

Diseño e implementación de una plataforma robótica multifuncional con fines educativos DIAR 1.0

Diego Armando Mejía Bugallo, Cesar Augusto Peña Cortes, Abelardo Mejía

diego.mejia@unipamplona.edu.co, cesarapc@unipamplona.edu.co, abmebu@hotmail.com

Universidad de Pamplona, Colombia
Km. 1 vía Bucaramanga
Pamplona - Colombia

Resumen: *En este trabajo se presenta el diseño y construcción de una plataforma robótica multifuncional con fines educativos, durante la cual se consideró la integración del diseño mecánico, electrónico, y de programación en un sistema mecatrónico al mismo tiempo incluye soluciones con herramientas ingenieriles de última generación tales como fabricación CNC. Diseñar una plataforma robótica multifuncional con fines educativos, con funciones de impresión 3d, ruteado de circuitos y dibujo, de gran versatilidad y con la capacidad de desenvolverse autónomamente ante las diferentes tareas, son algunos de los objetivos de la plataforma robótica DIAR 1.0. Gran parte de estas plataformas ya existentes funcionan modularmente, es decir, cuentan con un módulo para cada función; por lo que nuestro objetivo, es reunir todas las funciones en un solo prototipo, lo que permite tener un mayor grado de libertad de movimiento, además de utilizar la extremidad como una herramienta de trabajo común. En un solo módulo tendríamos las opciones básicas para realizar una tarea automatizada, como por ejemplo, el dibujar los planos de alguna pieza a construir y fabricar dicha pieza en 3D. 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 diferentes aplicaciones para el desarrollo de tareas.*

Palabras clave: Diseño, plataforma, CNC, módulos, control.

Abstract: *This paper presents the design and construction of a multifunctional robotic platform for educational purposes, during which was considered the integration of mechanical, electronic design, and programming in a mechatronic system at the same time includes solutions with engineering tools such as CNC manufacturing. Design a multifunctional robotic platform for educational purposes, with 3d, routing of circuits print and drawing, versatility and the ability to autonomously navigate to different tasks, are some of the objectives of the robotic platform DIAR 1.0. Much of these existing platforms work with modules, i.e. they have a module for each function; by what our objective, is meet all them functions in an only prototype, what allows have a greater degree of freedom of movement, in addition to use the tip as a tool of work common. In a single module, we would have the basic options to perform an automated task, as for example, draw the plans of any parts to build and manufacture the part in 3D. Begins with a review of the State of the art on the subject, then the description of mechanical design, then the explanation of the control system and finally, different applications for the development of tasks.*

Keywords: Desing, platform, CNC, modules, control.

1 Introducción

En la actualidad los sistemas robóticos forman parte de la vida cotidiana del ser humano, no solo la gran mayoría de industrias trabajan con robótica, los robots también son parte de equipos de rescate o son creados simplemente para nuestro entretenimiento. Si bien el desarrollo de este tipo de plataformas genera un beneficio, su propósito principal es presentarse ante la sociedad educativa como un producto versátil, multifuncional, de bajo costo, excelente rendimiento, capaz de prestar un multi-servicio eficiente. Para el desarrollo de trabajos ingenieriles en la educación.

Razón por la cual vemos la necesidad de implementar una plataforma robótica multifuncional con fines educativos, con la finalidad de presentar un producto de multitareas que beneficie a instituciones educativas, privadas y público en general.

Todo se debe a que actualmente se importan productos y servicios de carácter tecnológico de esta índole, sea para la industria como para la academia.

2 Teoría del dominio y trabajos previos

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 una plataforma robótica multifuncional de tipo cartesiana con múltiples aplicaciones 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 dibujantes, robots que imprimen en 3D y los robots para corte automático, entre otros.

Los robots dibujantes surgieron gracias a Pierre Jaquet-Droz un prestigioso relojero suizo del siglo XVIII. El cual para mejorar la venta de los relojes y pájaros mecánicos que fabricaba, creó varios autómatas. Tres de ellos siguen causando asombro en nuestra era: se les considera precursores de los robots y las computadoras, entre los desarrollos realizados por Pierre está el robot dibujante.

Fue desarrollado entre 1767 y 1774, y desde su presentación tuvo una vida itinerante. Recorrieron las cortes europeas provocando asombro y miedo. Por supuesto que incrementaron la venta de los relojes, pero su creación supuso también un salto tecnológico para los Jaquet-Droz [2].

Está hecho con más de 2 mil piezas y es capaz de realizar tres dibujos distintos: el retrato de Luis XV, una pareja real (probablemente Luis XVI y María Antonieta), un perrito con la frase Mon toutou (“mi perro”) y la figura de Cupido subido en un carruaje tirado por una mariposa como se observa en la figura 1.



Figura 1. Robot dibujante de Pierre Jaquet-Droz.

Las aplicaciones de robots de dibujantes han venido mejorando de acuerdo a la incorporación de los avances tecnológicos. Un ejemplo relevante fue la inclusión de sistemas de control numérico. 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 efector final. En la actualidad varias empresas e institutos del sector se dedican a investigar, diseñar e implantar mejoras en este tipo de procesos [3], [4], [5], [6]. Un ejemplo relevante que cabe

resaltar es el LBR iiwa figura 2, desarrollado por la empresa KUKA.

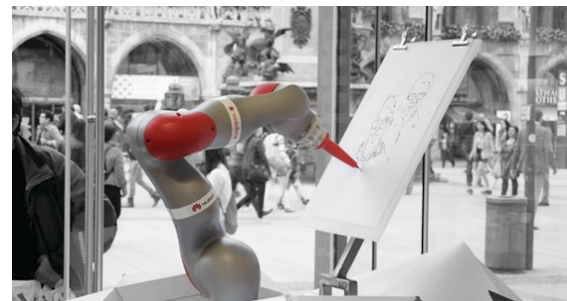


Figura 2. Robot LBR iiwa.

También existen robots cartesianos como el Denford-PCB Engraver Base, robot controlados desde una pc, capaz de rutiar circuitos impresos.

Posee tres grados de libertad, tiene un área de trabajo de 330mm*210mm*40mm, exactitudes de una décima para un solo eje y dos décimas para la combinación de ejes. Control de posición de herramienta con motores paso a paso figura 3.



Figura 3. Robot Denford-PCB Engraver Base.

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.

Se encuentran trabajos realizados académicamente, pero con la características de que estas máquinas solo pueden desarrollar una sola actividad, como lo es el trabajo realizado por Diego A. Alonso, “CNC milling machine prototype for Printed Circuit Boards” [11], este trabajo se caracteriza por solo realizar circuitos impresos. En cuanto a máquinas de dibujo se encuentra el trabajo “Construcción de prototipo de robot industrial cartesiano X-Y para el trazado sobre láminas de metal” [12], en cuanto al diseño y construcción de impresoras 3D, se encuentran trabajos como “Desarrollo de un robot paralelo para la impresión en 3D” [13], trabajo el cual consiste en la metodología de diseño para poder realizar dicho robot.

Estos tipos de robots son muy utilizados en las instituciones de educación como material pedagógico hacia la robótica y sus aplicaciones. La plataforma propuesta realiza las tareas impresión en 3D, dibujo de planos en 2D y ruteado de circuitos electrónicos. Plataforma necesaria para el ambiente educativo ya que abarca tres tareas fundamentales a la hora de desarrollar sistemas Mecatrónicos.

3 Generalidades del diseño

En principio la forma general del diseño fue basado en la impresora 3D Prusa, y posteriormente se realizaron modificaciones pertinentes para mejorar su área de trabajo, maximización del eje Z, rendimiento en las aplicaciones propuestas, tal como se aprecia en la figura 4.

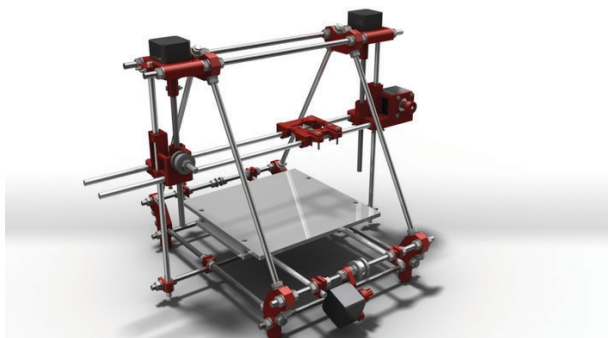


Figura 4. Estructura mecánica de la plataforma DIAR.

Este consta de 3 grados de libertad que le permite moverse sobre un amplio espacio de trabajo. Cada grado de libertad es operado por medio de un motor paso a paso que tiene un mínimo movimiento de 0.05° grados.

El material escogido para la construcción de la estructura mecánica de la plataforma fueron varillas roscadas metálicas y uniones de material en ABS, ya que es fácil de maquinar, cuenta con una alta resistencia a la rotura y además es muy liviano en comparación con otros materiales como el aluminio o el acero figura 5. 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.



Figura 5. Uniones de la estructura para la plataforma DIAR 1.0.

El diseño de la plataforma está basada en triángulos estructura la cual ofrece mayor rigidez, también permite una mayor estabilidad minimiza vibraciones con respecto al efector final, ofrece fácil accesibilidad a cualquier parte de la plataforma, factor de gran importancia porque a la hora del mantenimiento facilita el mismo, además cuenta con una equilibrada proporción en los pesos del mismo disminuyendo vibraciones en la plataforma.

Como efector final en esta plataforma didáctica se utiliza un extrusor de impresora 3d, el cual permite realizar las aplicaciones impresión en 3D, también tiene como efector final un porta lápiz, el cual permite dibujar los planos de piezas en 2D y por ultimo posee como efector final un motor con broca para circuitos impresos diseñados; de esta manera se hace uso de una sola plataforma para realizar todas estas operaciones gracias a que se cuenta con un sistema de control basado en código-g aplicado a todas estas tareas realizadas por la plataforma.

En cuanto a los motores, se utilizaron motores paso a paso nema 17 que poseen un torque de 44 N*cm, reciben la información por medio de un driver A4988 y su control se basa según la información de mando proveniente del código-g como se puede ver en la figura 6.

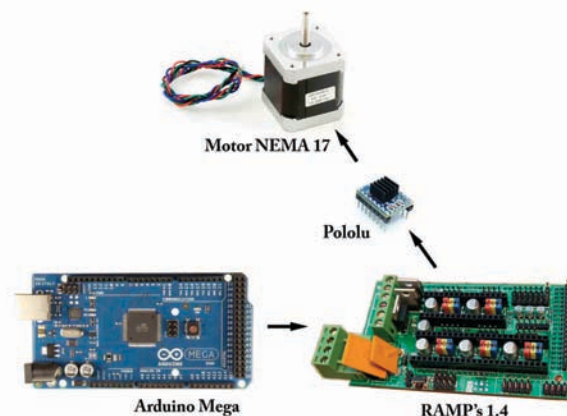


Figura 6. Electrónica para control de motores.

Estos motores fueron escogidos debido a que poseen un torque que cumple fácilmente con los requerimientos de la estructura de la plataforma y la velocidad y precisión alcanzada durante el desarrollo de las aplicaciones es adecuada.

En cuanto al control cinemático de la plataforma se implementaron los algoritmos en una Arduino mega2560 y por medio de una shiel ramps 1.4 y los driver A4988 se generan las señales de control hasta los motores paso a paso. La comunicación entre el computador y esta tarjeta se realiza por medio del bus USB.

El diseño de la arquitectura electrónica es fundamental para la plataforma robótica DIAR 1.0, ver figura 7. Está basado en una arduino mega 2560, una ramps 1.4, drivers a4988. La shield ramps cuenta con salidas que además de controlar los motores paso a paso, controlan la temperatura del hotend para la impresión 3D, en el caso de realizar los trabajos de ruteo controlan el motor que mueve la broca escariadora.

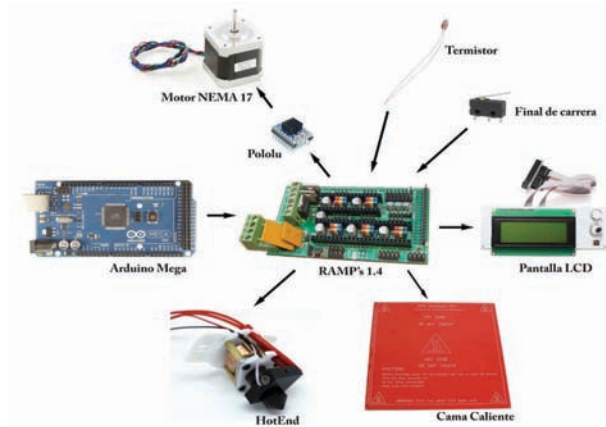


Figura 7. Arquitectura electrónica.

El software de control utilizado para la plataforma DIAR 1.0, es el Pronterface el cual es software de código abierto, este se encarga de leer el archivo Gcode, y enviar los comandos necesarios según la operación a realizar, también posee un control manual, es caso tal de que se deseen hacer operaciones sencillas ver figura 8.

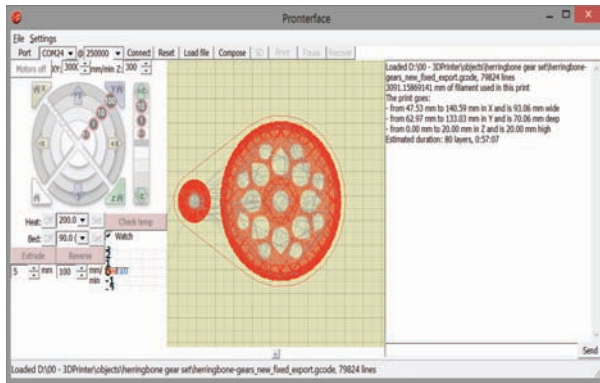


Figura 8. Software de control Pronterface.

4 Análisis cinemático

Se realiza un análisis cinemático en común para las tres tareas que realiza la plataforma, ya que dichas tareas están basadas en el código-g.

Aplicando las instancias del algoritmo Denavit-Hartenberg [1], tenemos lo siguiente:

- a) Representación funcional del robot con sistemas de coordenadas generalizadas.

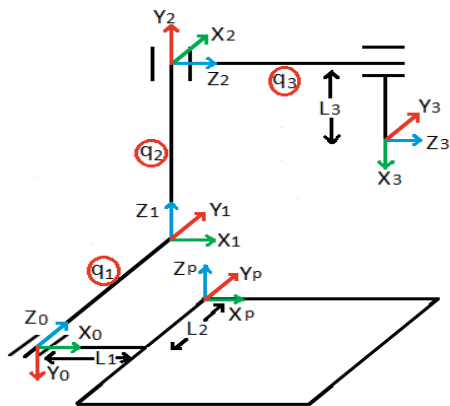


Figura 9. Representación funcional del robot.

- b) Tabla de parámetro Denavit-Hartenberg.

Tabla 1: Tabla de parámetro Denavit-Hartenberg.

Articulación	θ	d	a	α
0A_1	0	q_1	0	90
1A_2	90	q_2	0	-90
2A_3	-90	q_2	L_3	0

Trasladando el sistema de referencia de la mesa de trabajo al sistema de referencia del robot se tendría:

$${}^pA_0 = Rot_x(-90) \times Tras_z(-L_2) \times Tras_x(-L_1)$$

La cinemática estaría dada por la siguiente ecuación:

$$T = {}^pA_0 {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3$$

Resolviendo la cadena cinemática de la plataforma se obtienen los siguientes resultados:

$$X = q_3 - L_1$$

$$Y = q_1 - L_2$$

$$Z = q_2 - L_3$$

La cinemática inversa permite determinar el movimiento de cada una de las articulaciones, para lograr que un actuador se ubique en una posición concreta, ver figura 10.

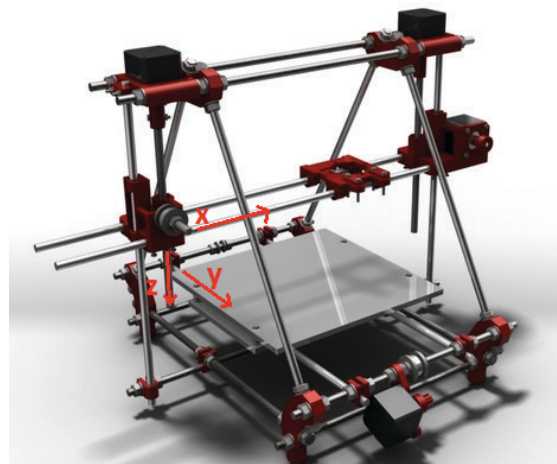


Figura 10. Movimientos de la plataforma DIAR 1.0.

Teniendo los movimientos de las articulaciones, se procede hacer la conversión de distancia a número de pasos del motor.

Para el cálculo de avance (A), a la distancia que avanza la cremallera en una vuelta completa del piñón, su valor coincide con el perímetro de la circunferencia primitiva y vendrá dado por la fórmula:

$$A = \pi \times d_p = p \times Z$$

Dónde:

- d_p representa el diámetro primitivo del piñón en milímetros.

- p representa el paso de los dientes del piñón en milímetros.
- Z representa el número de dientes del piñón.

Por otro lado la velocidad de avance (V_a) de la cremallera expresada en m/s. Se calculará según la fórmula:

$$V_a = \frac{A \times n}{60} = \frac{p \times Z \times n}{60}$$

- Donde n es la velocidad de giro del piñón, en rpm.

Ya teniendo el avance por vuelta del mecanismo piñón-cremallera y conociendo el número de pasos por vuelta de los motores paso a paso, se llega a una relación final de avance por paso de motor.

$$Pasos = \frac{distancia \times 3200}{A}$$

Donde A es la distancia que avanza la cremallera en una vuelta completa del piñón.

Se aplica el método geométrico debido a la simplicidad del mismo, teniendo en cuenta que contamos con una plataforma de configuración cartesiana.

Ya teniendo las ecuaciones que gobiernan cada grado de libertad, simplemente es ingresar la coordenada en milímetros, en la ecuación del respectivo eje a mover y dicha ecuación arroja cuantos pasos debe realizar el motor para llegar a esta.

Como la plataforma trabaja en base a código-g, y dicho código trae las coordenadas (x , y , z), para realizar cualquier operación, se le hace fácil al sistema de control recibir dichas coordenadas, organizarlas y ejecutar las ecuaciones de conversión de distancia a pasos de motor, para luego moverse a la coordenada correspondiente.

5 Resultados

La Plataforma Robótica Multifuncional con Propósitos Didácticos DIAR 1.0 está configurada para realizar tres aplicaciones diferentes que cumplen con el proceso básico de construcción de un sistema mecatrónico, dibujo de planos, impresión en 3D y ruteado de circuitos electrónicos.

a) Dibujo en 2D.

El efector final encargado de esta función, se ubica sobre la posición final de la plataforma sujetando un porta lápiz que se encarga de pintar los trazados comandados por la computadora. Este dispositivo tiene forma tubular en su parte final donde encaja concéntricamente el lápiz, que en su estructura interna posee un resorte el cual suaviza los trazos y no permite rasgar el papel, ver figura 11.



Figura 11. Dibujo realizado por la plataforma DIAR 1.0.

b) Impresión de piezas en 3D.

Esta aplicación consiste en la fabricación en 3D, de piezas diseñadas. El proceso inicia diseñando la pieza a construir, luego se genera un archivo con extensión STL, para poderlo convertir en código-g. Ya teniendo el código-g se envía por puerto USB, en donde es recibida por el sistema de control y ejecutada por este. Dando como resultado la construcción de la pieza diseñada, ver figura 12.

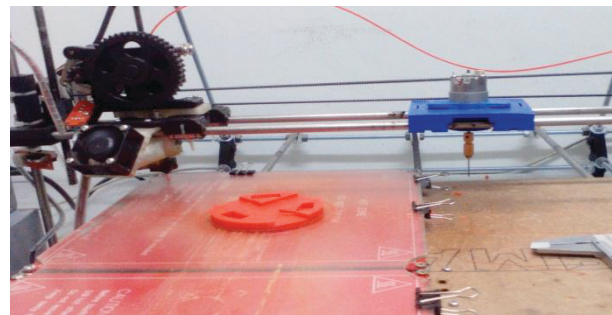


Figura 12. Pieza realizada por la plataforma.

c) Ruteado de circuitos electrónicos.

Esta aplicación consiste en rutear las pistas de algún circuito electrónico diseñado, por medio de una broca, ver figura 13, y funciona de la misma forma que la impresión 3D, lo único a diferenciar es la dirección de movimiento del eje z , la cual es en sentido inverso. Lo primero a realizar es el CAD, para luego generar el código-g. y así ejecutarlo por medio del sistema de control, el cual está inmerso en una arduino mega2560.

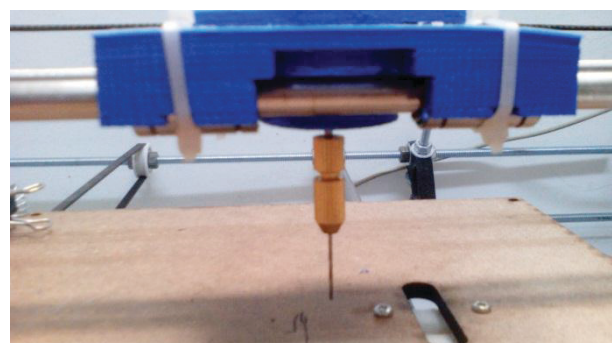


Figura 13. Efector final de ruteo.

En caso de realizar una impresión 3D, es necesario laminar el sólido a imprimir, esto lo hace el software Slicer, el cual genera el código-g. Para la realización de tareas como ruteado de circuitos, se utilizan software para diseño de circuitos impresos los cuales generan el código-g o código gerber, de los circuitos diseñados.

Ya teniendo los gcode de las tareas a realizar en la plataforma DIAR 1.0, se utiliza el software de control Pronterface el cual se encarga de envía los comandos en Gcode, a la interfaz electrónica, ver figura 14.

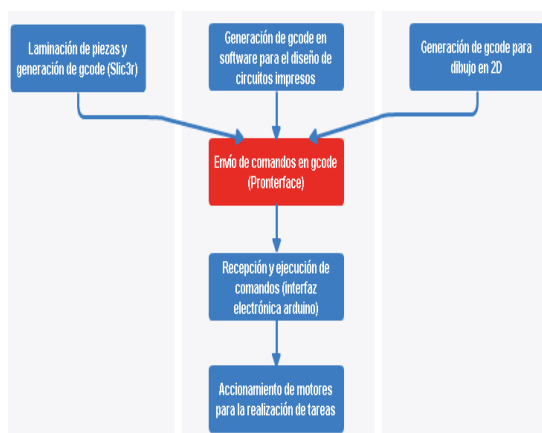


Figura 14. Diagrama de ejecución de tareas.

6 Conclusiones

El principal objetivo del trabajo ha sido desarrollar una plataforma robótica multifuncional de bajo costo, orientada hacia la educación en el campo de desarrollo para sistemas mecatrónicos. El sistema reúne elementos típicos estudiados en problemas de diseño, control y automatización, el cableado electrónico, la gestión de puerto serie, la cinemática inversa para la plataforma robótica.

Se ha detallado el montaje y los conceptos didácticos aplicables a la plataforma y la manera de operación.

La plataforma robótica multifuncional DIAR 1.0, a pesar de ser de bajo costo y de tipo educacional, superó las expectativas propuestas, debido a que permite el desarrollo de diversas prácticas, para la construcción de sistemas mecatrónicos e incentiva a los estudiantes en el desarrollo de aplicaciones reales.

La versatilidad y el bajo costo permiten que cada alumno pueda disponer de su propia plataforma, con las ventajas que ello conlleva.

Las aplicaciones planteadas 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 ABS 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 motores responder adecuadamente.

En general se dan por satisfechas las expectativas puestas en este proyecto, puesto que se han conseguido los objetivos con una gran tasa de efectividad y la plataforma ha tenido gran acogida de los alumnos.

Referencias bibliográficas

[1]. Barrientos, A.; Peñín, L.; Balaguer, C. & Aracil, R., Fundamentos de Robótica. McGraw Hill. Madrid, 2007.

[2]. Pierre Jaquet-Droz (1721-1790). Cucoclock.com. Consultado el 27 de marzo de 2013.

[3]. Kyoung Taik Park; Doo Hyeon 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.

[4]. Li, Xiongzi; Landsnes, Oeyvind A.; Chen, Heping; Sudarshan M-V,-; Fuhlbrigge, 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.

[5]. 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.

[6]. 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.

[7]. 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.

[8]. 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.

[9]. Hongxing Wei; Haiyuan Li; Tianmiao Wang; "An evolutionary warm 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.

[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]. Diego Alonso, Jhon Gil, Fredy Martínez, "CNC milling machine prototype for Printed Circuit Boards", Revista Tekhnê Enero - Junio 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 23- 38.

[12]. Christian Santodomingo, Daniel Alzate, "Contrucción de prototipo de robot industrial cartesiano X-Y para el trazado sobre láminas de metal", Universidad Tecnológica de Pereira, Julio-2014.

[13]. Eliseo Cotés, Efraín Rodríguez, Cesar Peña, "Desarrollo de un robot paralelo 5R para la impresión 3D", IV Congreso internacional de ingeniería mecatrónica y automatización-CIIMA 2015.