

# Experimentos con un dedo robótico y simulación

**Jesús Hernández Hernández**

Instituto Tecnológico de Nuevo León

*jesus88.hdz@gmail.com*

**Roxana García Andrade**

Instituto Tecnológico de Nuevo León

*roxana\_garciaandrade@yahoo.com*

**Arnoldo Fernández Ramírez**

Instituto Tecnológico de Nuevo León

*arnoldo028@gmail.com*

## Resumen

En el presente trabajo se expone el diseño y construcción de un dedo robótico. En primer lugar, en la introducción se hace un breve recuento de algunas publicaciones encontradas en la literatura. En seguida, las ecuaciones del modelo cinemático directo de posición son presentadas. En lo concerniente al modelo cinemático inverso de posición se presentan de forma concisa las ecuaciones y consideraciones hechas para su resolución. Luego, en la tercera sección, se presentan los elementos individuales, diseñados en un software dedicado de diseño asistido por computadora, que se utilizaron para ensamblar el dedo robótico. Además, se muestra el dedo robótico ensamblado en simulación y en forma real. Después, la interfaz gráfica es presentada y descrita en forma breve, podemos mencionar que esta interfaz fue implementada en un software para cálculo matemático. Se presenta también como se estableció la comunicación entre la interfaz gráfica y la placa arduino. Finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo.

**Palabras Claves:** dedo robótico, modelado, diseño, simulación real, simulación virtual, interfaz.

## 1. Introducción

Uno de los principales retos de la robótica es imitar a la mano humana, al ser pieza fundamental en las actividades cotidianas del ser humano, y la extremidad de mayor destreza con movimientos de gran precisión y manipulaciones muy complejas de fuerza, de tal manera que ha sido motivo de diversas investigaciones en diferentes partes del mundo.

En este proyecto se presenta el diseño y construcción de un mini-robot antropomorfo de cuatro grados de libertad. El objetivo principal de este prototipo es emular los movimientos de flexión y extensión de un dedo humano a base de servomotores, así como obtener los modelos cinemáticos de posición directa e inversa y ser controlado por una interfaz gráfica programada en *MATLAB*.

### 1.1. Antecedentes

En primer lugar en [1] se presenta la construcción de un brazo robótico de tres gdl (Grados de libertad) tipo PUMA (Programmable Universal Manipulator for Assembly).

Se desarrollan las ecuaciones tanto del modelo cinemático directo como del modelo cinemático inverso. Utilizando las ecuaciones del movimiento de Lagrange, se desarrollan las ecuaciones del modelo dinámico.

En la arquitectura de este robot se observa que hay par de articulaciones con ejes paralelos.

Enseguida en los trabajos desarrollados en [2], se menciona que se ha intentado reproducir algunas extremidades del ser humano ya sea para fines médicos o para la industria. Especialmente la mano, esta al ser de suma importancia para las actividades cotidianas se ha vuelto tema de investigación, se han construido manos robots pero hasta el día de hoy no se ha conseguido imitar su destreza

Luego en [3] se muestra el modelo cinemático directo, la representación geométrica de los elementos de la cadena cinemática del efector respecto a un sistema de referencia fijo, empleando la metodología de Denavit-Hartenberg. Se modela un robot de 4 gdl.

En la parte de la cinemática inversa, es fundamental transformar las especificaciones de movimiento asignadas al robot en su espacio de operación, en los movimientos articulares que permitan dicho movimiento.

La solución de la cinemática inversa se reduce a un movimiento planar con 3 gdl, el cual presenta una redundancia de grados de movilidad con respecto a la posición del punto final del robot, debido a que la orientación final no es considerada.

Si se considera la existencia de al menos un elemento que especifique la orientación del robot es posible buscar una solución de forma cerrada a partir de un análisis geométrico del robot.

Después en [4] se habla de un proyecto que comprende el diseño, construcción y control de un brazo manipulador de 4 grados de libertad. El proyecto está dividido en 3 etapas, la primera es el diseño y construcción mecánica del robot manipulador, la segunda es la instrumentación e implementación del sistema de control y la tercera corresponde a la adaptación del brazo manipulador a un robot móvil para tener un robot de exploración y seguridad.

Finalmente en [5] se presenta la descripción de la mano mecánica denominada MA-I (Mano Artificial Inteligente) como parte de un sistema integrado para la experimentación y prueba de estrategias de aprehensión y manipulación de objetos. La configuración básica de la mano es de 4 dedos con 4 grados de libertad (gdl) cada uno.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Modelado cinemático directo de posición

El modelo directo, es la relación que permite determinar el vector  $\mathbf{x}$  de coordenadas operacionales del robot correspondiente a una configuración dada  $\mathbf{q}$ .

Este modelo se expresa como:

$$\mathbf{x} = \mathbf{f}(\mathbf{q}) \quad (1)$$

A continuación se muestran la tabla de parámetros de D-H del mini-robot.

Eslabón	$a_i$	$d_i$	$\theta_i$	$r_i$
1	0	0	$\theta_1$	0
2	$90^\circ$	0	$\theta_2$	0
3	0	D3	$\theta_3$	0
4	0	D4	$\theta_4$	0
5	0	D5	0	0

Tabla 1. Parámetros de D-H para el mini-robot.

Matrices de transformación del mini-robot para  $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_5 = 0^\circ$ ,  $D_3 = 4$ ,  $D_4 = 4$  y  $D_5 = 3.5$

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^1T_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$${}^2T_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^3T_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^4T_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 3.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

## 2.2. El modelo cinemático inverso de posición

El modelo inverso de posición permite obtener todas las configuraciones posibles de un robot correspondientes a una localización dada del órgano terminal (coordenadas operacionales). Este modelo es llamado generalmente la forma cerrada del modelo cinemático inverso. No hay una solución general para obtener este modelo

$$\mathbf{q} = \mathbf{f}^{-1}(\mathbf{x}) \quad (3)$$

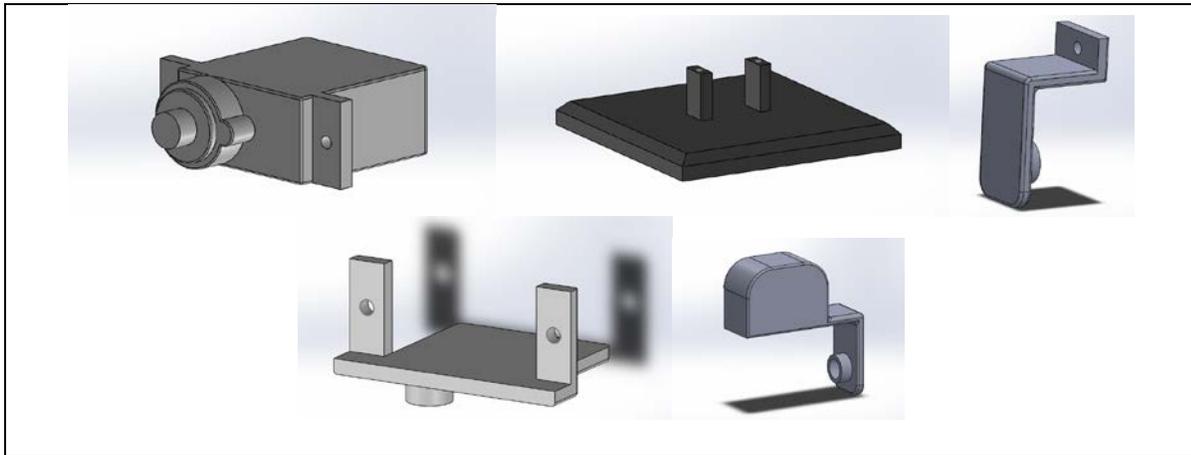
Para obtener la solución del problema de la cinemática inversa de posición, en este trabajo, se utiliza un enfoque geométrico. Se recurre a una relación fija para considerar la dependencia o acoplamiento de la tercera y cuarta articulación, como se menciona en [2], la relación que se utilizó es la siguiente:

$$q_4 = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix} q_3 \quad (4)$$

Esto nos permitió reducir el problema de la cinemática inversa al cálculo de las intersecciones entre dos pares de circunferencias.

## 2.3. Diseño y Construcción

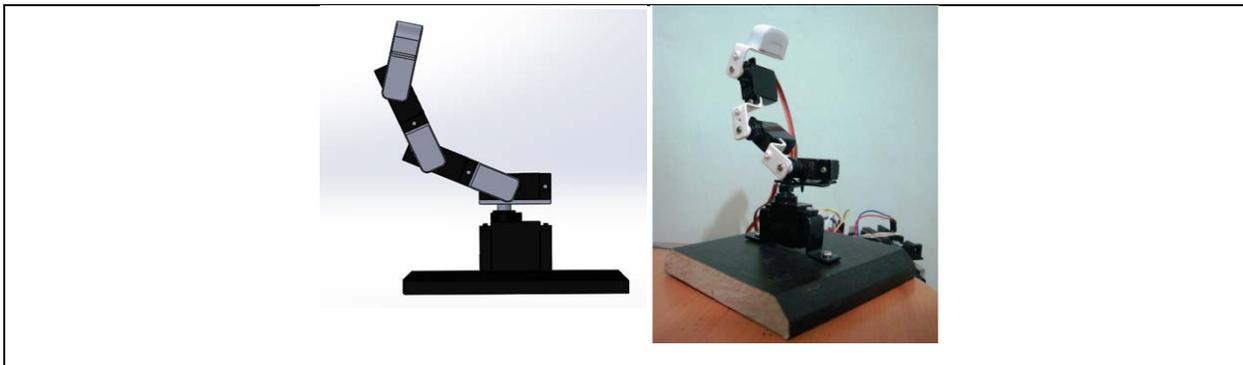
Se realizó el modelado del mini-robot utilizando el software de diseño CAD de *Solidworks* en 3D. Se diseñaron los siguientes elementos que conformarían al mini-robot.



**Tabla 2. Componentes para el ensamble.**

Para realizar el ensamble final de mini-robot se utilizaron falanges de aluminio, ya que este material resulta ser ligero y fácil de mecanizar. La base con el cual se sostiene al mini-robot fue realizada de madera.

El procedimiento de ensamblaje realizó de manera sencilla, se unieron las falanges entre el rotor del servomotor al orificio de ensamble del siguiente servomotor.



**Tabla 3. Ensamblaje en simulación y real del mini robot**

## 2.4. Interfaz Gráfica.

La interfaz gráfica se programó utilizando el software *MATLAB*. Para representar las falanges del mini-robot se utilizaron líneas y cilindros para representar las articulaciones.

Para poder interactuar con la interfaz se utilizaron barras deslizadoras, las cuales se puede hacer variar cada una de las variables articulares del robot. El valor de cada variable articular lo podremos ver en la caja de edición correspondiente.

Para comunicar la interfaz con la placa arduino se utiliza el puerto serial y se hace lo siguiente:

- En la interfaz se abre el puerto serial para escribir la consigna que debe ejecutar en forma real el robot.
- En arduino se carga un programa que lee lo que la interfaz escribe a través del puerto paralelo y el robot ejecuta la consigna.

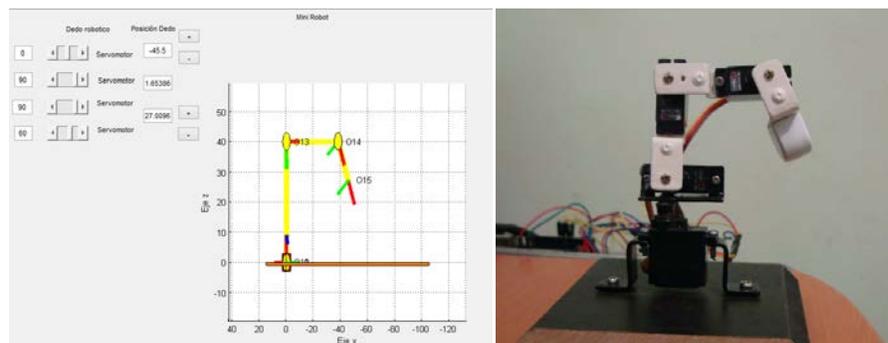


Fig. 1. Configuración  $q=[0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 60^\circ]$ . a) Interfaz gráfica b) mini-robot.

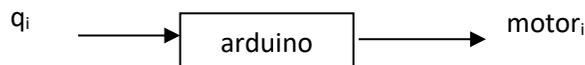
## Algoritmo

En seguida, en la Fig. 2, se presenta el pseudocódigo de la aplicación desarrollada, esto para ilustrar el funcionamiento de la misma de forma breve.

<p>01 <b>Inicio de la aplicación</b></p> <p>02 Configuración inicial <math>q = [0\ 0\ 0\ 0]</math></p> <p>03 <b>Actualización</b> de la representación gráfica y resolución de la cinemática directa</p> <p>04 <b>Apertura</b> del puerto serial</p> <p>05 <b>Escritura</b> de la configuración inicial en el puerto serial</p> <p>06 <b>Cierre</b> del puerto serial</p> <p>07 <b>Esperar</b> acción del usuario</p> <p>08 <b>Si</b> cambio en valor de <b>variable articular</b> (Barra deslizadora o caja de edición)</p> <p>09 <b>Entonces</b> actualizar representación gráfica y resolución de la cinemática directa</p>	<p>10 <b>Apertura</b> del puerto serial</p> <p>11 <b>Escritura</b> de la configuración actual en el puerto serial</p> <p>12 <b>Cierre</b> del puerto serial</p> <p>13 <b>Si</b> click en botón “+” o “-“</p> <p>14 <b>Entonces</b> resolución de la cinemática inversa</p> <p>15 <b>Verificación</b> de la validez de la solución y actualizar representación gráfica</p> <p>16 <b>Apertura</b> del puerto serial</p> <p>17 <b>Escritura</b> de la configuración actual en el puerto serial</p> <p>18 <b>Cierre</b> del puerto serial</p>
--	---

**Fig. 2. Pseudocódigo de la interfaz.**

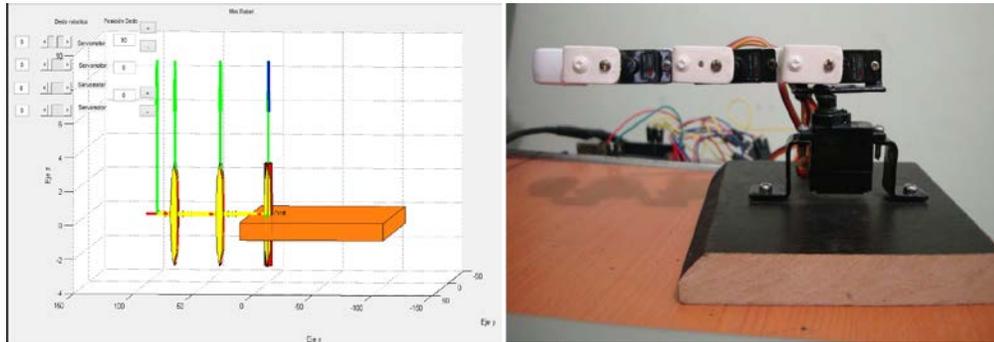
En la etapa de desarrollo actual, se utiliza un sistema de control en lazo abierto. Esto es debido a que no se han implementado sensores o algún método de visión para estar en medida de cuantificar el error y teniendo en cuenta esto último, no existe retroalimentación. El diagrama a bloques se presenta en la Fig. 3.



**Fig. 3. Diagrama a bloques de cada motor.**

### 3. Resultados

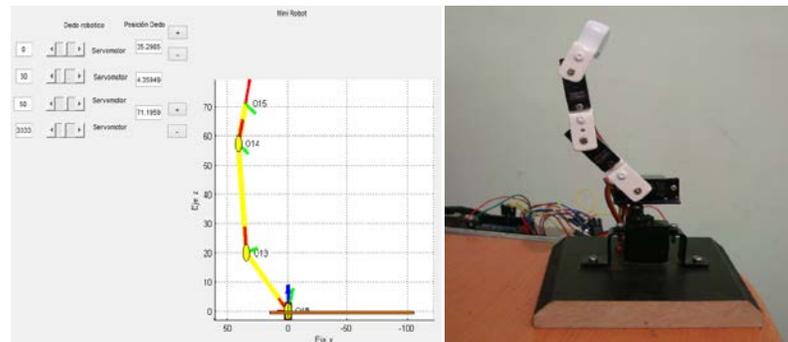
En las siguientes figuras se muestran algunas configuraciones que se utilizaron como experimentos de la realización de diferentes posturas en la interfaz gráfica y en la simulación real.



a)

b)

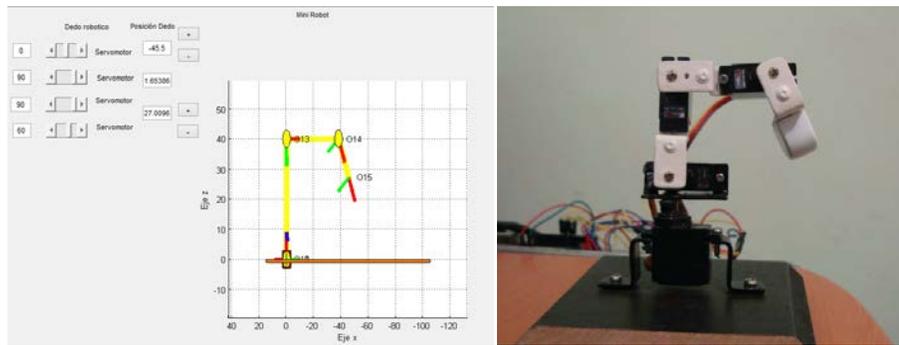
Fig. 4. Configuración  $q=[0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$  a) Interfaz gráfica b) mini-robot.



a)

b)

Fig. 5. Configuración  $q=[0^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 33.33^\circ]$ . a) Interfaz gráfica b) mini-robot.



a)

b)

Fig. 6. Configuración  $q=[0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 60^\circ]$ . a) Interfaz gráfica b) mini-robot.

## 4. Conclusiones

Se diseñó y simuló el primer prototipo en CAD, una vez ya con el diseño y las falanges construidas, se procedió a ensamblar el mini-robot, y así evaluar los movimientos de las articulaciones del robot y detectar cualquier impedimento de movilidad en las mismas.

Una vez ya con las pruebas principales de cinemática y eléctricas se dio el paso final, que era el control del mini-robot a través de la interfaz gráfica del usuario en *MATLAB*.

## 5. Referencias

- [1] D. Jiménez Villalobos, J. Ramírez de la Cruz, "Construcción de un brazo robótico de tres gdl. y su control mediante el núcleo híbrido de transición de estados", Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Cenidet, Febrero 2005
- [2] H. Cimadevilla Lajud, J.Herrera Pérez, "Diseño de un sistema articulado emulando el movimiento de una mano", Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico, Cenidet, Junio 2006.

- [3] F. Aguilar Acevedo, R. Ruiz González, “Redundancia cinemática en un dedo antropomórfico de 4 gdl.”, Memorias del xvii congreso internacional anual de la SOMIM, ISBN: 978-607-95309-5-2, Septiembre, 2011, págs. 1037-1042.
- [4] L. Cuevas Ramírez, I. Ramírez Vargas, F. Cruz Hernández, “Análisis y construcción de un manipulador de cuatro grados de libertad”, Memorias del xviii congreso internacional anual de la SOMIM, ISBN 978-607-95309-6-9, Septiembre, 2012, págs. 1046-1056
- [5] R. Suárez, P. Grosch, “Mano mecánica MA-I”. , XXIV Jornadas de automática. CEA-IFAC, ISBN 84-931846-7-5, 2003.
- [6] <http://arduino.cc/es/Reference/Servo>.

## **6. Autores**

Jesús Hernández Hernández Estudiante de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico De Nuevo León.

Ing. Roxana García Andrade es Ingeniero en Electrónica en Instrumentación por el Instituto Tecnológico de Nuevo León.

Dr. Arnoldo Fernández Ramírez es Doctor en Mecánica de Sólidos por la Universidad de Poitiers, República Francesa.