

Diseño e implementación de un brazo robótico de bajo costo para la automatización en el proceso de análisis bacteriológico¹

Artículo de Investigación - Fecha de recepción: 7 de agosto de 2012 - Fecha de aceptación: 19 de septiembre de 2012

Juan Sebastián Rojas

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Pamplona. Cúcuta, Colombia, rojassebastian@hotmail.com

Santiago Escrucería

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Pamplona. Cúcuta, Colombia, santiago2789@hotmail.com

Marco Alejandro Suárez

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Pamplona. Cúcuta, Colombia, alejoramirez6@hotmail.com

César Augusto Peña

Ingeniero Electromecánico, Doctor en Automática y Robótica, Universidad de Pamplona. Cúcuta, Colombia, cesarapc@unipamplona.edu.co

RESUMEN

En este artículo se presenta un brazo robótico antropomórfico de 5 grados de libertad para la automatización del proceso de análisis bacteriológico en laboratorios clínicos, de carácter formativo y bajos costos, con el cual se pueden desarrollar prácticas en robótica y automatización, implementando su control en una tarjeta ARDUINO. Este trabajo permitió a los estudiantes de un curso de robótica básica aplicar estrategias de investigación del tipo experimental como complemento en su formación.

Palabras clave

Robot, antropomórfico, bacteriología, cinemática.

1. Artículo derivado del proyecto *Robótica más allá del aula de clase. Fase: Desarrollo de bancos de robótica didáctica de bajo costo con aplicaciones reales*. Semillero de Investigación de Automatización Robótica y Control. Grupo de Investigación de Automatización y Control (A & C). Universidad de Pamplona.

*Design and implementation of a low-cost robotic arm
for bacteriological analysis process automation*

ABSTRACT

This paper presents an anthropomorphic 5 degrees-of-freedom robot arm for the bacteriological analysis automation in medical laboratories. This low-cost robotic arm is educational in nature and it is conceived to develop practice in robotics and automation, implementing its control on an ARDUINO board. This work also allowed students from a basic robotics course to apply experimental research strategies in order to complement their training.

Keywords

Robot, anthropomorphic, bacteriology, kinematics.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos han ayudado de manera muy significativa en diversos campos de la vida del ser humano, permitiendo la realización de arduas tareas que traían consigo diferentes inconvenientes, entre los cuales se pueden destacar riesgos para la integridad física, jornadas laborales extensas, oficios repetitivos, riesgos contaminantes, etc. Mediante dichos avances y con el uso de la robótica se han podido ir disminuyendo, logrando como consecuencia un mejor estilo de vida, mayor calidad, rapidez, efectividad, productividad y economía en la realización de procesos.

El campo de la medicina no ha sido la excepción y también se ha visto beneficiado por los constantes desarrollos [1], que van desde el mejoramiento de la atención del paciente, pasando por avances en el análisis de pruebas, hasta el suministro eficiente y ágil de medicamentos [2].

Los progresos más notables dentro de este amplio campo son las prótesis inteligentes [3]; cirugía a distancia [4], que ha permitido llegar a lugares remotos donde antes, dadas las circunstancias, habría sido imposible operar, siendo uno de los más conocidos el sistema quirúrgico Da Vinci [5], que logra intervenciones menos invasivas, más precisas [6], y con recuperaciones más rápidas; los avances quirúrgicos usando tecnología láser, de rotundo éxito en el tratamiento ocular; la nanotecnología utilizada entre otros casos para detectar distintas enfermedades dentro del organismo [7]; la implementación de dispositivos robóticos no solo para la atención del paciente, suministro de medicamentos en las farmacias a mayor ve-

locidad sino también para la optimización y automatización de pruebas médicas.

Este último caso es el que se tuvo en cuenta para este desarrollo, en el cual se implementará un brazo robótico para la automatización del análisis de muestras en las cuales su manipulación signifique un alto riesgo para el hombre o en casos en los cuales sea necesario un alto grado de precisión, lo que mediante los robots se puede alcanzar, permitiendo además el aumento de la velocidad y la cantidad de pruebas realizadas, dada la rapidez de los mecanismos.

Adicionalmente, cabe recalcar que este trabajo fue propuesto con el fin de que estudiantes de un curso básico de robótica puedan desarrollar estrategias de investigación de carácter experimental para fortalecer sus conocimientos adquiridos en el área.

CARACTERÍSTICAS DE LA PLATAFORMA

La plataforma desarrollada cuenta con tres zonas que se deben destacar. Se encuentra en la primera zona una interfaz de control mediante el uso del entorno de trabajo Matlab, como artilugio de entrada de información. En la segunda zona se dispone de una tarjeta ARDUINO programable, que permite la comunicación entre la información enviada por Matlab y el brazo. Por último, en la tercera zona, el robot antropomórfico de 5 grados de libertad que facilita la manipulación de los diferentes objetos.

Características del robot

Para el diseño mecánico del robot se utilizó el paquete de simulación SolidWorks, con

el objetivo de visualizar el bosquejo del prototipo, el cual se puede observar en la Fig. 1.

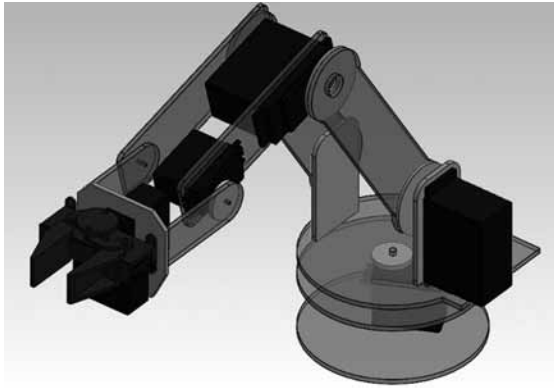


Fig. 1 Diseño del robot mediante SolidWorks

En este diseño se tuvieron en cuenta características como el máximo alcance del brazo, la forma de las articulaciones y las dimensiones de los servomotores, las cuales se pueden observar en la Fig. 2 y la Fig. 3.

Posterior a la simulación, en la implementación del modelo se aprovechó como material para su estructura el acrílico, dada su alta resistencia, fácil manufactura y comer-

cialización, además que por sus características el robot puede ser trasladado con facilidad, dada su ligereza.

Las órdenes de control fueron programadas desde Matlab mediante el cálculo de los parámetros Denavit-Hartenberg [8], que permiten hacer el análisis de la cinemática inversa y determinar los ángulos que debe tomar cada una de las articulaciones del robot, para crear las secuencias de movimientos que va a cumplir el brazo en el desarrollo de sus tareas.

Para los movimientos de las articulaciones se utilizaron servomotores Hitec de diferente singularidad, que satisficieran las necesidades propias del sistema, de los cuales se muestran en la Tabla I sus respectivas características.

Sistema de control

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema de control del robot se desarrolló mediante el uso de Matlab para la emisión

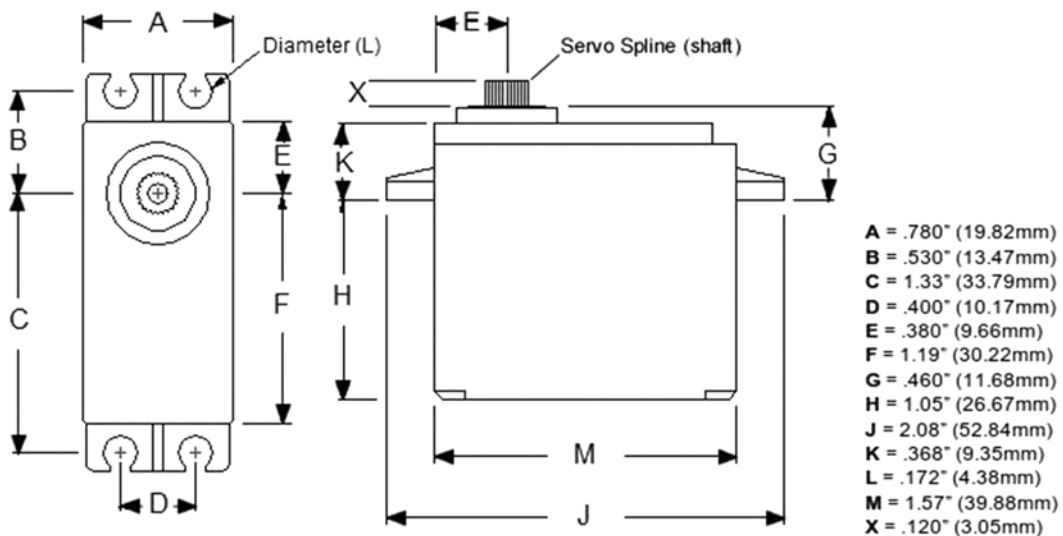


Fig. 2 Dimensiones del servomotor HS-485HB

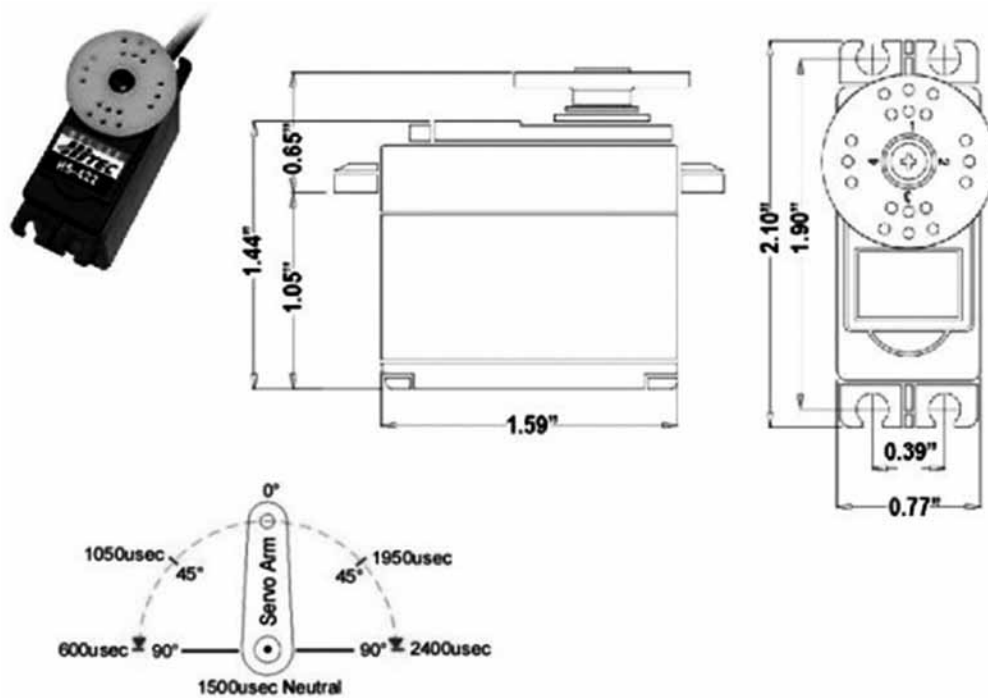


Fig. 3 Dimensiones del servomotor HS-422HB

de la información que es recibida por la tarjeta programable ARDUINO, la cual envía la señal en forma de PWM para ejercer dominio sobre los servomotores.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVOMOTORES

SERVO	HS-485HB	HS-755HB	HS-422HB
Piñonería	Karbonita	Karbonita	Nylon
Voltaje (V)	4.8V/6.0	4.8/6.0	4.8/6.0
Velocidad (Seg/60°)	0.20/0.17	0.28/0.23	0.21/0.20
Torque (kg.cm)	5.2/6.4	11.0/13.2	3.3/4.1

Análisis económico

Todo el sistema se desarrolló con la intención de que su replicación sea económica, y pueda ser utilizada en los diferentes grupos de estudio o investigación, por lo cual se usaron materiales de bajo costo, como en el caso de toda la estructura que, como ya se dijo, fue construida en acrílico dadas sus características, al igual que la tarjeta programable ARDUINO que siendo un dispositivo de bajo costo que no excede los 100 dólares brinda una gran confiabilidad, precisión y fácil programación para su implementación, lo cual sumado al costo de los servomotores resulta en que el costo total del robot sea de alrededor de 400 dólares, logrando así una plataforma académica e industrial económica.

NARRATIVA DEL PROCESO

La raíz del presente proyecto es hallar procedimientos más eficientes, rápidos y automatizados para incrementar la productividad en los laboratorios en sus labores de análisis bacteriológico y de esta manera lograr agilidad en la entrega de resultados; para eso se ha implementado este autómata.

En laboratorios y demás centros de investigación se hace necesaria la manipulación de diferentes tipos de sustancias, tejidos y muestras, entre otras, para su estudio y análisis, proceso que viene realizándose de manera manual por los encargados, tal y como se puede apreciar en la Fig. 4, en la que se observa la toma de la probeta, y en la Fig. 5 el respectivo siembre en la caja de Petri.



Fig. 4 Procedimiento manual para análisis bacteriológico

El desarrollo y la implementación de un robot autónomo que se encargue de la recolección y correcto posicionamiento de diferentes tipos de muestras, y demás herramientas utilizadas en el proceso de análisis bacteriológico, a fin de lograr una mayor rapidez y eficacia, que no presente como en el caso de los humanos errores por cansancio o agotamiento mental, sino que proporcione

un excelente manejo, se hace indispensable y de gran beneficio para la sociedad médica y general.



Fig. 5 Procedimiento tradicional de siembra bacteriológica

Por esto la aplicación de un brazo robótico que cumpla con dichas tareas con grandes estándares de calidad ha sido considerado como caso de estudio, análisis y desarrollo para el presente proyecto. En la Fig. 6 se representa el esquema del proceso seccionado en 2 zonas principales, la primera donde está la interfaz con el usuario y el computador y una segunda zona donde se muestra el proceso que se va a desarrollar, por lo tanto en esta zona están los diferentes artefactos que son: el autómata encargado de la manipulación, las probetas, el asa y la caja de Petri, dando como resultado final una muestra lista para ser analizada.

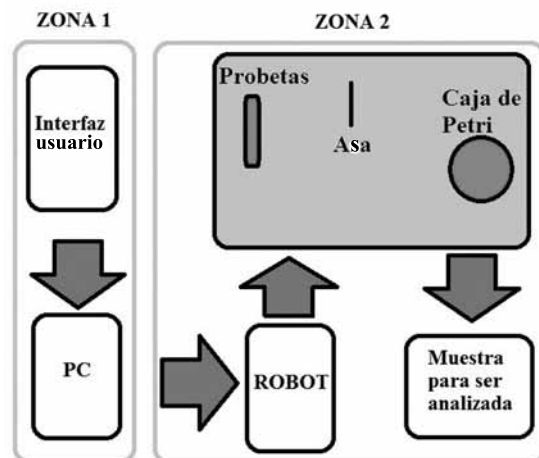


Fig. 6 Esquema del proceso

Esta aplicación proporciona grandes ventajas a la hora de:

- Abordar la realización de tareas repetitivas y tediosas.
- Realizar tareas en horas nocturnas, lo cual permite el ahorro de tiempo.
- Reducir el riesgo de accidentes al personal.

El brazo cumplirá con las siguientes funciones: Primero debe tomar una probeta en la cual se encuentra la muestra para analizar; posteriormente lleva dicha probeta hasta donde se encuentre un recipiente conocido como caja de Petri y allí deposita la muestra; una vez consignada ésta el brazo depositará la probeta en un contenedor; seguidamente debe desplazarse hasta el sitio en el cual se encuentra el asa, instrumento utilizado para el trasvasado de inóculos [9], con la cual hará la siembra de los microorganismos y se posicionará para realizar el sembrado con el asa en la caja de Petri, de acuerdo con el método por repique; después de hecha la siembra el brazo se levantará y depositará el asa en el contenedor; una vez terminada la secuencia realizada por el dispositivo podrá continuar el proceso para el análisis de la muestra [10]. En el diagrama de flujo representado en la Fig. 7 se detalla la secuencia de tareas que ejecuta el autó-mata.

ANÁLISIS CINEMÁTICO

Se realiza el análisis cinemático del robot para determinar las trayectorias que debe realizar el brazo.

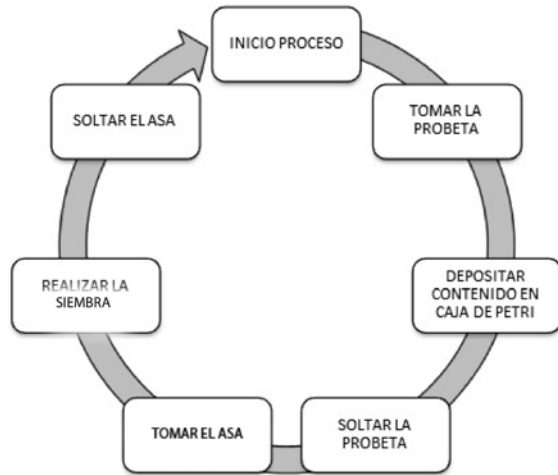


Fig. 7 Diagrama flujo funciones realizadas

Cinemática directa

En primera instancia se decretan los parámetros Denavit-Hartenberg con el fin de concluir la posición de los ejes de cada una de las articulaciones y sus respectivas orientaciones; los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla II.

Se calculan las matrices de transformación homogéneas de cada articulación con respecto al eje inicial que en este caso está ubicado en la base del robot.

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & 0 & \sin(q_1) & 0 \\ \sin(q_1) & 0 & -\cos(q_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & l2\cos(q_2) \\ \sin(q_2) & \cos(q_2) & 0 & l2\sin(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} \cos(q_3) & -\sin(q_3) & 0 & l3\cos(q_3) \\ \sin(q_3) & \cos(q_3) & 0 & l3\sin(q_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{2} + q_4) & 0 & -\sin(\frac{\pi}{2} + q_4) & 0 \\ \sin(\frac{\pi}{2} + q_4) & 0 & -\cos(\frac{\pi}{2} + q_4) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$${}^4A_5 = \begin{bmatrix} \cos(q_5) & -\sin(q_5) & 0 & 0 \\ \sin(q_5) & \cos(q_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

TABLA II
PARÁMETROS D-H

Articulación	Θ	d_i	a_i	α_i
1	q1	L1	0	90
2	q2	0	L2	0
3	q3	0	L3	0
4	90+q4	0	0	90
5	q5	L4	0	0

Se finaliza con el cálculo de la matriz de transformación homogénea del efector final respecto al sistema de referencia de la base del robot.

$${}^0A_5 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & a_{41} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & a_{42} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_{43} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Donde:

$$a_{11} = [\sin(q_1)\sin(q_5) + \cos(q_5)(\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\cos(q_3) - \cos(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3)) - \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\sin(q_3) + \cos(q_1)\cos(q_3)\sin(q_2)))] \quad (6)$$

$$a_{21} = \cos(q_5)\sin(q_1) - \sin(q_5)(\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\cos(q_3) - \cos(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3)) - \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\sin(q_3) + \cos(q_1)\cos(q_3)\sin(q_2))) \quad (7)$$

$$a_{31} = \cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\sin(q_3) + \cos(q_1)\cos(q_3)\sin(q_2)) + \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\cos(q_3) - \cos(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3)) \quad (8)$$

$$a_{41} = (2l_1\cos(q_1)\cos(q_2))/2 + 12\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\sin(q_3) + \cos(q_1)\cos(q_3)\sin(q_2)) + 12\sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_1)\cos(q_2)\cos(q_3) - \cos(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3)) + (2l_1\cos(q_1)\cos(q_2)\cos(q_3))/2 - (2l_1\cos(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3))/2] \quad (9)$$

$$a_{12} = -\cos(q_1)\sin(q_5) - \cos(q_5)(\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\sin(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) - \cos(q_2)\cos(q_3)\sin(q_1)) + \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\sin(q_1)\sin(q_3) + \cos(q_3)\sin(q_1)\sin(q_2))) \quad (10)$$

$$a_{22} = \sin(q_5)(\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\sin(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) - \cos(q_2)\cos(q_3)\sin(q_1)) + \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\sin(q_1)\sin(q_3) + \cos(q_3)\sin(q_1)\sin(q_2))) - \cos(q_1)\cos(q_5) \quad (11)$$

$$a_{32} = \cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\sin(q_1)\sin(q_3) + \cos(q_3)\sin(q_1)\sin(q_2)) - \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\sin(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) - \cos(q_2)\cos(q_3)\sin(q_1)) \quad (12)$$

$$a_{42} = (2l_1\cos(q_2)\sin(q_1))/2 + 12\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\sin(q_1)\sin(q_3) + \cos(q_3)\sin(q_1)\sin(q_2)) - 12\sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\sin(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) - \cos(q_2)\cos(q_3)\sin(q_1)) - (2l_1\sin(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3))/2 + (2l_1\cos(q_2)\cos(q_3)\sin(q_1))/2 \quad (13)$$

$$a_{13} = \cos(q_5)(\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\sin(q_3) + \cos(q_3)\sin(q_2)) + \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\cos(q_3) - \sin(q_2)\sin(q_3))) \quad (14)$$

$$a_{23} = -\sin(q_5)(\cos(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\sin(q_3) + \cos(q_3)\sin(q_2)) + \sin(\frac{\pi}{2} + q_4)(\cos(q_2)\cos(q_3) - \sin(q_2)\sin(q_3))) \quad (15)$$

$$a_{33} = \sin\left(\frac{\pi}{2} + q4\right)(\cos(q2)\sin(q3) + \cos(q3)\sin(q2)) - \cos\left(\frac{\pi}{2} + q4\right)(\cos(q2)\cos(q3) - \sin(q2)\sin(q3)) \quad (16)$$

$$a_{43} = (21\sin(q2))/2 + (21\cos(q2)\sin(q3))/2 + (21\cos(q3)\sin(q2))/2 - 12\cos\left(\frac{\pi}{2} + q4\right)(\cos(q2)\cos(q3) - \sin(q2)\sin(q3)) + 12\sin\left(\frac{\pi}{2} + q4\right)(\cos(q2)\sin(q3) + \cos(q3)\sin(q2)) + 10 \quad (17)$$

Una vez obtenidos estos parámetros se procede a realizar el cálculo de la cinemática inversa, con el objetivo de estimar los valores de las coordenadas articulares (q) que deben tomar los actuadores del robot para que la pinza en el extremo tome la posición y la orientación deseadas.

Cinemática inversa

Se determina el cálculo del vector de coordenadas articulares “ q ” partiendo de la posición inicial del brazo, como se puede observar en la Fig. 8.

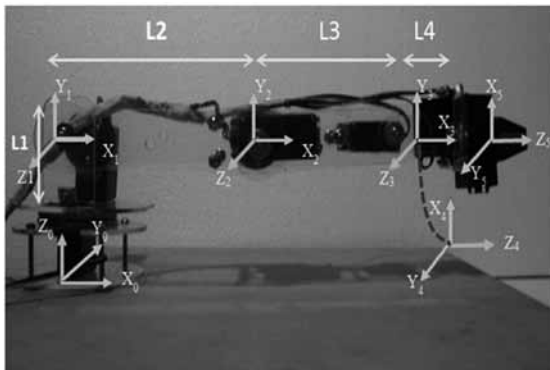


Fig. 8 Ejes de las articulaciones

Como primera instancia se determina el punto de muñeca (Pm) para proceder con el cálculo de los ángulos.

$$Pm = P_5 - L_4 Z_5 \quad (1)$$

Se resuelve r como la distancia entre los ejes iniciales y el punto Pm , teniendo como

resultado la ecuación:

$$r = \sqrt{Pm (X_0)^2 + Pm (Y_0)^2} \quad (2)$$

Con los dos parámetros anteriores determinados se procede al cálculo de q_1 , para el cual se toma una vista de techo del brazo (Fig. 9).

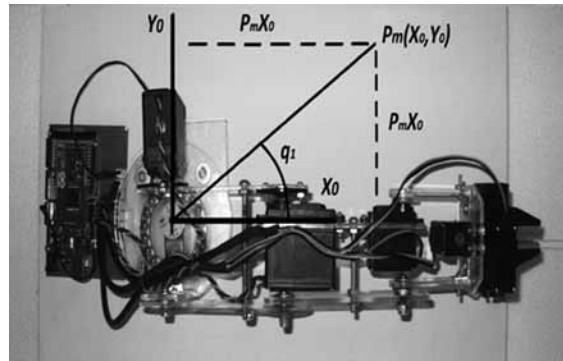


Fig. 9 Vista superior del brazo

Donde q_1 puede ser calculado como:

$$q_1 = \text{atan2}(PmX_0, PmY_0) \quad (3)$$

Para el cálculo de q_3 se tiene el esquema representado en la Fig. 10, el cual muestra la vista lateral del brazo.

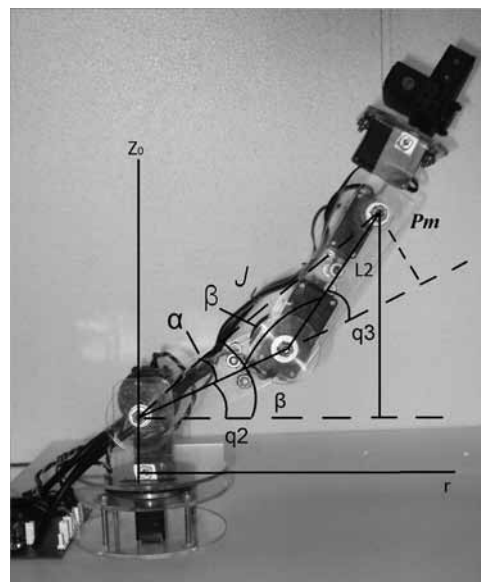


Fig. 10 Vista lateral del brazo

Donde $codo = 1$ o -1

$$M = \frac{j^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} \quad (4)$$

$$q_3 = \text{atan2}(codo \sqrt{1 - \left(\frac{j^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3}\right)^2}; M) \quad (5) \therefore$$

$$j^2 = r^2 + (P_m X_0 - L_1)^2 \quad (6)$$

Para el cálculo de q_4 se distinguen los parámetros representados en la Fig. 11, por lo cual q_4 se puede calcular como:

$$q_4 = \text{atan2}(-(X_3 X_5); (X_3 Z_5)) \quad (7)$$

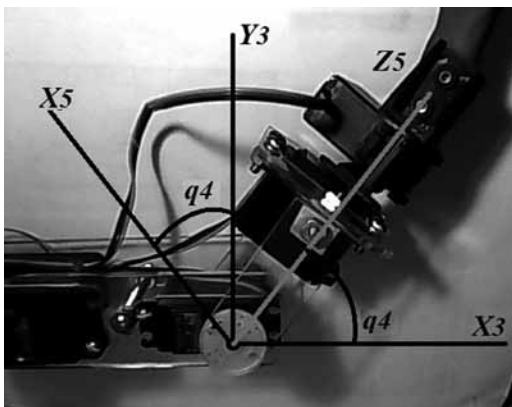


Fig. 11 Vista lateral del brazo contrario al eje Z3

Para el cálculo de q_5 se puede ver el esquema de la Fig. 12 donde se observa una vista frontal del brazo.

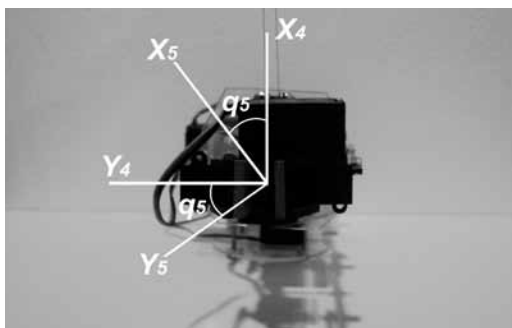


Fig. 12 Vista frontal del brazo contrario al eje Z5

$$Y_4 \cdot Y_5 = \text{Cos}(q_5) \quad (8)$$

$$X_4 \cdot Y_5 = \text{Cos}(90 + q_5) \quad (9)$$

$$X_4 \cdot Y_5 = -\text{Sen}(q_5) \quad (10)$$

$$q_5 = \text{atan2}(-X_4 \cdot Y_5; Y_4 \cdot Y_5) \quad (11)$$

RESULTADOS

Fueron realizadas distintas prácticas comprobando así que el brazo realizaba las trayectorias definidas de manera exacta a las indicadas.

El bajo costo que caracteriza el desarrollo de este dispositivo permite que su replicación pueda ser efectuada con relativa facilidad por aquellos interesados.

En la Fig. 13 y en la Fig. 14 se puede observar el brazo realizando una serie de movimientos indicados a manera de comprobar que efectivamente representaba con exactitud las órdenes de la secuencia que debía seguir para realizar todo el proceso.

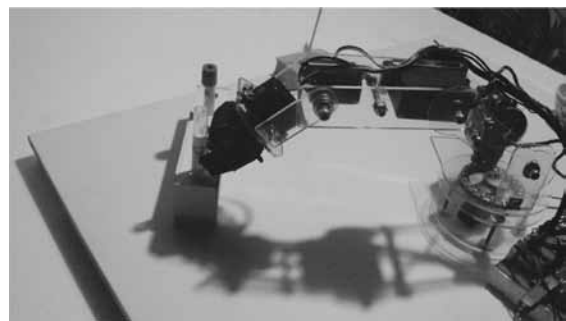


Fig. 13 Brazo tomando la probeta

El dispositivo podrá ser implementado donde el espacio de movilización del brazo permita su correcto funcionamiento.

En la Fig. 15 se puede observar la variación gráfica en el tiempo que van describiendo

los ángulos en las articulaciones durante el desarrollo de toda la aplicación.

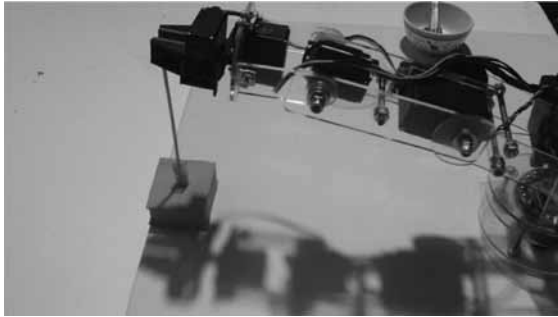


Fig. 14 Brazo tomando el asa

CONCLUSIONES

- Se corroboró, por medio de la implementación de la cinemática directa e inversa, que el brazo describiera las trayectorias estipuladas para su localización a lo largo del tiempo en los lugares especificados.
- En las aplicaciones industriales un brazo con las características que integra el desarrollado en este proyecto sería una buena herramienta de apoyo, por sus diversas ventajas, tanto en agilidad, eficiencia, velocidad, además que puede ser reprogramado fácilmente para que cumpla con el desplazamiento de cargas en diferentes trayectorias.
- El desarrollo de esta plataforma pedagógica brinda la oportunidad de acrecentar habilidades en programación y robótica, aplicando los conocimientos teóricos adquiridos y ya que su implementación no requiere costos elevados permite su acceso a los diferentes grupos de trabajo interesados en dicha capacitación.
- Se logró que la plataforma fuese un sistema de aprendizaje y a su vez desempeñara una aplicación real de tipo industrial, económica, implementando materiales y dispositivos que cumplen con las necesidades requeridas a un bajo costo, lo cual genera el interés y motivación por otras personas a desarrollar proyectos similares con el ánimo de au-

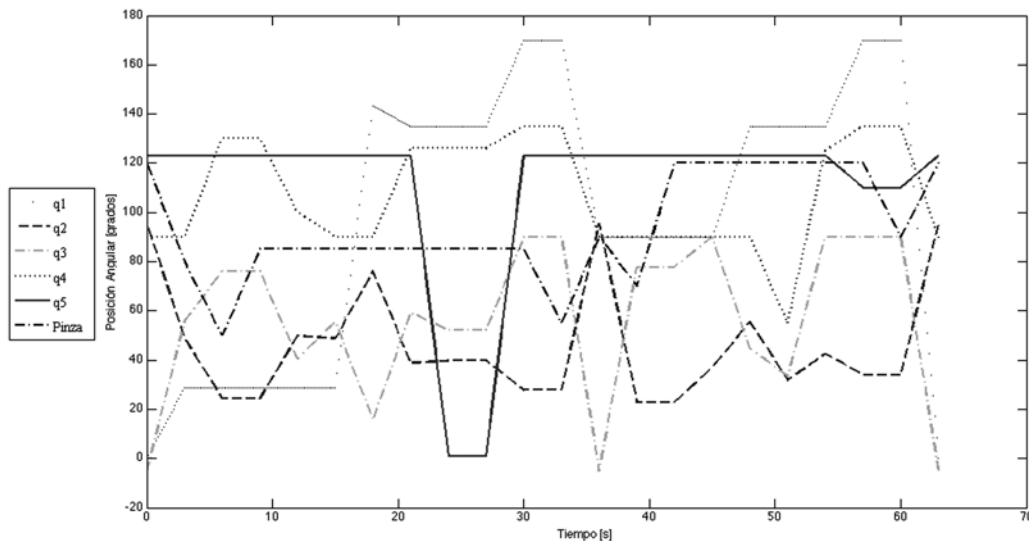


Fig. 15 Variación de los ángulos

mentar sus destrezas y buscar soluciones a los problemas rutinarios.

- Mediante el desarrollo de este proyecto se evidenció un mayor interés por parte de los estudiantes del curso de robótica, debido a que veían reflejados los conocimientos adquiridos en una aplicación real. Además les permitió ver algunos inconvenientes que surgen al implementar un sistema real y darles sus respectivas soluciones.

REFERENCIAS

- [1] V. F. Martínez, La automática y la robótica aplicadas a la medicina. *I Workshop Español de Robótica, ROBOT*. Zaragoza, 2007, p. 1223.
- [2] T. Bermejo Vicedo, C. Pérez Menéndez Conde, “Aplicación de las nuevas tecnologías a la farmacia hospitalaria en España”. *Farm Hosp*, Vol. 31. No. 1, pp. 17-22, 2007.
- [3] O. F. Dueñas García, H. Rico Olvera y J. J. Beltrán Montoya, “Telemedicina y cirugía robótica en ginecología”. *Medigraphic Artemisa*, 161-166, 2008.
- [4] J. D. Ramírez y C. A. Grajales, “La robótica en la medicina”. *Ventana Informática*, 1-10, 2004.
- [5] L. W. Sun, C. Shatin y C. K. Yeung, “Port placement and pose selection of the da Vinci surgical system for collision-free intervention based on performance optimization”. Presentado en: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2007. [conference publications]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=4398943>
- [6] C. Arroyo. “Cirugía Robótica”. *Elementos, Ciencia y Cultura*. Vol. 12, No. 58, pp. 13-17. Abril, 2005.
- [7] Y. M. Sánchez, N. C. Cruz, A. M. Fernández y O. J. Machado, “La nanotecnología y sus posibilidades de aplicación en el campo científico-tecnológico”. *Revista Cubana de Salud Pública*, 1-9, 2009.
- [8] A. Barrientos, *Fundamentos de Robótica*. España: McGraw-Hill, pp. 125-130, 2007.
- [9] J. M. Buitrago, *Técnicas y métodos de laboratorio clínico*. Barcelona: Elsevier Masson, 2010.
- [10] D. J. Aznar, *Manual de obtención y manejo de muestras para el laboratorio clínico*. Andalucía: Servicio Andaluz de Salud, 2009, pp. 12-24.