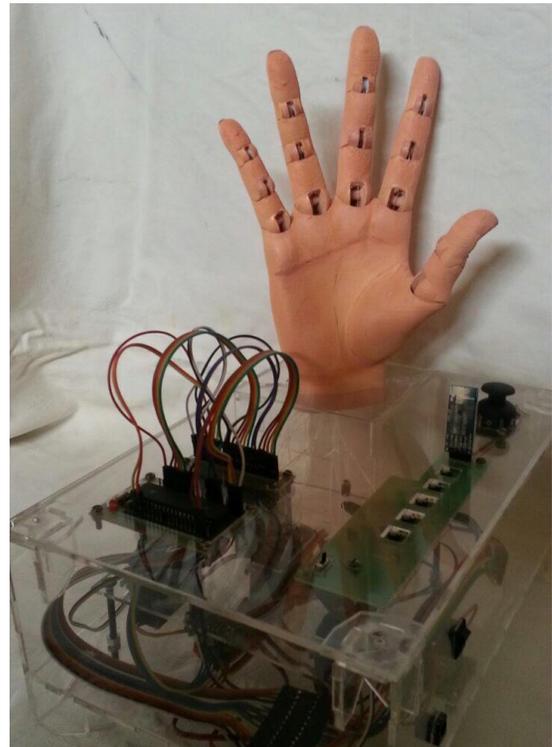


Fig. 2. Plataforma Experimental de Mano Robótica.

B. Modelo Cinemático del prototipo de mano robótica

Con fines de lograr la predicción y reproducción del comportamiento de la mano en su movimiento, se ha desarrollado haciendo uso del software MATLAB una simulación, para lo cual se requiere de conocer el modelo exacto del sistema. A continuación se describe la metodología utilizada.

En [16], [17], [18], concuerdan que para resolver el modelo cinemático de un robot manipulador existen dos problemas fundamentales: el modelo cinemático directo y el modelo cinemático inverso. Por otra parte la cinemática trata de relacionar las velocidades del movimiento de las articulaciones y las del extremo, esta relación se conoce como modelo diferencial representado por la matriz Jacobiana. El prototipo de mano que dispone la plataforma experimental, se compone de cinco dedos o miembros, cuatro de ellos poseen tres eslabones seriales, a diferencia del pulgar que solo tiene dos. Todos ellos de configuración articular Rotacional-Rotacional-Rotacional (RRR) y muy semejantes a un robot manipulador serial. Es de mencionar que el funcionamiento biomecánico de cada uno de los dedos de la mano es similar a un robot manipulador serial con características fuertemente desacopladas entre ellos y acoplados entre sus falanges. Por tanto, se expone el análisis cinemático de un miembro de tres eslabones seriales con tres articulaciones. La Fig. 3, expone el esquema de uno de los dedos del prototipo.

La solución al problema cinemático directo está dado por relaciones matemáticas (1), que permiten conocer cuál es la posición y orientación que adopta el extremo o la punta del dedo, cuando cada una de las variables que fijan la posición u orientación de sus articulaciones toma valores determinados.

$$\begin{aligned}
 x &= f_x(q_1, q_2, q_3). \\
 y &= f_y(q_1, q_2, q_3). \\
 z &= f_z(q_1, q_2, q_3). \\
 \phi &= f_\alpha(q_1, q_2, q_3). \\
 \theta &= f_\beta(q_1, q_2, q_3). \\
 \psi &= f_\gamma(q_1, q_2, q_3).
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

Para representar la posición y orientación se ha considerado coordenadas cartesianas (x, y, z) y ángulos de Euler (ϕ, θ, ψ) . Donde q_1, q_2, q_3 , son los desplazamientos angulares de las articulaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

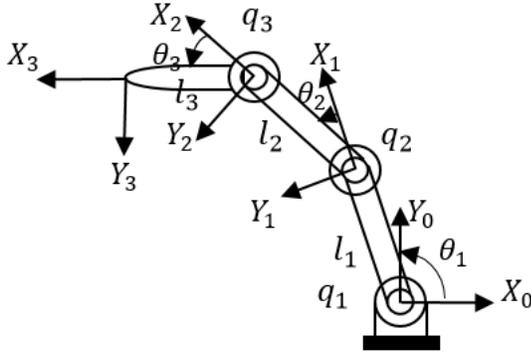


Fig. 3. Esquema de uno de los dedos de tres eslabones seriales del prototipo

Para resolver el problema cinemático directo del prototipo de mano, se ha hecho uso de la representación Denavith – Hartenberg (DH), [19], [20], [21], [17]. Donde las siguientes relaciones para una sucesión de rotaciones y traslaciones, permiten relacionar el sistema de referencia $i-1$ con el sistema del elemento i :

- i. Rotación alrededor del eje z_{i-1} un ángulo θ_i .
- ii. Traslación a lo largo de z_{i-1} una distancia d_i .
- iii. Traslación a lo largo de x_i una distancia a_i .
- iv. Rotación alrededor del eje x_i un ángulo α_i .

Los cuatro parámetros $(\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i)$, dependen solo de las características geométricas de cada eslabón y de las articulaciones que le unen con el anterior y siguiente, como muestra la Fig.4. Una vez determinados los parámetros DH, las matrices de transformación homogénea permiten una representación conjunta de la posición y orientación. La relación entre matrices de transformación homogénea y el método DH está determinada por (2):

$${}^{i-1}A_i = Rot_z(\theta_i)T(0,0,d_i)T(a_i,0,0)Rot_x(\alpha_i). \quad (2)$$

Desarrollando las operaciones matriciales correspondientes se obtiene la expresión matricial (3), que permite calcular las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot de manera inmediata.

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3).$$

Aplicando el método DH a uno de los dedos del prototipo de mano, que muestra la Fig. 3, se obtiene los parámetros expuestos en la Tabla 1.

Considerando los parámetros DH y la ecuación (2) y (3) se logra la matriz de transformación homogénea (4) que relaciona la base del robot con el extremo final del dedo, resolviendo completamente el problema de la cinemática directa del dedo.

$${}^0A_3 = \begin{bmatrix} C\theta_{123} & -S\theta_{123} & 0 & l_1C\theta_1 + l_2C\theta_{12} + l_3C\theta_{123} \\ S\theta_{123} & C\theta_{123} & 0 & l_1S\theta_1 + l_2S\theta_{12} + l_3S\theta_{123} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Tabla 1. Parámetros obtenidos al aplicar el método Denavith-Hartenberg.

q_i	θ_i	d_i	a_i	α_i
q_1	θ_1	0	l_1	0
q_2	θ_2	0	l_2	0
q_3	θ_3	0	l_3	0

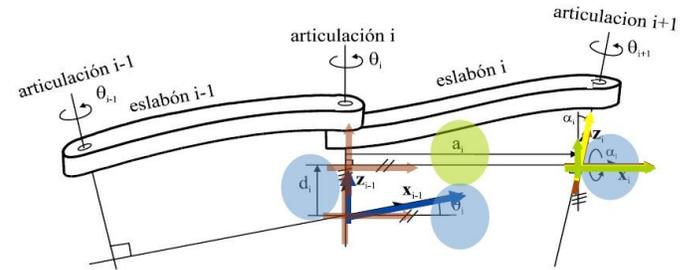


Fig. 4. Parámetros de Denavith – Hartenberg para un eslabón rotacional, [22].

Donde el vector de posición final para el extremo del dedo, queda identificado por (5).

$$\begin{aligned}
 p_x &= l_1C\theta_1 + l_2C\theta_{12} + l_3C\theta_{123} \\
 p_y &= l_1S\theta_1 + l_2S\theta_{12} + l_3S\theta_{123} \\
 p_z &= 0
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

Una vez que se ha determinado el modelo cinemático directo, se determina el modelo cinemático inverso del dedo de la plataforma experimental, con base en la siguiente relación (6).

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \end{bmatrix} = f^{-1}(x, y, z, \phi, \theta, \psi). \quad (6)$$

Con base en la geometría del miembro en análisis, las ecuaciones (7) y (8), dan solución al problema cinemático inverso.

$$k = \frac{p_x^2 + p_y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}$$

$$\theta_2 = \text{Cos}^{-1} k \quad (7)$$

$$C\theta_1 = \frac{p_x(l_1 + l_2C\theta_2) + p_y l_2 S\theta_2}{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2C\theta_2}$$

$$S\theta_1 = \frac{-p_x l_2 S\theta_2 + p_y(l_1 + l_2C\theta_2)}{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2C\theta_2}$$

$$\theta_1 = \text{Atan2}(S\theta_1, C\theta_1) \quad (8)$$

La orientación del extremo del dedo queda definido por (9):

$$\varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (9)$$

A partir de la información contenida en las matrices de transformación homogénea, que definen el modelo cinemático, se obtiene la Jacobiana "J", (10) y (11), utilizando el método de propagación de velocidades, muy común en [17], [18].

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$J = [J_1 \quad J_2 \quad J_3] \quad (11)$$

Dónde:

$$J_1 = \begin{bmatrix} -(l_1 S\theta_1 + l_2 S\theta_{12} + l_3 S\theta_{123}) \\ (l_1 C\theta_1 + l_2 C\theta_{12} + l_3 C\theta_{123}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} -(l_2 S\theta_{12} + l_3 S\theta_{123}) \\ (l_2 C\theta_{12} + l_3 C\theta_{123}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$J_3 = \begin{bmatrix} -(l_3 S\theta_{123}) \\ l_3 C\theta_{123} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Físicamente, cada columna de J representa la dirección del vector velocidad tanto lineal como angular del extremo originado por el giro de su correspondiente articulación.

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El prototipo de mano robótica fue sometido a pruebas de funcionalidad mediante señales PWM, evidenciando el movimiento de los dedos, como también el abre y cierre de la mano, como muestra la Fig. 5. Mediante una aplicación móvil se comprobó la funcionalidad del módulo inalámbrico en la

transmisión y recepción de señales de prueba así como la respuesta en el movimiento de los dedos y falanges.



Fig. 5. Pruebas de Funcionalidad de Mano Robótica.

Los modelos matemáticos expuestos fueron simulados. La Fig. 6 muestra la simulación de la cinemática directa de uno de los dedos del prototipo.

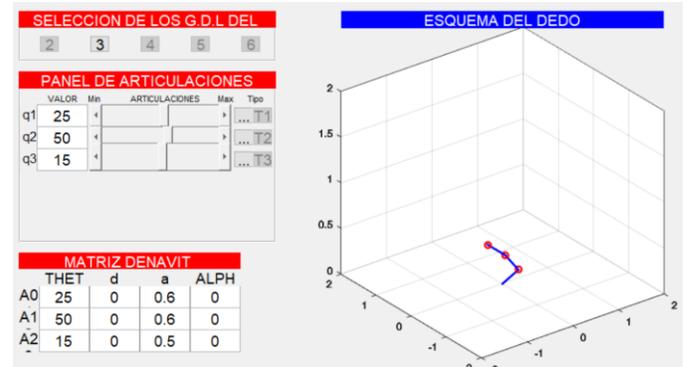


Fig. 6. Simulación de la Cinemática Directa de un dedo de la Plataforma Experimental de Mano Robótica.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el presente trabajo se diseñó e implementó una plataforma experimental de mano robótica cuyo objetivo es servir como banco de pruebas de arquitectura abierta para futuras investigaciones en el tratamiento de señales bioeléctricas, sean estas electromiográficas o electroencefalográficas. Para este propósito se implementaron cuatro módulos: una interfaz de mando, un módulo de control, el prototipo mecánico de mano y la regulación de voltaje. El

sistema dispone de un Joystick para pruebas de abre y cierre de la mano, una tarjeta electrónica Bluetooth para la recepción de señales inalámbricas y un banco de pulsadores para el movimiento individual de cada dedo. Los resultados demuestran que la plataforma de mano robótica exhibe la funcionalidad esperada, comprobándose el movimiento de las articulaciones de cada dedo y el abre y cierre de la mano. En trabajos futuros es deseable comprobar esquemas de control basados en técnicas de machine learning o redes neuronales que identifiquen señales o expresiones corporales que sean reproducidas en un entorno real.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, «INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD LABORALMENTE ACTIVAS,» 17 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html> . [Último acceso: Septiembre 2017].
- [2] D. Peleg, E. Braiman, E. Yom-Tov y G. Inbar, «Clasificación de Finger Activation for Use in a Robotic Prosthesis Arm,» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 10, n° 4, pp. 290-293, 2002.
- [3] D. Hann, D. Kuschner y Y.-f. Wang, «Upper Limb Position Sensing: A Machine Vision Approach,» de *2nd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, Arlington, Virginia, 2005.
- [4] M. C. Carroza, A. Persichetti, C. Laschi, F. Vecchi, R. Lazzarini, V. Tamburrelli, P. Vacalebri y P. Darfo, «A Novel Wearable Interface for Robotic Hand Prostheses,» de *9th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Chicago, Illinois, 2005.
- [5] F. Mobasser, J. M. Eklund y K. Hashtrudi-Zaad, «Estimation of Elbow-Induced Wrist Force With EMG,» *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, vol. 54, n° 4, pp. 683-693, 2007.
- [6] C. Castellini, P. Van der Smagt y G. Hirzinger, «Surface EMG for Force Control of Mechanical Hands,» de *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Pasadena, California, 2008.
- [7] A. Harada, T. Nakakuki, M. Hikita y C. Ishii, «Robot Finger Design for Myoelectric Prosthetic Hand and,» de *International Conference on Automation and Logistics*, Hong Kong and Macau, 2010.
- [8] J. T. Belter, M. T. Leddy y K. D. Gemmell Jr., «Comparative Clinical Evaluation of the Yale Multigrasp Hand,» de *6th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, UTown, Singapore, 2016.
- [9] D. I. Pilaquinga, «Diseño y Construcción de una Mano Robótica Controlada Mediante un Guante Sensorizado,» Quito, 2009.
- [10] J. Collahuazo y E. Ordoñez, «Design and Construction of a Robot Hand Activated by Electromyographic Signals,» de *2012 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments*, 2012.
- [11] C. A. Calderón Córdova, «Una Mano de Esperanza para Todos,» *Perspectivas de Investigación*, vol. 1, n° 1, p. 3, 2014.
- [12] M. B. Monar Naranjo y L. A. Murillo Mantilla, «Diseño y Construcción de una Prótesis Biónica de Mano de 7 Grados de Libertad Utilizando Materiales Inteligentes y Control Mioeléctrico Adaptada para Varios Patrones de Sujeción,» Latacunga, 2015.
- [13] D. F. Morales Reinoso, «Diseño e Implementación del Sistema de Control de una Prótesis Biónica de 7 Grados de Libertad Utilizando Materiales Inteligentes y Control Mioeléctrico Adaptada para varios Patrones de Sujeción,» Latacunga, 2016.
- [14] B. Gámez, C. Flores, F. Cabrera y J. Cabrera, «Design of a biomechanics prosthesis for child,» *Ingeniería UC*, vol. 23, n° 1, pp. 58-66, 2016.
- [15] H. Pozo, «Construcción de una Mano Robótica Enfocada al Movimiento de los Dedos,» Trabajo de Titulación, Ibarra, Ecuador, 2016.
- [16] F. Reyes Cortez, *Robótica. Control de Robots Manipuladores*, C.V. México: Alfa/Marcombo, 2011.
- [17] A. Barrientos, L. Peñín y C. Balaguer, *Fundamentos de Robótica*, Madrid, España: Mc Graw-Hill, 2007.
- [18] L.-W. T. Tsai, *Robot Analysis*, New York: John Wiley, 1999.
- [19] J. Denavit y R. Hartenberg, «A kinematic notation for lower-pair mechanisms,» *ASME Journal of Applied Mechanics*, n° 1955, pp. 215-221, 1955.
- [20] R. Paul, *Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control*, Massachusetts: The MIT Press, 1981.
- [21] J. Craig, *Robótica*, México: Prentice Hall, 2006.
- [22] F. Reyes y R. Kelly., «On parameter identification of robot manipulators,» de *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, Albuquerque, New Mexico, 1997.



Washington Caraguay, es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones por la Escuela Superior Politécnica del Litoral y Máster en Automática y Robótica por la Universidad Politécnica de Madrid. Con una reconocida y demostrada trayectoria técnica, académica y científica en Instituciones de Educación Superior. Actualmente, se desempeña como Profesor de Física y Robótica en la Facultad de Ingeniería en Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Espíritu Santo, Ecuador. Colabora con el Centro de Investigaciones de la UQEEES como Director del Proyecto: Inclusión Educativa y Laboral de Personas con Discapacidad Visual, Auditiva y Motriz en las Extremidades Superiores mediante el Diseño y Aplicación de Tecnología Asistiva. Como compensación y agradecimientos a la vida, comparte su tiempo en actividades de enseñanza y capacitación los fines de semana impartiendo cursos de formación técnica en Robótica y Nuevas Tecnologías.



Marco Sotomayor Sánchez, es Máster en Tecnologías de la Información por la Universidad de Griffith, Australia. Ha sido miembro del equipo de investigación del Departamento de Inteligencia Artificial y

Tecnologías Semánticas de la Escuela de Tecnologías de la Información y Comunicación de la Universidad de Griffith bajo la dirección del matemático Dr. Kewen Wang, autoridad en áreas de Inteligencia Artificial como razonamiento monotónico y Web Semántica. Ha colaborado en CSIRO, agencia del gobierno de Australia para investigación científica, en el Departamento de e-Health, bajo la supervisión del Dr. Michael Lawley, en el proyecto de estudio de modularidad en ontologías médicas, en particular SNOMED CT. Actualmente se desempeña como Profesor y Director del proyecto de investigación “Framework de análisis geoespacial predictivo de patrones criminales”.



Miguel Alonso es estudiante de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones en la Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Actualmente, se encuentra desarrollando el proyecto de titulación: “Diseño e Implementación de Plataforma experimental de mano robótica” el mismo que busca contribuir a

las tecnologías inclusivas de las problemáticas sociales de movilidad y pérdida de miembros superiores. Como parte de los puntales de su vida es instructor y facilitador en temas de tecnología, programas ofimáticos y redes de datos en centros de capacitación.

