

Diseño, construcción e implementación de una plataforma robótica multifuncional con propósitos educativos - Majad 1.0¹

Design, construction and implementation of a multifunctional robotic platform with educational purposes - Majad 1.0

M. Cardona, A. J. Márquez, J. A. Hernández y C. A. Peña

Recibido Septiembre 12 de 2012 – Aceptado Noviembre 20 de 2014

Abstract: This paper presents the design, construction and Resumen—En este trabajo se presenta el diseño, construcción e implementación de una plataforma robótica multifuncional para fines didácticos MAJAD 1.0, que está orientada hacia el uso de los recursos reciclables y disponibles en el mercado con la intención de reducir los costos y utilizarlos de manera eficiente y eficaz. Se inicia con una revisión del estado del arte sobre el tema, a continuación, la descripción del diseño mecánico, luego la explicación del sistema de control y finalmente, las aplicaciones para el suministro de aglutinante en la fabricación de juguetes, el montaje de los componentes del juguete, pintura de la pieza montada y empaquetado de los juguetes terminados.

Palabras clave— Union, Aglutinante, Empaquetado, Pintura, Enseñanza, Plataforma.

Abstract: This paper presents the design, construction and implementation of a multifunctional robotic platform for didactic purposes MAJAD 1.0, which is oriented towards the use

of commercially available resources and recyclable with intent to reduce costs and use them efficiently and effectively. It starts with a review of the state of the art on the theme, then the description of the mechanical design, after that the explanation of the control system and finally the applications for the supply of binder in the manufacture of toys, assembling the components the toy, painting of the piece assembled and finished toy packaging.

Key Words: join, binder, packaging, painting, teaching, platform.

I. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que posee innovación tecnológica de manera limitada, sin que represente una competencia sobresaliente en comparación con otras naciones, por ello las empresas dedicadas a ofrecer este tipo de servicios son reducidas, conllevando a la necesidad de importar productos y servicios de carácter tecnológico.

Un ejemplo claro de las carencias tecnológicas en el país se visualiza en la necesidad de importar grandes clases o tipos de maquinaria en los sistemas de automatización. Dentro de los cuales, se encuentran los brazos robóticos especialmente de tipo industrial. En efecto, en la Universidad de Pamplona se desea realizar un acercamiento a la realidad laboral de cómo se pueden comportar estos manipuladores en la industria, es decir, se diseñan prototipos que representan el funcionamiento mecánico y electrónico a escala. El desarrollo de este tipo de plataformas genera un beneficio y

¹ Producto derivado del proyecto de Investigación “Diseño de robot didácticos de bajo costo para el fomento y la enseñanza de la robótica”, apoyado por la Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona a través del Grupo de Investigación Automatización y Control.

M. Cardona, A. J. Márquez, J. A. Hernández, C. A. Peña, Miembros del grupo de investigación de Automatización y Control – A&C – SIARC de la Universidad de Pamplona.

despiertan un interés de manera que se rompan esquemas en la sociedad. Es prácticamente la razón por la cual se fomenta la implementación de plataformas robóticas con la finalidad de presentar un producto multifuncional que beneficie el manejo y aprendizaje de la robótica en la institución.

II. ESTADO DEL ARTE

Durante muchos años la mecánica ha sido integrada con la electrónica y la informática permitiendo generar desarrollos robóticos. La robótica industrial es una rama muy amplia de estudio, debido a que involucra todo lo referente a dispositivos de automatización, herramientas, efectores finales, dispositivos electrónicos y controladores de movimiento a través de recursos mecatrónicos. En esta ocasión se trabajó un brazo robótico de tipo antropomórfico con una aplicación en la rama de robots industriales, pero con una visión didáctica. Según la Asociación Internacional de Robótica (RIA) un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas [1].

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) quien define al robot industrial como: manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas (ISO 8373,1994).

Desde luego, es necesario añadir que lo común en todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Entre estos robots industriales se pueden encontrar los robots de pintura, robots que vierten aglutinante, robots ensambladores, y los robots de embalaje, entre otros.

Los robots de pintura surgieron gracias a un joven ingeniero llamado Ole Molaug, por la necesidad de pintar las carretillas de una pequeña empresa agrícola ubicada en Noruega, su robot fue tan exitoso que comenzó a comercializarse en gran manera hasta que fue adquirido por la ASEA que luego se fusionó con la empresa Suiza Brown Boveri para formar ABB [2].

Las aplicaciones de robots de pintura han venido mejorando de acuerdo a la incorporación de los avances tecnológicos. Un ejemplo relevante fue la inclusión de sistemas de visión artificial [3]. De igual forma han obtenido mejoras como la implementación de más grados de libertad, logrando ampliar el espacio de trabajo para abarcar superficies de mayor tamaño, la inclusión de controladores para ajustar el caudal de aire minimizando el exceso de pulverización de la pintura [4]. En la actualidad varias empresas e institutos del sector se dedican a investigar, diseñar e implantar mejoras en este tipo de procesos [5], [6], [7], [8]. Un ejemplo relevante

que cabe resaltar es el MOTOMAN EPX1250 de la empresa YASKAWA, el cual es muy compacto, rápido y eficiente.

Entre los robots que aplican aglutinante se encuentran el robot KR 6 R900 de la empresa KUKA el cual es novedoso y se ha caracterizado por ser muy versátil en estas aplicaciones debido a que su control en las articulaciones es muy bueno, sus tiempos de operación realizando la tarea son reducidos, además tiene gran flexibilidad gracias a sus 6 grados de libertad. Se pueden encontrar varias empresas que también distribuyen estos tipos de robots como lo son STÄUBLI, ADEPT, EPSON, JANOME, BROKK, MTA, MACRON, y BOSCH entre otras.

Para operaciones de ensamblado de piezas existe una gran variedad de robots, entre ellos se pueden encontrar los robots paralelos, los cuales son muy útiles ya que pueden alcanzar grandes velocidades [10] con una alta precisión, sin embargo se caracterizan por un reducido espacio de trabajo. Por esta razón se implementan con mayor frecuencia los robots de tipo antropomórfico, los cuales cubren un mayor espacio de trabajo facilitando su implementación en las líneas de ensamblaje [11], [12]. Entre estos robots se pueden referenciar las diferentes gamas de la empresa ABB y KUKA los cuales cuentan con gran prestigio debido a su gran versatilidad.

Los robots de paletizado son los encargados de embalar y muchas veces almacenar los productos finales de una línea de producción, estos robots presentan ventajas en cuanto a su velocidad y costo pero sus estructuras suelen ser muy rígidas por lo tanto se dificulta su modificación en su tarea de carga y descarga.

Dejando a un lado los robots de tipo industrial, se pueden definir los robots didácticos o experimentales, como aquellos robots que están destinados al aprendizaje y a la enseñanza de la robótica, muchas veces estos robots no cumplen una tarea específica, ya que pueden ser programados para realizar una variedad de tareas siempre y cuando su estructura se lo permita.

Estos tipos de robots pueden existir, tal como las plataformas robóticas *estáticas que son aquellos* que van sobre una base fija y no pueden ser retirados de la misma, y las plataformas robóticas móviles, las cuales permiten realizar movimientos sobre diferentes superficies. Estos tipos de robots son muy utilizados en las instituciones de educación como material pedagógico hacia la robótica y sus aplicaciones. El robot propuesto realiza las tareas de vertimiento de aglutinante, ensamblado de piezas, pintado de las piezas ensambladas y el embalaje del producto terminado.

III. GENERALIDADES DEL DISEÑO

En principio la forma general del diseño fue inspirado del robot Mitsubishi RV-M1 (figura 1) y posteriormente

se realizaron modificaciones pertinentes para mejorar su rendimiento en la aplicación propuesta, tal como se aprecia en la figura 2. Este consta de 4 grados de libertad que le permite moverse sobre un amplio espacio de trabajo. Cada grado de libertad es operado por medio de un servomotor que tiene un rango de acción entre 0 y 180 grados. El material escogido para la construcción de la estructura mecánica del brazo robótico fue el acrílico, ya que es fácil de maquinar, reciclable, cuenta con una resistencia a la rotura de aproximadamente 492 Kg/cm^2 (Norma ASTM D-638), una resistencia al impacto IZOD de $2,4 \text{ Kg/cm}^2$ (Norma ASTM D-256A) y además es muy liviano (peso específico de $1,19 \text{ g/cm}^3$ según Norma ASTM 792) en comparación con otros materiales como el aluminio o el acero. Otra de las propiedades del acrílico es su resistencia a la intemperie y que es estable hasta temperaturas de 80°C . Uno de los principales motivos para la selección de este material fue su bajo costo y fácil adquisición lo cual facilita la replicación del prototipo por parte de estudiantes de bajos recursos económicos de otras universidades.



Fig. 1. Robot MITSUBISHI RV-M1.



Fig. 2. Brazo robótico propuesto.

El diseño del segundo eslabón (obsérvese que no es recto) también permite una mayor accesibilidad a posiciones cercanas a la base del brazo robótico, factor de gran importancia porque incrementa su alcance sobre la plataforma, (figura 3) además cuenta con una equilibrada proporción en los pesos del mismo.

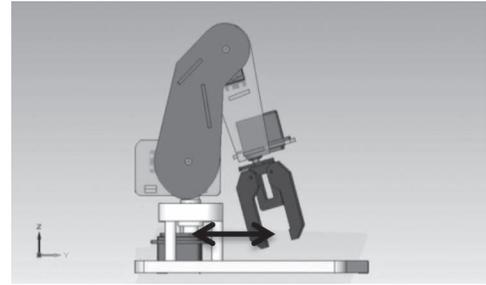


Fig. 3 (a). Corto alcance (7.1 cm).

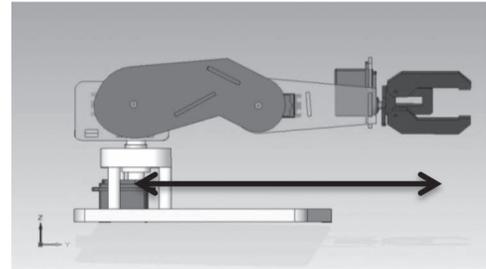


Fig. 3 (b). Alto alcance (31,3 cm).

Como efector final en esta plataforma didáctica se utiliza una pinza multifuncional, la cual permite realizar las aplicaciones de ensamblado, pintura, suministro de aglutinante y embalaje; de esta manera se hace uso de un solo robot para realizar todas estas operaciones gracias a que cada dispositivo se encuentra en una posición predeterminada en el extremo final del brazo robótico que conforma la plataforma.

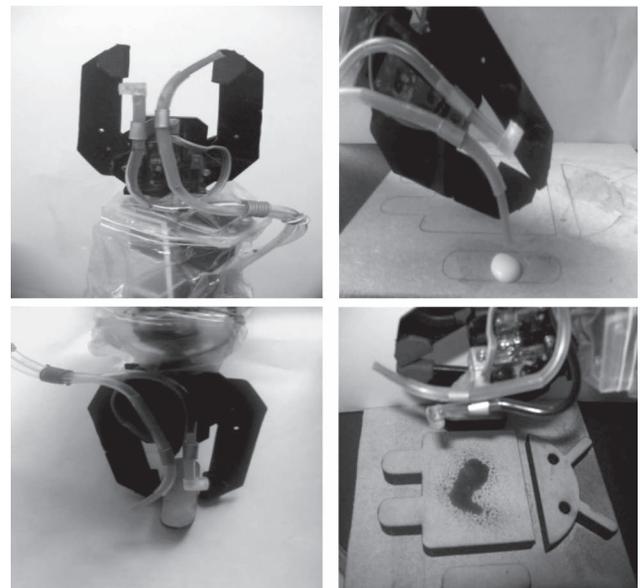


Fig. 4(a) Efector final, (b) Vertimiento de aglutinante, (c) Ensamble de piezas, (d) Pintado de piezas.

En cuanto a los motores, se utilizaron servomotores Tower Pro MG945 que poseen un torque de 12 Kgf-cm , una velocidad de trabajo de $0,25 \text{ sec}/60^\circ$ a $4,8\text{V}$, recibe la información de referencia por medio de una señal PWM y su controlador esta embebido y se basa según su fabricante

en una modulación análoga que le permite una actualización de referencias a una frecuencia de 30Hz. Adicionalmente su piñonaría es de metal. Estos servomotores fueron escogidos debido a que poseen un torque que cumple fácilmente con los requerimientos de la estructura del robot (el mayor torque requerido por la estructura corresponde a la segunda articulación y es de aproximadamente 8,2 Kgf-cm) y la velocidad alcanzada durante el desarrollo de las aplicaciones es adecuada.

En cuanto al control cinemático del brazo se implementaron los algoritmos en Matlab y por medio de una controladora SERCOM se generan las señales de referencia (PWM) hasta los servomotores de forma simultanea. La comunicación entre el computador y esta tarjeta se realiza por medio del bus USB (si se desea también se puede utilizar por RS232).

IV. ANÁLISIS CINEMÁTICO

A. Cinemática Directa

La cinemática directa permite determinar la orientación y posición del extremo final del robot, con respecto a su sistema de coordenadas de referencia, fue desarrollada por el método Denavit-Hartenberg (ver fig. 5).

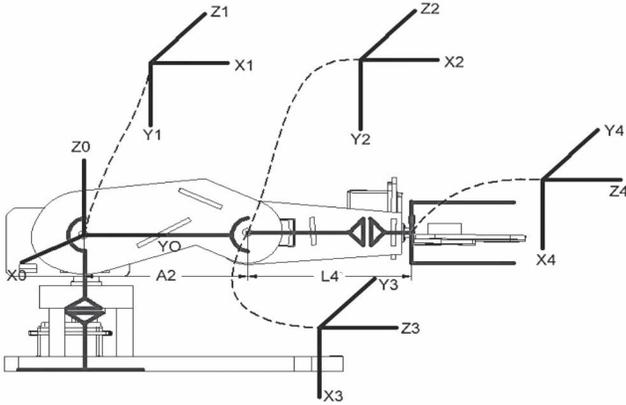


Fig. 5. Sistema coordinado de cada articulación

Luego se obtienen los parámetros D-H.

TABLA I
PARÁMETROS DENAVIT-HARTENBERG

Articulación	Θ	d	a	α
1	$90+q_1$	0	0	-90
2	q_2	0	A_2	0
3	$90+q_3$	0	0	90
4	q_4	L_4	0	0

La tabla anterior corresponde a los parámetros de Denavit-Hartenberg, se obtiene la siguiente matriz.

Donde los vectores \mathbf{n} , \mathbf{o} , \mathbf{a} y \mathbf{p} son (las funciones seno y coseno y se representan por su primera letra y el ángulo por el subíndice de la articulación correspondiente):

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} c_4(c_2s_1s_3 + c_3s_1s_2) - c_1s_4 \\ -s_1s_4 - c_4(c_1c_2s_3 + c_1c_3s_2) \\ -c_4(c_2c_3 - s_2s_3) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{o} = \begin{bmatrix} -c_1c_4 - s_4(c_2s_1s_3 + c_3s_1s_2) \\ s_4(c_1c_2s_3 + c_1c_3s_2) - c_4s_1 \\ s_4(c_2c_3 - s_2s_3) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} -s_1s_2^2 - c_2c_3s_1 \\ c_1s_2^2 + c_1c_2c_3 \\ c_2s_2 - c_3s_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} -L_4(s_1s_2^2 + c_2c_3s_1) - A_2c_2s_1 \\ L_4(c_1s_2^2 + c_1c_2c_3) + A_2c_1c_2 \\ L_4(c_2s_2 - c_3s_2) - A_2s_2 \end{bmatrix}$$

B. Cinemática Inversa

La cinemática inversa permite determinar las coordenadas articulares que debe tomar el robot para alcanzar una posición y orientación del extremo conocidas.

a) Procedimiento para encontrar

Tomando la vista superior del robot (figura 6), se visualizan los ejes (X_0, Y_0) del sistema fijo, con el fin de calcular por medio de la identificación de la rotación sobre el eje Z_0 , como:

$$q_1 = \text{atan2}(-X, Y) \quad (6)$$

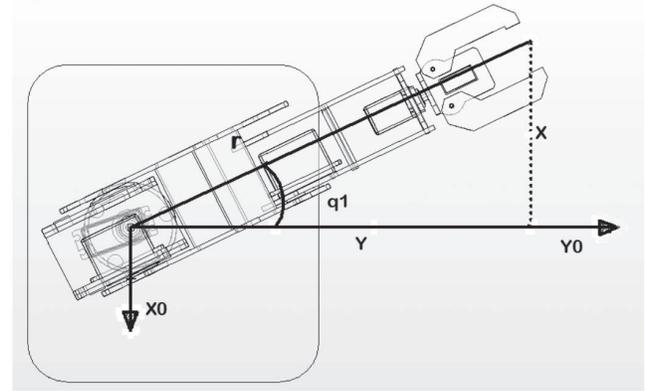


Fig. 6. Articulación 1 vista superior

b) Procedimiento para encontrar q_2 y q_3

Se hace un pequeño giro en y mirando el robot desde la vista frontal (figura 7) y visualizándolo desde el sistema fijo (X_0, Y_0, Z_0) , para tener una panorámica en longitud verdadera de cada uno de los eslabones y encontrar y_2 y q_3 .

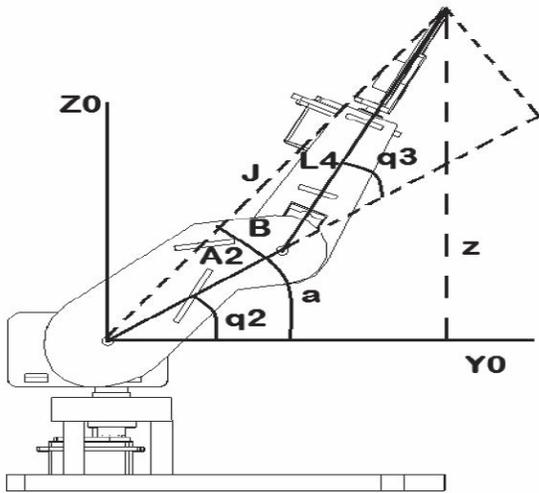


Fig. 7. Vista frontal del robot

Para determinar el valor de q_2 se utiliza la ley de los cosenos

$$J^2 = A_2^2 + L_4^2 - 2A_2L_4\cos(180 - q_3) \quad (7)$$

Luego se despeja el coseno de q_3 de la ecuación (7) y se obtiene:

$$\cos(q_3) = \frac{J^2 - A_2^2 - L_4^2}{2A_2L_4} \quad (8)$$

Para calcular el ángulo (teniendo en cuenta los 4 cuadrantes) se calcula la ecuación (9) por medio de identidades trigonométricas, que al combinarla con la ecuación (8) se obtiene la ecuación (10).

$$\text{sen}(q_3) = \sqrt{1 - \cos^2(q_3)} \quad (9)$$

$$q_3 = \text{atan2}(\text{sen}(q_3), \cos(q_3)) \quad (10)$$

Como se puede observar en la figura 7 la coordenada articular se puede calcular por medio de los ángulos auxiliares: a y B de acuerdo a la ecuación (11).

$$q_2 = a - B \quad (11)$$

Donde:

$$a = \text{atan2}(Z, r) \quad (12)$$

$$r = L_4 + A_2 \quad (13)$$

$$B = \text{atan2}(L_4\text{sen}(q_3), A_2 + L_4\cos(q_3)) \quad (14)$$

Sustituyendo (12) y (14) en (11) se obtiene:

$$q_2 = \text{atan2}(Z, r) - \text{atan2}(L_4\text{sen}(q_3), A_2 + L_4\cos(q_3)) \quad (15)$$

c) Procedimiento para encontrar q_2 y q_3

Sabiendo que el producto punto entre dos vectores unitarios es el coseno del ángulo comprendido entre los mismos, se obtienen las ecuaciones (16) y (17).

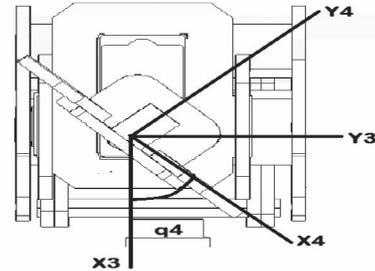


Fig. 8. Articulación 4 vista desde el eje Z4

$$X_3 \cdot X_4 = \cos(q_4) \quad (16)$$

$$Y_3 \cdot X_4 = \cos(90 - q_4) \quad (17)$$

Al combinar (16) y (17) se obtiene el valor de la coordenada articular q_4 .

V. RESULTADOS

La Plataforma Robótica Multifuncional con Propósitos Didácticos MAJAD 1.0 está configurada para realizar cuatro aplicaciones que cumplen con el proceso de ensamble de un juguete, tales aplicaciones serán explicadas a continuación.

a) *Suministro de aglutinante en la fabricación de un juguete.*

El efector final encargado de esta función, se ubica sobre la posición final de la pinza que ensambla el juguete de modo que proporcione adhesivo sobre cada una de las partes que lo componen. Este dispositivo tiene forma tubular en su parte final y esta precedido por una manguera a cual está conectada a un cilindro tipo pistón, cuyo desplazamiento es controlado por un servomotor que regula la cantidad de aglutinante que suministra.

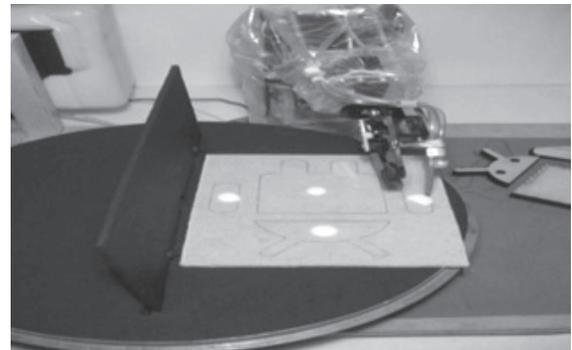


Fig. 9. Suministro de aglutinante

b) *Ensamble de las piezas que componen el juguete.*

Esta aplicación consiste en el ensamblaje del modelo de la figura 10. El proceso inicia tomando cada una de estas piezas (en una posición predeterminada) y las posiciona de modo que forme la figura del juguete.

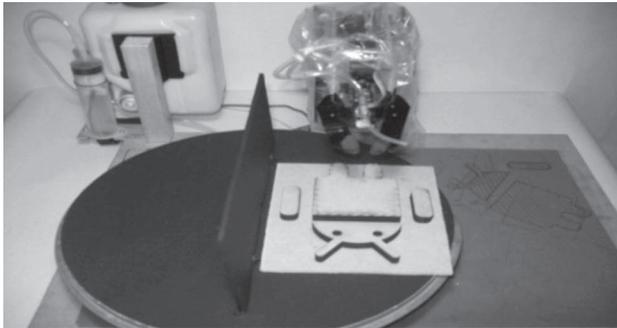


Fig. 10. Juguete ensamblado.

c) *Pintado de las piezas ensambladas.*

Esta aplicación consiste en pintar el juguete tal como se ilustra en la figura 11. El brazo se localiza sobre la superficie objetivo y la cubre por completo con la pintura. Para llevar a cabo esta operación el robot realiza una trayectoria recorriendo varias veces la superficie con el fin de mejorar el acabado. Una vez se culmina el proceso de pintura se transporta el juego a la zona de secado. El suministro de pintura es proporcionado por una electro-bomba que impulsa la pintura a través de una manguera hasta llegar al efector final del robot donde está ubicado el dispersor.



Fig. 11. Suministro de pintura.

d) *Embalaje y paletizado del producto final.*

En esta parte del proceso, el brazo robótico ubica el juguete o producto final ya terminado a un costado de la plataforma en su respectiva caja y así se da por finalizado el proceso.

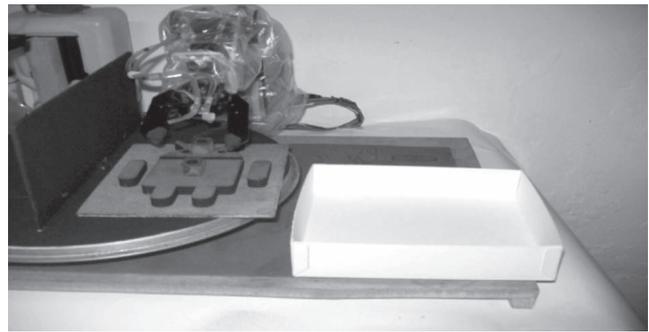


Fig. 12. Embalaje del producto final

e) *Comportamiento articular en el transcurso del tiempo.*

La Plataforma Robótica Multifuncional con Propósitos Didácticos MAJAD 1.0 está configurada para tomar distintos valores angulares en cada una de sus diferentes articulaciones, esto con el fin de brindar mayor movilidad y así lograr los desplazamientos correspondiente en el espacio de la tarea. A continuación se observa un gráfico que muestra el comportamiento angular en el transcurso del tiempo en cada una de las aplicaciones.

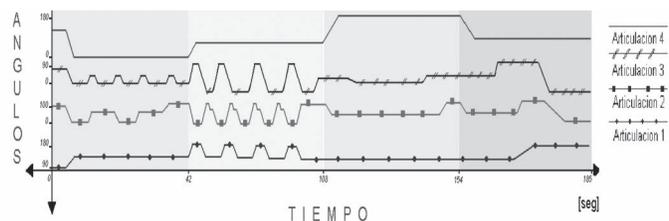


Fig. 13. Comportamiento en el tiempo del espacio de la tarea.

VIII. CONCLUSIONES

El robot propuesto, a pesar de ser de bajo costo y de tipo educacional, superó las expectativas propuestas, debido a que permite el desarrollo de diversas prácticas tales como análisis y control cinemático e incentiva a los estudiantes en el desarrollo de aplicaciones reales.

Las aplicaciones plateadas en este trabajo hacen parte de procesos que se ven a diario en la industria y son un claro ejemplo de cómo un sistema robótico puede servir para la automatización de dichos procesos.

Los resultados obtenidos al utilizar el acrílico como material de construcción fueron muy satisfactorios, teniendo en cuenta el diseño de productos sostenibles en cuanto a que son reciclables, además de proporcionar ventajas como la reducción de peso que le permite a los servomotores responder adecuadamente.

REFERENCIAS

- [1] Barrientos, A.; Peñin, L.; Balaguer, C. & Aracil, R., *Fundamentos de Robótica*. McGraw Hill. Madrid, 2007
- [2] David Marshall, Christina Bredin "Historia de un éxito" Revista ABB vol 2 pp. 56-57, 2008
- [3] Labourdette, H. "Más productividad, menos polución". Revista ABB vol 2 pp. 58-61.2007.
- [4] Yoshida, O. "Más colores, menos pérdidas". Revista ABB vol 1 pp. 43-46, 2006
- [5] Kyoung Taik Park; Doo Hyeong Kim; Chang Don Lee; Han Me Kim; "Power assistance system of working habiliments type for painting worker in ship building," Digital Ecosystems and Technologies Conference (DEST), 2011 Proceedings of the 5th IEEE International Conference on , vol., no., pp.247-250, May 31 2011-Junio 3 2011
- [6] Li, Xiongzi; Landsnes, Oeyvind A.; Chen, Heping; Sudarshan M-V, -; Fuhlbrügge, Thomas A.; Rege, Mary-Ann; , "Automatic Trajectory Generation for Robotic Painting Application," Robotics (ISR), 2010 41st International Symposium on and 2010 6th German Conference on Robotics (ROBOTIK) , vol., no., pp.1-6, 7-9 June 2010
- [7] Yong Zeng; Jun Gong; Huifeng Ning; , "The tool trajectory optimization of spray painting robot for spherical surface," Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011 International Conference on , vol., no., pp.5570-5573, 15-17 April 2011
- [8] Zhengdong Xu; Wenhao He; Kui Yuan; , "A real-time position and posture measurement device for painting robot," Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011 International Conference on , vol., no., pp.1942-1946, 15-17 April 2011
- [9] Wen-Chung Chang; Yi-HuanWeng; Ya-Hui Tsai; Chun-Lung Chang; "Automatic robot assembly with eye-in-hand stereo vision," Intelligent Control and Automation (WCICA), 2011 9th World Congress on , vol., no., pp.914-919, 21-25 Junio 2011
- [10] Kunt, E.D. "Miniaturized modular manipulator design for high precision assembly and manipulation tasks", Advanced Motion Control (AMC), 2012 12th IEEE International Workshop on pp 1 - 6, March 2012
- [11] Ping Yan; Minghai Jiao; , "Research of Multi-robot Parallel Assembly Optimization Base on PSO-SS," Robot, Vision and Signal Processing (RVSP), 2011 First International Conference on , vol., no., pp.220-223, 21-23 Nov. 2011
- [12] Hongxing Wei; Haiyuan Li; Tianmiao Wang; , "An evolutionary swarm self-assembly robot: From concept to prototype," Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.104-109, 14-18 Diciembre. 2010



Marlon Cardona Páez, nació en Campo de la Cruz, Colombia, el 1 de octubre de 1988. Se graduó de colegio Nacional de Bachillerato de Campo de la Cruz y estudio en la Universidad de Pamplona Ingeniería Mecatrónica. Es miembro del grupo de automatización y control (A&C) – semillero de investigación de automatización robótica y control de la Universidad de Pamplona. Dirección: Ciudad Universitaria - Kilometro 1 Vía a Bucaramanga, Pamplona
javer_7@hotmail.com



Alfredo José Márquez Pérez, nació en Cartagena de Indias, Colombia, el 3 de julio de 1987. Se graduó de colegio Panamericano de Cartagena y estudio en la Universidad de Pamplona Ingeniería Mecatrónica. Es miembro del grupo de automatización y control (A&C) – semillero de investigación de automatización robótica y control de la Universidad de Pamplona. Dirección: Ciudad Universitaria - Kilometro 1 Vía a Bucaramanga, Pamplona.
alfredojose115@hotmail.com



Javier Alejandro Hernández Salazar, nació en Pamplona, Colombia, el 7 de julio de 1987. Se graduó de colegio Universitario José Rafael Faria Bermúdez y estudio en la Universidad de Pamplona Ingeniería Mecatrónica. Es miembro del grupo de automatización y control (A&C) – semillero de investigación de automatización robótica y control de la Universidad de Pamplona. Dirección: Ciudad Universitaria - Kilometro 1 Vía a Bucaramanga, Pamplona
javer_7@hotmail.com



César Augusto Peña Cortes, nació en Tunja, Colombia, 1979. Profesor asociado de la Universidad de Pamplona. Obtuvo el grado de Ingeniero Electromecánico en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en 2001. El grado de Magister en Ingeniería Electrónica y de Computadores en la Universidad de los Andes en 2003 y el grado de Doctor en Automática y Robótica en la Universidad Politécnica de Madrid en 2010. Centra sus investigaciones en robótica industrial,

robótica paralela, teleoperación y automatización. Dirección: Ciudad Universitaria - Kilometro 1 Vía a Bucaramanga, Pamplona.
cesarapc@unipamplona.edu.co