

Diseño e implementación de una prótesis de mano robótica antropomórfica subactuada

Design and implementation of an anthropomorphic robotic hand prosthesis underactuated

Ruthber Rodríguez Serrezuela*¹ Jorge Luis Aroca Trujillo¹, Daniel Ricardo Delgado², Viviana Katherine Ordoñez Benavides¹, Roberto Sagaro Zamora³ and Enrique Marañón Reyes⁴

¹ Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria del Huila, CORHUILA, Colombia

² Ingeniería Industrial, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia

³ Departamento de Mecánica y Diseño (MyD), Tribology Group, Universidad de Oriente, Cuba

⁴ Centro de Estudios de Neurociencias y Procesamiento de Imágenes y Señales, Universidad de Oriente, Cuba
ruthber.rodriguez@corhuila.edu.co

RESUMEN– El proyecto de investigación es orientado a construir un prototipo de mano robótica subactuada antropomórfica, la cual fue diseñada empleando Solidwork para plasmar cada una de las fracciones mecánicas de la mano como son la palma, la muñeca y las falanges entre otras, que permitiera efectuar distintos modelos de posturas, agarre o movimientos semejantes al de una mano humana. Así mismo, se ha desarrollado una interfaz entre LabView y Arduino para realizar el control de los cinco (5) servos que forman el mecanismo subactuado, logrando movimientos de las falanges mediante la rotación en su eje los cuales cuentan con tendones como mecanismo de transmisión para realizar las diferentes posturas de agarre o posturas planteadas. El artículo describe la obtención de los parámetros de Denavit-Hartenberg del prototipo de prótesis robótica mediante los cuales se implementa en el software Labview como interfaz de usuario. Se desarrolla el hardware mediante el cual se controlan los servos por intermedio del microcontrolador ATmega32U4. Por último, se implementan diferentes posturas de agarre de objetos similar a las posturas realizadas por la mano humana.

Palabras claves– Antropomórfica, articulación, interfaz, mano robótica, prótesis, subactuado, tendones.

ABSTRACT– Our research project is oriented to build a prototype of an anthropomorphic subgrade robot hand, which was designed using Solidwork to capture each of the mechanical fractions of the hand such as the palm, wrist and phalanges, among others, that would allow different models of postures, grasp or movements similar to that of a human hand. Likewise, an interface has been developed between LabView and Arduino to perform the control of the five (5) servos that form the under-mechanism, achieving phalangeal movements by rotating on its axis, which have tendons as the transmission mechanism for Carry out the different positions of grasp or positions posed. Our article describes the obtaining of the parameters of Denavit-Hartenberg of the prototype of robotic prosthesis by means of which it is implemented in Labview software as a user interface. The hardware is developed through which the servos are controlled through the ATmega32U4 microcontroller. Finally, different positions of grasp of objects are developed similar to the positions made by the human hand.

Keywords– Anthropomorphic, articulation, interface, robotic hand, prosthesis, underacted, tendons.

1. Introducción

La mano es un órgano que conforma las extremidades del cuerpo humano para la manipulación Física del medio, la cual se encuentra en los extremos de los antebrazos. Permite realizar ciertos trabajos como tomar y maniobrar un objeto, la comunicación por medio de gestos y no solo en individuos que usan el lenguaje de señas, por otro lado, las personas que tienen discapacidad

visual las manos serian una herramienta muy útil para hacer uso del sistema Braille [1].

Día a día en cualquier parte del mundo se encuentran casos en que el ser humano está expuesto a sufrir mutilaciones debido a los accidentes de trabajo, conflictos, enfermedades y malformaciones que generan amputaciones [2]. Estas situaciones traen como secuela que la pérdida de manos que genera la reducción de su capacidad para realizar distintas funciones debido a que

una gran parte de su habilidad se reduce a la hora de agarrar y maniobrar objetos específicos. Igualmente, generando incomunicación gestual y visual, es decir las personas que sufren de discapacidad a la hora de ver y hablar [3].

Para este problema la solución viable es la implementación de una prótesis (Figura 1), siendo esta, un instrumento que permite reemplazar el miembro carente. Esta prótesis es desarrollada con el objetivo de reemplazar una parte, una función o un miembro completo del cuerpo humano alterado. Permitiendo al afectado recuperar parte de la movilidad, el funcionamiento, el aspecto y el agarre.

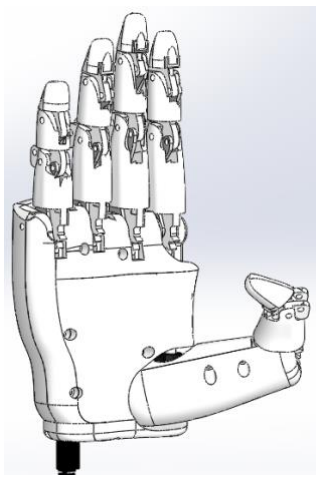


Figura 1. Diseño de la mano subactuada antropomórfica en Solidworks. Autor.

Los principales aportes en el tema de manos robóticas son Stanford/JPL [4], la mano Utah/MIT [5], la mano TUAT/Karlsruhe [6], la mano Robonaut 2 [7], la mano DLR [8], la mano Metamorphic Hand [9], entre otras más. Se caracterizan por complejos sistemas que emulan la mano humana y que son gobernadas por un computador.

Las prótesis para amputados de mano desarrolladas en su gran mayoría de pinzas con uno o dos grados de libertad, proporcionando una funcionalidad muy limitada. También existen desarrollos con mayor funcionalidad, obviamente más costos que permiten realizar diversas posturas y agarres de objetos hasta su manipulación parcial. Algunos de estos ejemplos de estas prótesis son: Sensor hand speed w/Flex [10], Vicent hand, iLimb hand, BeBionic hand, Michelangelo hand, entre otras [11] [12] [13] [14]. En este artículo está dividido en la presentación de la metodología empleada

en el diseño, los materiales utilizados, los resultados obtenidos y las conclusiones que hemos realizados en el desarrollo de nuestra investigación.

2. Materiales y diseño ingenieril

2.1 Materiales

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron materiales como motores D.C., tarjeta Arduino Uno, nylon de poliácido láctico (PLA) para reemplazar el material acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), conectores y cableado eléctricos, tornillos, entre otros. En el caso del software, se usó Solidwork para el diseño de la prótesis y LabView para el sistema de control y algoritmos de trayectorias.

2.2 Diseño ingenieril

Una vez realizado la revisión bibliográfica de prótesis de manos robóticas antropomórficas subactuadas, se desarrolla la perspectiva teórica basada en los mecanismos de cuatro barras. Para ello se diseña el prototipo de mano en Solidwork y se construye las piezas en la impresora Ultimaker 3.

Para generar los algoritmos generadores de trayectorias, se desarrolla la programación en LabVIEW. Este se interconecta con la tarjeta embebida Arduino, el cual a su vez tiene la función de generar las ordenes de control de los motores DC.

Para lograr el correcto movimiento y por ende, el correcto funcionamiento del sistema, se realiza el análisis matemático de la cinemática directa e inversa de la mano en su totalidad. Así mismo, se genera simulaciones en Matlab para encontrar el volumen de trabajo del sistema, y para validar el movimiento de cada una de las articulaciones de los dedos.

3. Geometría de la mano robótica subactuada antropomórfica

En esta parte precisaremos la composición física de cualquiera de los dedos excepto el pulgar ya que para los dedos índice, medio, anular y meñique se puede generalizar los resultados porque solo cambian los tamaños de sus eslabones (L).

$${}^{i-1}A_i = \begin{pmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \cdot \sin\theta_i & \sin\alpha_i \cdot \sin\theta_i & \alpha_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cdot \cos\theta_i & \alpha_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

En la Figura 2, se mostrará el plano con su respectivas disposicion de los ejes de analisis y sus caracteristicas fisicas.

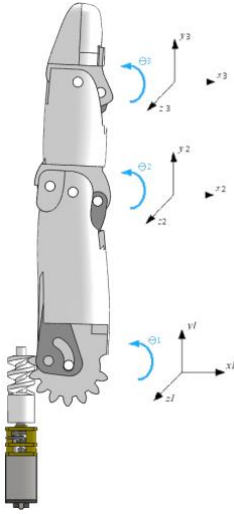


Figura 2. Dedo subactuado antropomórfico: Autor

Una vez determinada la geometría del dedo, se realiza el análisis cinemático de este mismo.

3.1. Cinemática Directa

Se establece cuál es la posición y la ubicación del extremo final del dedo, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, ya sabiendo previamente los parámetros geométricos.

Existen diferentes formas de solucionar este sistema, pero en este caso haremos uso del procedimiento de matrices de transformación homogéneas y el algoritmo de Denavit-Hartenberg. Por medio de este método la matriz de transformación homogénea (T) se encuentra por medio del producto ${}^{i-1}A_i$, las cuales son matrices afines que al multiplicar dichas matrices en orden ascendente se alcanza lograr el sistema de coordenadas inicial con el final. La matriz A esta determinada con base a los parámetros de Denavit-Hartenberg, en cual relaciona el tamaño y forma del eslabón, así [1]:

θ_i : es el ángulo de rotación alrededor del eje Z_{i-1} .

d_i : es la distancia de traslación a lo largo de Z_{i-1} .

a_i : es la distancia de traslación a lo largo de X_i .
 α_i : es el ángulo de rotación alrededor del eje X_i .

Una vez conociendo la definición de los parámetros, procedemos a realizar la tabla de parámetros D-H:

Tabla 1. Valores obtenidos para los parámetros D-H para la mano robótica.

Articulación	θ	Dz	ax	α
1	θ_1	L_1	0	45
2	θ_2	0	L_2	0
3	θ_3	0	L_3	0
4	θ_4	0	L_4	0
5	θ_5	0	L_5	0
6	θ_6	0	L_6	0
7	θ_7	0	L_7	0
8	θ_8	0	L_8	0
9	θ_9	0	L_9	0
10	θ_{10}	0	L_{10}	0
11	θ_{11}	0	L_{11}	0
12	θ_{12}	0	L_{12}	0
13	θ_{13}	0	L_{13}	0
14	θ_{14}	0	L_{14}	0
15	θ_{15}	0	L_{15}	0

Considerando que las matrices A con respecto a los dedos índice, medio, anular y meñique únicamente cambiarían el eslabón (L), para el caso del dedo pulgar la cinemática directa presentaría cambios debido a que el primer eslabón tiene un ángulo fijo de 45 grados.

Dedo pulgar:

Posteriormente se procede a realizar los cálculos para las matrices A:

Rotación R:

$$R_2 = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$R = \begin{bmatrix} R2 & -R2 & 0 & 0 \\ R2 & R2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}_{0A_1} \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & l_2 \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & l_2 \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}_2A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & l_3 \cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & l_3 \sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{pmatrix} \cos\theta_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) - \cos\theta_2(\cos\theta_1B)) - \sin\theta_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1B) + (\sin\theta_2\cos\theta_1A)) \\ \cos\theta_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) + \cos\theta_2(\cos\theta_1B)) + \sin\theta_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) - (\sin\theta_2\cos\theta_1B)) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -\cos\theta_2(\cos\theta_2(\cos\theta_1B) + \sin\theta_2(\cos\theta_1A)) - \sin\theta_2(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) - (\cos\theta_2\cos\theta_1B)) \\ \cos\theta_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) - \cos\theta_2(\cos\theta_1B)) - \sin\theta_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) + (\cos\theta_2\cos\theta_1B)) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \cos\theta_2l_2(\cos\theta_1A) - \sin\theta_2l_2(\cos\theta_1B) + \cos\theta_3l_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) - (\cos\theta_2(\cos\theta_1B)) - \sin\theta_3l_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1B) + \sin\theta_2(\cos\theta_1A)) \\ \cos\theta_2l_2(\cos\theta_1B) + \sin\theta_2l_2(\cos\theta_1A) + \cos\theta_3l_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) + (\cos\theta_2(\cos\theta_1B)) + \sin\theta_3l_3(\cos\theta_2(\cos\theta_1A) - \sin\theta_2(\cos\theta_1B)) \\ l_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

La matriz **T** resultante para el dedo pulgar está dada por:

$$T = R * {}^0A_1 * {}^1A_2 * {}^2A_3$$

Para no obtener una matriz tan grande se hacen estas simplificaciones:

$$\begin{aligned} \cos\theta_1A &= R_2 * \cos\theta_1 - R_2 * \sin\theta_1 \\ \cos\theta_1B &= R_2 * \cos\theta_1 + R_2 * \sin\theta_1 \end{aligned}$$

De la matriz **T** se obtiene el vector de traslación resultante:

$$(\cos\theta_x = Cx; \sin\theta_x = Sx)$$

$$x = c2 * l2 * cla - s2 * l2 * (clb) + c3 * l3 * [c2 * (cla) - c2 * (clb)] - s3 * l3 * [c2(clb) + s2 * (cla)]$$

$$y = c2 * l2 * (clb) + s2 * l2 * (cla) + c3l3 * [c2 * (cla) + c2 * (clb) + s3 * l3 * [s3 * l3[c2 * (cla) - s2(clb)]]$$

$$z = l1$$

Dedo índice:

$${}^0A_4 = \begin{pmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & l_4\cos\theta_4 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & l_4\sin\theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^4A_5 = \begin{pmatrix} \cos\theta_5 & -\sin\theta_5 & 0 & l_5\cos\theta_5 \\ \sin\theta_5 & \cos\theta_5 & 0 & l_5\sin\theta_5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^5A_6 = \begin{pmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & l_6\cos\theta_6 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & l_6\sin\theta_6 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La matriz **T** está dada por:

$$T = {}^0A_4 * {}^4A_5 * {}^5A_6 = \begin{pmatrix} \cos\theta_6(\cos\theta_4\cos\theta_5 - \cos\theta_5\sin\theta_4) - \sin\theta_6(\cos\theta_4\sin\theta_5 + \sin\theta_4\cos\theta_5) \\ \cos\theta_6(\cos\theta_4\cos\theta_5 + \cos\theta_5\sin\theta_4) - \sin\theta_6(\cos\theta_4\sin\theta_5 - \sin\theta_4\cos\theta_5) \\ 0 \\ 0 \\ -\cos\theta_6(\cos\theta_4\cos\theta_5 + \cos\theta_5\sin\theta_4) - \sin\theta_6(\cos\theta_4\sin\theta_5 - \sin\theta_4\cos\theta_5) \\ -\sin\theta_6(\cos\theta_4\cos\theta_5 + \cos\theta_5\sin\theta_4) - \cos\theta_6(\sin\theta_4\sin\theta_5 - \cos\theta_4\cos\theta_5) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ l_4\cos\theta_4 + l_6\cos\theta_6(\cos\theta_4\cos\theta_5 - \sin\theta_4\cos\theta_5) + l_5\cos\theta_4\cos\theta_5 - l_4\sin\theta_4(\cos\theta_4\sin\theta_5 - \sin\theta_4\cos\theta_5) - l_5\sin\theta_4\sin\theta_5 \\ l_4\sin\theta_4 + l_6\cos\theta_6(\cos\theta_4\cos\theta_5 + \sin\theta_4\cos\theta_5) + l_5\cos\theta_4\cos\theta_5 + l_5\sin\theta_4\cos\theta_5 - l_6\sin\theta_4(\sin\theta_4\sin\theta_5 - \cos\theta_4\cos\theta_5) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$x = c4 * l4 + c6 * l6(c4 * c5 - c5 * s4) + c4 * c5 * l5 - s4 * l4(c4 * s5 + c5 * s4) - s4 * s5 * l5$$

$$y = s4 * l4 + c6 * l6 * (c4 * c5 + c5 * s4) + c4 * s5 * l5 + c5 * s4 * l5 - s6 * l6 * (s4 * s5 - c4 * c5)$$

$$z = 0$$

Dedo medio:

$${}^0A_7 = \begin{pmatrix} \cos\theta_7 & -\sin\theta_7 & 0 & l_7\cos\theta_7 \\ \sin\theta_7 & \cos\theta_7 & 0 & l_7\sin\theta_7 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^7A_8 = \begin{pmatrix} \cos\theta_8 & -\sin\theta_8 & 0 & l_8\cos\theta_8 \\ \sin\theta_8 & \cos\theta_8 & 0 & l_8\sin\theta_8 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^8A_9 = \begin{pmatrix} \cos\theta_9 & -\sin\theta_9 & 0 & l_9\cos\theta_9 \\ \sin\theta_9 & \cos\theta_9 & 0 & l_9\sin\theta_9 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La matriz **T** está dada por:

$$T = {}^0A_7 * {}^7A_8 * {}^8A_9$$

$$T = \begin{pmatrix} \cos\theta_9(\cos\theta_7\cos\theta_8 - \cos\theta_8\sin\theta_7) - \sin\theta_9(\cos\theta_7\sin\theta_8 + \sin\theta_7\cos\theta_8) \\ \cos\theta_9(\cos\theta_7\cos\theta_8 + \cos\theta_8\sin\theta_7) - \sin\theta_9(\cos\theta_7\sin\theta_8 - \sin\theta_7\cos\theta_8) \\ 0 \\ 0 \\ -\cos\theta_9(\cos\theta_7\cos\theta_8 + \cos\theta_8\sin\theta_7) - \sin\theta_9(\cos\theta_7\sin\theta_8 - \sin\theta_7\cos\theta_8) \\ -\sin\theta_9(\cos\theta_7\cos\theta_8 + \cos\theta_8\sin\theta_7) - \cos\theta_9(\sin\theta_7\sin\theta_8 - \cos\theta_7\cos\theta_8) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} l_7\cos\theta_7 + l_9\cos\theta_9(\cos\theta_7\cos\theta_8 - \sin\theta_7\cos\theta_8) + l_8\cos\theta_7\cos\theta_8 - l_7\sin\theta_7(\cos\theta_7\sin\theta_8 - \sin\theta_7\cos\theta_8) - l_8\sin\theta_7\sin\theta_8 \\ l_7\sin\theta_7 + l_9\cos\theta_9(\cos\theta_7\cos\theta_8 + \sin\theta_7\cos\theta_8) + l_8\cos\theta_7\cos\theta_8 + l_8\sin\theta_7\cos\theta_8 - l_9\sin\theta_7(\sin\theta_7\sin\theta_8 - \cos\theta_7\cos\theta_8) \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

De la matriz **T** se obtiene el vector de traslación resultante:

$$x = c7 * l7 + c9 * l9(c7 * c8 - c8 * s7) + c7 * c8 * l8 - s7 * l7(c7 * s8 + c8 * s7) - s7 * s8 * l8$$

$$y = s7 * l7 + c9 * l9 * (c7 * c8 + c8 * s7) + c7 * s8 * l8 + c8 * s7 * l8 - s9 * l9 * (s7 * s8 - c7 * c8)$$

$$z = 0$$

Dedo anular:

$${}^0A_{10} = \begin{pmatrix} \cos\theta_{10} & -\sin\theta_{10} & 0 & l_{10}\cos\theta_{10} \\ \sin\theta_{10} & \cos\theta_{10} & 0 & l_{10}\sin\theta_{10} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$y/x = S/C$$

$$S/C = \text{tangent}$$

$$\theta_1 = \arctan(y/x)$$

A45

$C5/(C5^2 + S5^2)$	$S5/(C5^2 + S5^2)$	0	-15
$-S5/(C5^2 + S5^2)$	$C5/(C5^2 + S5^2)$	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

A56

$C6/(C6^2 + S6^2)$	$S6/(C6^2 + S6^2)$	0	-11
$-S6/(C6^2 + S6^2)$	$C6/(C6^2 + S6^2)$	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

A35

$(C4 * C5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2)) - (S4 * S5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2))$	$(C4 * S5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2)) + (S4 * C5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2))$	0	$-15 - (C5 * I4) / (C5^2 + S5^2)$
$-(C4 * S5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2)) - (S4 * C5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2))$	$(C4 * C5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2)) - (S4 * S5) / ((C4^2 + S4^2) * (C5^2 + S5^2))$	0	$(S5 * I4) / (C5^2 + S5^2)$
0	0	1	0
0	0	0	1

Multiplicamos y & x

$$y * (C4 * C5) - y * (S4 * S5) - x * (C4 * S5) + x * (C5 * S4) + (S5 * I4) = 0$$

Despejamos S5 y C5

$$C5(y * C4 + x * S4) + S5(I4 - y * S4 - x * C4) = 0$$

$$C5(y * C4 + x * S4) = S5(-I4 + y * S4 + x * C4)$$

$$(y * C4 + x * S4) / (-I4 + y * S4 + x * C4) = S5 / C5$$

$$S5 / C5 = \text{Tan5}$$

$$\text{Teta5} = \arctan((y * C4 + x * S4) / (-I4 + y * S4 + x * C4))$$

A36

$(C4 * ((C5 * C6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) - (S5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2) - (S4 * ((C5 * C6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) + (C6 * S5) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2)$	$(C4 * ((C5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) + (S5 * S5) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2) - (S4 * ((C5 * C6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) - (S5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2)$	0	$-16 - I4 * ((C5 * C6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) - (S5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) - (C6 * S5) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) - (S4 * S4) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2))$
$-(C4 * ((C5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) + (S5 * S5) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2) - (S4 * ((C5 * C6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) - (S5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2)$	$(C4 * ((C5 * C6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) - (S5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2) - (S4 * ((C5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) + (C6 * S5) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)))) / ((C4^2 + S4^2)$	0	$I4 * ((C5 * S6) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) + (S5 * S5) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) + (C6 * S5) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2)) + (S4 * S4) / ((C5^2 + S5^2) * (C6^2 + S6^2))$
0	0	1	0
0	0	0	1

Se multiplica las matrices inversas en el siguiente orden $iT56 * iT45 * iT34 * D$ por lo que se obtiene de la casilla M(2,4)

$$I4 * (C5 * S6) + I4 * (C6 * S5) - x * C4 * (C5 * S6) - x * C4 * (C6 * S5) + x * S4 * (C5 * C6) - x * S4 * (S5 * S6) + y * C4 * (C5 * C6) - y * C4 * (S5 * S6) - y * S4 * (C5 * S6) - y * S4 * (C6 * S5) + (S6 * I5)$$

Se despeja S6 y C6

$$S6 * ((I4 * C5) - (X * C4 * C5) - (S5 * S4 * X) - (S5 * C4 * Y) - (C5 * S4 * Y) + I5) + C6((I4 * S5) - (S5 * C4 * X) + (C5 * S4 * X) + (C5 * C4 * Y) - (S5 * S4 * Y))$$

$$S6 / C6 = ((I4 * C5) - (X * C4 * C5) - (S5 * S4 * X) - (S5 * C4 * Y) - (C5 * S4 * Y) + I5) / ((I4 * S5) + (S5 * C4 * X) - (C5 * S4 * X) - (C5 * C4 * Y) + (S5 * S4 * Y))$$

Se despeja el tangente de 6 para hallar el ángulo 6

$$\text{TETA6} = \arctan(((I4 * C5) - (X * C4 * C5) - (S5 * S4 * X) - (S5 * C4 * Y) - (C5 * S4 * Y) + I5) / ((I4 * S5) + (S5 * C4 * X) - (C5 * S4 * X) - (C5 * C4 * Y) + (S5 * S4 * Y)))$$

3. 3 Programación en Labview:

Como primera medida hicimos uso de la librería de Arduino para el desarrollo de la programación. Cada uno de los pines del Arduino a los que van conectados los servos, son configurados y se nombra ascendientemente cuantos servos serán utilizados, es decir: los pines uno, dos y tres van al servo uno. Los pines cuatro, cinco y seis al servo dos. Y así sucesivamente (ver figura 1).

A continuación, en la Figura 5, podemos observar el panel frontal de la aplicación desarrollada. En él se muestran mediante display los valores de amplitud de las señales. En la figura 2, podemos observar el diagrama de bloques del mismo. La programación consta de tres (3) etapas, la primera es donde se elige cada posición o secuencia que se quiere ejecutar en la mano robótica a

través de pulsadores (Push Button). A raíz de esto usamos una “Event Structure”.

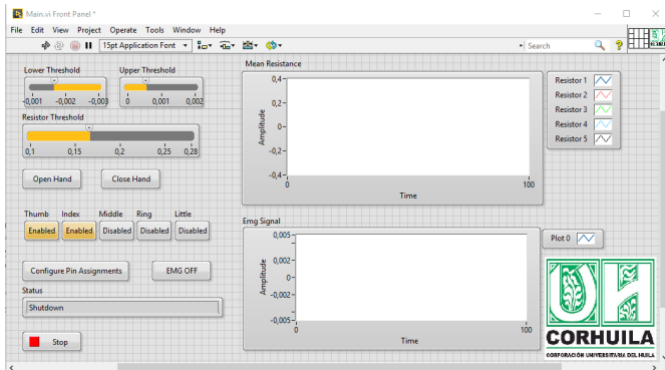


Figura 3. Panel Frontal desarrollado en LabView para el sistema. Autor

La segunda etapa de la programación la hemos elaborado para ofrecer posiciones fijas a la mano, la programación para la posición inicial donde tendrá todos los servomotores en la posición cero grados. Se debe implementar un control tipo “Case” para cada posición fija de la mano, y proporcionarle los ángulos necesarios para posicionar cada dedo.

En la última etapa de la programación se elaboró para otorgarle secuencias de posiciones a la mano. Del mismo modo que se adquieren los valores constantes de los ángulos, para determinadas posiciones, se pueden grabar varias secuencias de posiciones y así crear una escena, que podrá reproducir la prótesis robótica de mano de forma automática.

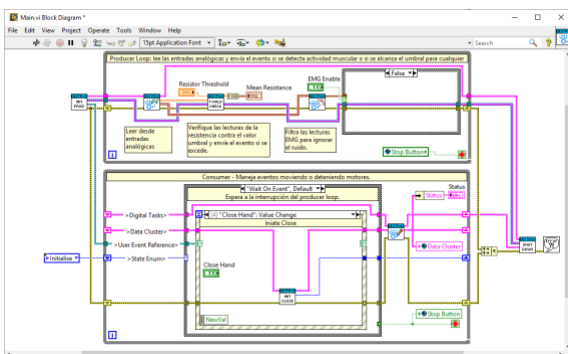


Figura 4. Diagrama de bloques desarrollado en LabView para el sistema. Autor

La ventana del panel frontal es la interfaz de usuario para el instrumento virtual. En esta se podemos encontrar los botones de control y los indicadores. En este proyecto el panel frontal exhibirá los ángulos de los servos y tendrá

los botones de mando para darle las posiciones y secuencias a la prótesis de mano. También se ha creado el botón de STOP para detener el programa, como se puede ver en la figura 3.

4. Resultados

La mano robótica subactuada antropomórfica se le realizaron algunas pruebas donde se observa las posiciones que se le programaron, teniendo como resultado que los dedos con las articulaciones obtuvieran su respectiva movilidad, para ello se tomaron en cuenta algunas posiciones ejecutadas.

A continuación, podemos observar las trayectorias generadas para la reproducción del movimiento de la prótesis robótica subactuada antropomórfica con el software de desarrollo implementado en Labview (Ver figura 5), las cuales explican el comportamiento de la estructura diseñada ante diferentes entradas al sistema.

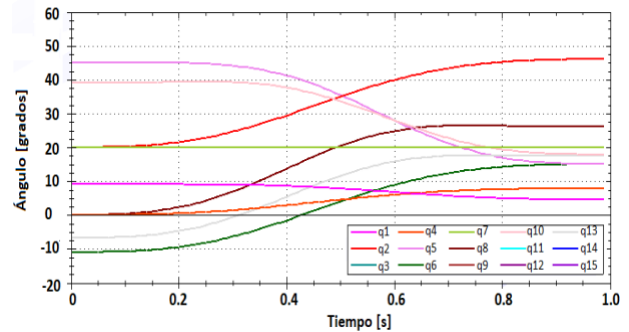


Figura 5. Trayectorias de los dedos subactuado antropomórfico: Autor

4.1 Postura mano abierta o en separación

En la siguiente imagen se puede observar la posición inicial que presenta la mano robótica antropomórfica subactuada (ver figura 6).

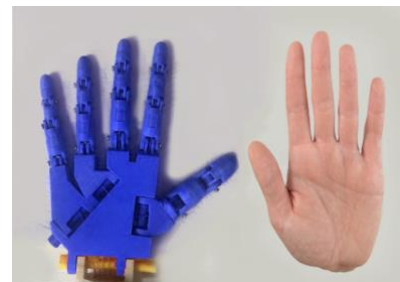


Figura 6. Postura de la mano abierta o en separación.

4.2 Postura tipo puño o agarre de gancho

Todos los dedos se bajan formando un puño. De igual manera se configuro para que el prototipo realizara dicha postura desarrollando la programación de los parámetros de Denavit-Hartenberg implementados en el software Labview (ver figura 7).



Figura 7. Postura tipo puño o agarre tipo gancho.

4.3 Postura tipo pinza fina

El dedo pulgar y el índice se unen formando un circulo quedando solo levantado los dedos, meñique, anular y corazón, como se puede observar en la figura 8.

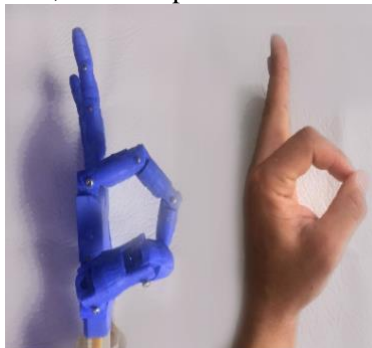


Figura 8. Postura tipo pinza fina.

5 Conclusiones

Las prótesis han preexistido desde hace miles de décadas, no obstante su desarrollo se ha detenido aproximadamente por la misma cantidad de tiempo. Escasamente hace pocos períodos se emprendió el verdadero ascenso en esta área. Las prótesis de manos permite tener un sobresaliente panorama con respecto a las innovaciones y las herramientas con las que necesitamos para la elaboración la prótesis.

Gracias al empleo de nuevas herramientas de desarrollo de hardware y software se pueden crear nuevos desarrollo en este campo. El desarrollo de sistemas automáticos de control en prótesis de manos que

permitan recobrar la funcionalidad parcial de esta se convierte en un verdadero reto. En conclusión, la prótesis del futuro diferenciará un poco de la prótesis ideal, ya que preexisten limitaciones que dificultosamente lograrán ser superadas. No obstante la prótesis del futuro podrá proporcionar a la persona afectada la mayoría de las funciones que la mano real puede brindar, como es el agarre de tipo cilíndrico, esférico y tipo pinza.

Referencias

- [1] Bouchet, A., & Cuilleret, J. (1979). Anatomía descriptiva, topográfica y funcional.
- [2] Gallagher, N., Maldonado, S. J., Maffia Bizzozero, S., & Fernandez, L. (2013). Impacto psicológico del trabajador amputado.
- [3] Cortés, M. A. R. 12. Evaluación y tratamiento psicológico de los amputados. Los amputados y su rehabilitación, 105.
- [4] Mason, M. T., & Salisbury Jr, J. K. (1985). Robot hands and the mechanics of manipulation.
- [5] Jacobsen, S., Iversen, E., Knutti, D., Johnson, R., & Biggers, K. (1986, April). Design of the Utah/MIT dextrous hand. In Robotics and Automation. Proceedings. 1986 IEEE International Conference on (Vol. 3, pp. 1520-1532). IEEE.
- [6] Fukaya, N., Asfour, T., Dillmann, R., & Toyama, S. (2013, November). Development of a five-finger dexterous hand without feedback control: The TUAT/Karlsruhe humanoid hand. In Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on (pp. 4533-4540). IEEE.
- [7] Diftler, M. A., Mehling, J. S., Abdallah, M. E., Radford, N. A., Bridgwater, L. B., Sanders, A. M., ... & Hargrave, B. K. (2011, May). Robonaut 2-the first humanoid robot in space. In Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on (pp. 2178-2183). IEEE.
- [8] Chen, Z., Lii, N. Y., Wimböck, T., Fan, S., & Liu, H. (2011). Experimental evaluation of Cartesian and joint impedance control with adaptive friction compensation for the dexterous robot hand DLR-HIT II. International Journal of Humanoid Robotics, 8(04), 649-671.
- [9] Sun, W., Kong, J., Wang, X., & Liu, H. (2018). Innovative design method of the metamorphic hand. International Journal of Advanced Robotic Systems, 15(1), 1729881417754154.
- [10] Online: <https://professionals.ottobockus.com/c/Sensor-Hand-Speed-w-Flex/p/8E41~58-R7%201~24-F> [May 1, 2018].
- [11] Online: <https://vincentsystems.de/en/> [May 1, 2018]
- [12] Online: <https://www.touchbionics.com/products/active-prostheses/i-limb-ultra> [May 1, 2018]
- [13] Online: <http://es.bebionic.com/> [May 1, 2018]
- [14] Online: <https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/michelangelo-prosthetic-hand/> [May 1, 2018]