

Diseño y control de un robot planar fresador y perforador de pcb's

Wilian Toncel Pitre¹
Eliseo Cortes Torres²
Sebastian Casadiegos Osorio³

Abstract: The following article describes the process of design and control of robot RPV-1 is described. This robot is a tool that aids in the manufacture of printed circuits in the projects presented to us daily and professional life. RPV-1 is intended to help the user to avoid mistakes in their manufacture for lack of precision. This robot was made taking into account the structure and kinematics of a planar type parallel robot, its mechanical structure was performed using Solidworks CAM software which allows you to design, simulate, estimate costs, detect errors and obtain physical properties of the design; in the mobility of control and mathematical models of robots are applied as direct and inverse kinematics, which was applied by means of a communication interface of the software Matlab and Arduino.

Keys Words: Control, design, drilling, robot, model.

Resumen: En el siguiente artículo se describe el proceso de diseño y control del robot RPV-1. Este robot es una herramienta que ayuda en la fabricación de circuitos impresos en los diferentes proyectos que nos presenta la vida cotidiana y profesional. RPV-1 pretende ayudar al usuario para evitar posibles errores en su manufactura por falta de precisión. Este robot se realizó teniendo en cuenta la estructura y cinemática de un robot Paralelo de tipo planar, su estructura mecánica se realizó mediante el software CAM Solidworks el cual permite diseñar, simular, estimar costos, detectar errores y obtener propiedades físicas del diseño; en la parte de control y movilidad se aplicarán los modelos matemáticos de robots como son la cinemática directa e inversa, el cual se aplicó por medio de una interfaz de comunicación de los software Matlab y Arduino.

Palabras Claves: Control, diseño, perforación, robot, modelo.

¹ Universidad de Pamplona. Pamplona, Norte de Santander, Colombia correo electrónico: elicortorres@gmail.com

² Universidad de Pamplona. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: elicortorres@gmail.com@unipamplona.edu.com

³ Universidad de Pamplona. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: sebastian_c_o_s@unipamplona.edu.com

1. Introducción

Las siglas PCB del inglés (printed circuit board) que traducido al español significa tarjeta de circuitos impresos.

Muy a menudo es requerido la construcción de un circuito impreso en la vida de un estudiante, profesional o aficionado por artículos electrónicos, la mayoría de las veces resulta una tarea muy tediosa la fabricación de circuitos impresos a mano; en esta necesidad se basa la construcción de RPV-1, el cual trata de optimizar y automatizar este proceso con la planificación y el diseño que supla esta necesidad.

Históricamente el desarrollo de los robots planares se inició en la década de los 30 por reconocidos científicos como Gwinnett, Pollard, y Gough quienes dieron aportes de gran importancia a la humanidad, diseñando un dispositivo que movería un teatro completo, artilugios que pintarían un automóvil en lapsos de tiempo cortos y muchos más dispositivos que llenaron de inspiración a personas con conocimientos del tema o aficionados que han creado dispositivos similares a los creados por Pollard, Gwinnet o Gough.

Teniendo en cuenta la aplicación del robot se hizo necesario implementar un mecanismo de 5 barras por su alto grado de precisión y espacio de trabajo, ya que es el principal problema al momento de realizar este tipo de tareas; el control del robot se implementó por medio del uso de la comunicación de arduino-matlab ya que con esto se hace más agradable el manejo de los servomotores y motores paso a paso utilizados.

El proceso de diseño y contro consta de 4 partes las cuales son:

- Sección 1 (Diseño mecánico y electrónico)
- Sección 2 (Análisis cinemático)
- Sección 3 (Algoritmos de programación)
- Sección 4 (Resultados)

2. Sección 1

2.1 Diseño mecánico

Una estructura mecánica planar se le es restringido el movimiento solo a un plano, por la configuración de sus eslabones, teniendo de 2 a 3 GDL, dos de estos involucrados en el desplazamiento sobre el plano y el restante a una rotación perpendicular al plano de movimiento. En la siguiente figura se presentan algunas configuraciones de estructuras planares.

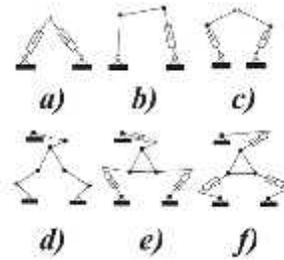


Figura 1. Estructuras planares

La selección de la estructura planar adecuada para la elaboración de PCB y la más conveniente en nuestro caso es la c) de la Fig. 1. Como se muestra en la gráfica son necesarios 2 actuador para controlar el movimiento de la estructura, los cuales serán suplidos por servomotores. Al ser 2 actuadores se disminuye el consumo energético y costo de construcción.

EL movimiento vertical del órgano final de control se verá administrado por un sistema de levas, se llegó a esta conclusión ya que las levas son simples mecánicamente y se puede controlar con servomotores de bajo torque. También se vio la posibilidad de emplear una junta helicoidal pero ya que este sistema se debe controlar con motores paso a paso se necesitaría una etapa de potencia para controlar dichos motores, lo que generaría un consumo de energía adicional.

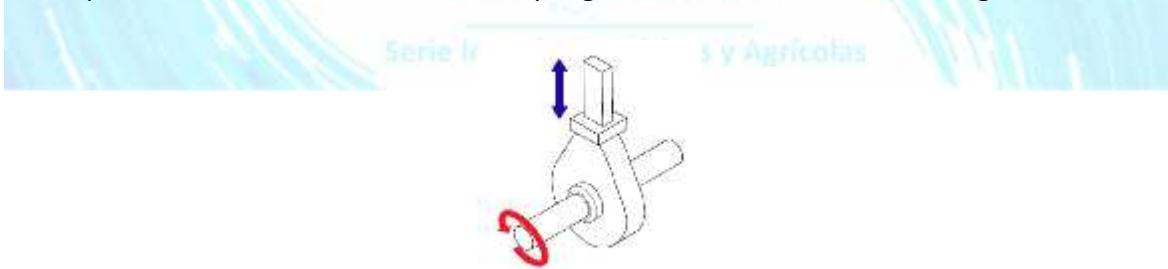


Figura 2. Funcionamiento leva

Luego de conocer la estructura funcional del robot se realizaron varios bocetos, uno de estos (Fig 3. a) presentaba numerosos lugares singulares por tanto no fue el seleccionado, el b) de la Figura “ ” fue el correcto ya que no presentaba ninguna singularidad.

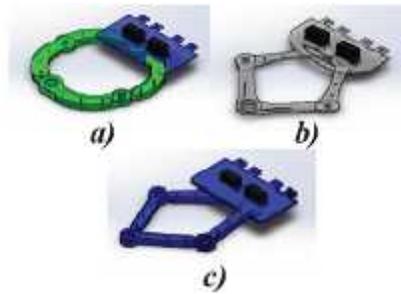


Figura 3. Bocetos

Luego de terminada la estructura se determinó que debería quedar de la siguiente forma con las siguientes medidas.

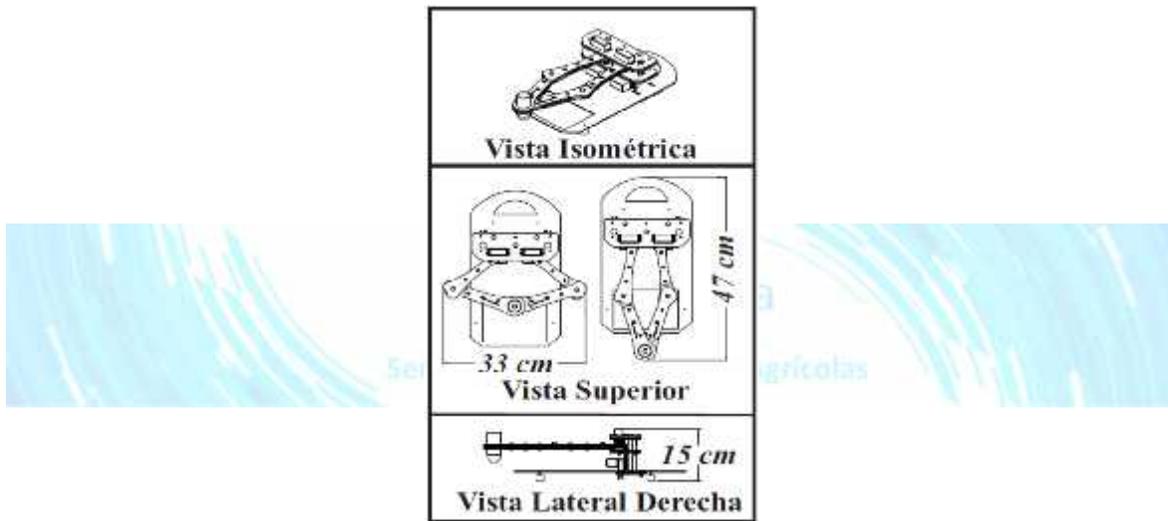


Figura 4. Medidas reales

Mediante el software SolidWorks se digitalizo lo anteriormente mencionado teniendo como resultado:

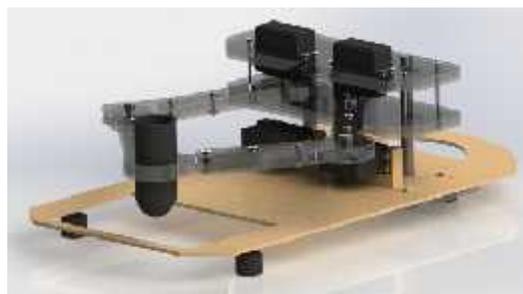


Figura 5. Diseño CAD final

Para realizar el diseño mecánico de manera ordenada se dividió la estructura en dos partes:

- Vagón de movimiento vertical (VMV).
- Mecanismo de 5 barras.

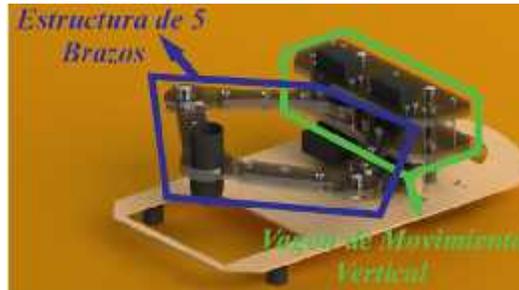


Figura 6. Partes de la estructura

El **VMV** consta de dos placas las cuales permiten sujetar de manera segura y estable la segunda parte de robot, mediante tres pilares los cuales guían verticalmente el VMV y soportando todo el peso, librando de cargas no deseadas al órgano final de control. Estos pernos son de acero inoxidable completamente lisos de 1 cm de diámetro.

La estructura en general del robot se diseñó de acrílico ya que es un material fácil de maquinar relativamente resistente al calor (en este proceso no se estará expuesto a altas temperaturas), económico y en su versión más frágil es 3 veces más fuerte que el vidrio.

Para realizar la tarea de rayado y taladrado de las váquelas se implementó un Mototool Bauker mp135, el cual, al no ser tan potente como un talador de mano perforara y rayara sin el más mínimo esfuerzo las váquelas y la mayor ventaja se le puede adaptar una extensión que liblara de una gran cantidad de peso al extremo de la estructura, evitando que se doble o flexione por exceso de carga. El escariador con el cual se realizaran las rutas de los circuitos impresos será de 0.5 mm de diámetro y el empleado para perforar será de 1 mm de diámetro. El proceso de cambio de herramienta se tendrá que hacer manual.

Al momento de analizar los componentes electrónicos a implementar, se hizo necesario realizar un esquema el cual contuviera todos los dispositivos de control y a controlar. Ese esquema se encuentra a continuación.

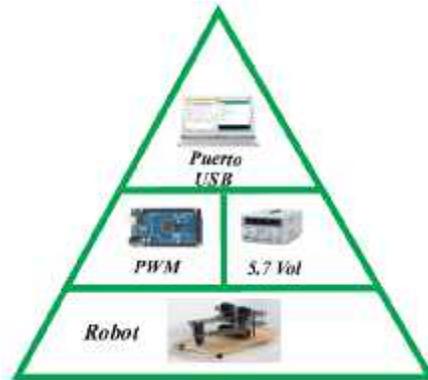


Figura 7. Pirámide de comunicación

El grafico anterior nos ilustra el proceso de control y alimentación del robot.

2.2 Diseño Electrónico

Para este ítem se puede ver que el manejo del robot es por medio de una comunicación por medio de USB entre Matlab y la arduino Mega 2560, esta se utiliza para el control de los servomotores MG995 que con la ayuda de una fuente de voltaje permite el mejor desarrollo de la actividad debido a que el sistema de 4 servomotores conectado a la tarjeta de control arduino esta no posee la suficiente corriente para abastecerlos al mismo tiempo.

Se utilizó el programa matlab para el manejo del robot debido a que este al ser un programa matricial permite realizar en menor tiempo los cálculos de las matrices de transformación homogénea **MTH**, rotaciones y traslaciones de cada una de las articulaciones y del efector final respecto al origen.

En el caso del uso de la Arduino Mega 2560 por que posee una mayor cantidad de pines de entrada-salida, con un mayor número de PWM's, mayor memoria EEPROM, Intensidad por pin de 40mA entre otras ventajas, además de su excelente relación costo-prestaciones.



Figura 8. Tarjeta Arduino Mega 25 60

Se escogieron los servomotores TowerPro mg995 ya que por su bajo peso no afecta los movimientos del robot, manejan la una carga de 15kg/cm, posee piñoneria metalica, alto par y velocidad de reacción.



Figura 9. Servomotor TowerPro mg995



3. Sección 2

Análisis cinemático

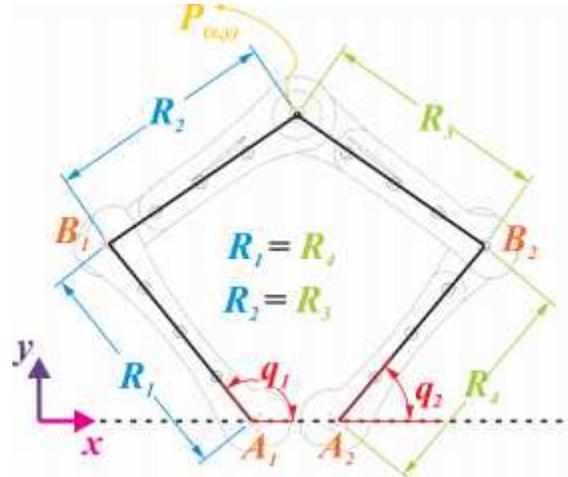


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre

Para comprender el movimiento y comportamiento cinemático del robot fue necesario emplear un análisis geométrico, basado en ecuaciones que describen el comportamiento de una circunferencia.

3.1 Cinemática inversa:

$$(x - R_1 \cos q_1 + R_3)^2 + (y - R_1 \sin q_1)^2 = R_2^2$$

$$(x - R_1 \cos q_2 - R_3)^2 + (y - R_1 \sin q_2)^2 = R_2^2$$

$$\theta_i = 2 \tan^{-1}(z_i) ; i = 1,2$$

Para tener una comprensión más clara de la cinemática inversa consultar la fuente referenciada.

3.2 Cinemática directa:

$$e = \frac{R_1(\sin q_1 - \sin q_2)}{2r_3 + r_1 \cos q_2 - r_1 \cos q_1}$$

$$f = \frac{R_1 R_3 (\cos q_2 - \cos q_1)}{2r_3 + r_1 \cos q_2 - r_1 \cos q_1}$$

$$d = 1 + e^2$$

$$g = 2(e f - e R_1 \cos q_1 - e R_3 - R_1 \sin q_1)$$

$$h = f^2 - 2f(R_1 \cos q_1 - R_3) - 2R_1 R_3 \cos q_1 + r_3^2 + r_1^2 - r_2^2$$

$$y = \frac{-g + \sigma \sqrt{g^2 - 4dh}}{2d}$$

Este análisis se puede observar con mayor detalle en [1], donde se lleva a cabo un proceso minucioso del mecanismo de 5 barras o en su defecto 5R.

4. Sección 3

El control computacional del robot fue diseñado con una lógica estricta ya que sin esta no sería posible el funcionamiento del robot.

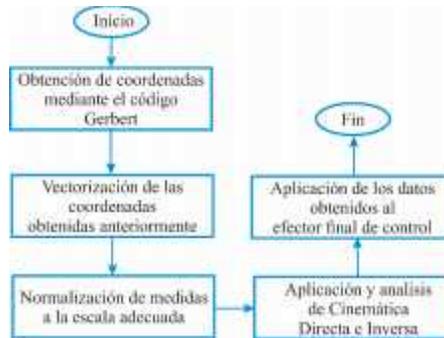


Figura 11. Flujograma del proceso de control

El diagrama de flujo anterior resume la lógica y el desarrollo de la programación aplicada al robot. Al iniciar el proceso se obtiene las coordenadas puntuales de la trayectoria a trazar, luego se vectorizan en Matlab para luego llevarlas a la escala adecuada. Luego de tener la trayectoria a trazar a cada punto de esto se le aplica el análisis cinemático conociendo los valores deseados, se le ordena al robot moverse con estos valores obtenidos.

El algoritmo diseñado para el control del robot es el siguiente:

Implementación de la cinemática inversa

```
function [theta1,theta2]=cinematica_inversa_5R(x,y)
a1=15^2 +y^2 +(x+2.85)^2 -15^2 +2*(x+2.85)*15;
b1=-4*y*(15);
c1=15^2 +y^2 +(x+2.85)^2 -15^2 -2*(x+2.85)*15;
a2=15^2 +y^2 +(x-2.85)^2 -15^2 +2*(x-2.85)*15;
b2=b1;
c2=15^2 +y^2 +(x-2.85)^2 -15^2 -2*(x-2.85)*15;
codo=1;
theta1=2*(atan2d((-b1 +codo*sqrt(b1^2 -4*a1*c1)),2*a1));
theta2=2*(atan2d((-b2 -codo*sqrt(b2^2 -4*a2*c2)),2*a2));
return
```

Implementación de la cinemática directa

```
function [x,y]=cinematica_directa_5R(theta1,theta2)
r1=15;r2=15;r3=2.85;codo=1;
e=r1*(sind(theta1) -sind(theta2))/...
    (2*r3 +r1*cosd(theta2) -r1*cosd(theta1));
f=r1*r3*(cosd(theta2) +cosd(theta1))/...
    (2*r3 +r1*cosd(theta2) -r1*cosd(theta1));
```

```
d=1+e^2;
g=2*(e*f -e*r1*cosd(theta1) + e*r3 -r1*sind(theta1));
h=f^2 -2*f*(r1*cosd(theta1) -r3) -2*r1*r3*cosd(theta1) ...
    + r3^2 +r1^2 -r2^2;
y=(-g +codo*sqrt(g^2 -4*d*h))/(2*d);
x=(e*y +f);
return
```

5. Sección 4

Conclusiones

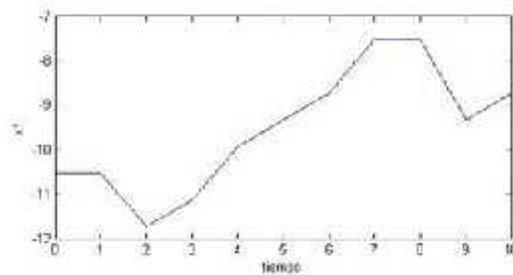
- En este ítem se pudo concluir que la mejor manera para lograr que el robot se mueva en el eje Z es un sistema de levas cuyo seguidor es la base de los servos que se mueven en los ejes XY
- En el caso de los servos motores se precisa utilizar una fuente de alimentación externa a la arduino ya que esta no abastece con la cantidad de corriente que estos necesitan para su óptimo funcionamiento.
- Se comprobó que con la cadena cinemática cerrada se pueden obtener movimientos más precisos y posicionamientos más versátiles del órgano final de control.

6. Resultados

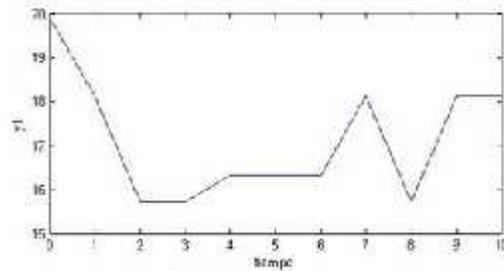
En la estructura mecánica, más específicamente el sistema de movimiento vertical, fue mejorada gracias a el diseño de levas que sustituyeron juntas helicoidales con esto se tiene un movimiento más suave y preciso.



Figura 12. Estructura elaborada.



a) **Figura 13.** Posición del efector final en x respecto al tiempo.



b) **Figura 13.** Posición del efector final en y respecto al tiempo.

En las dos figuras anteriores se puede conocer el comportamiento posicional del efector final en el plano x-y, la Fig. 13 a) se representa la posición x respecto al tiempo, y en el inciso b) se ilustra el posicionamiento del efector en y.

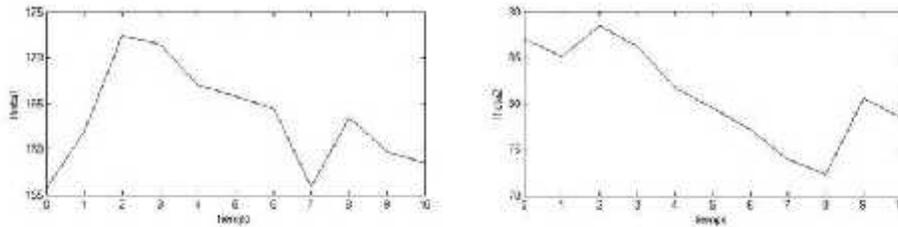


Figura 14. Grafica de los ángulos a controlar de los servomotores respecto al tiempo

En las gráficas anteriores se ilustra el comportamiento del ángulo variantes por los servomotores 1 y 2. Los picos los muestra la variación causante de los movimientos deseados por la programación que se obtiene del circuito a elaborar.

7. REFERENCIAS

- [1] Xin-Jun, L. Wang, J. Pritschow, G. (2006). Kinematics singularity and workspace of planar 5R symmetrical parallel mechanisms. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com
- Huang, T. Liu, S. Mei, L. Derek, G. Chetwynd. (2013). Optimal design of a 2-DOF pick-and-place parallel robot using dynamic performance indices and angular constraints. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com
- Do Thanh, T. Kotlarski, J. Heimann, B. Ortmaier, T. (2012). Dynamics identification of kinematically redundant parallel robots using the direct search method. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com
- Mesa Mesa, L., Barrera Lombana, N. (2013). La robótica educativa como instrumento didáctico alternativo en educación básica. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.
- Nuñez S., P., Hincapié I., R., Gallego Rendón, R. (2013). Metodología para reubicación de transformadores de distribución considerando el sistema de protección. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 20 – 2013, Colombia.
- Torres, C., Archila, J., Tronco, M., Becker, M., Viera Porto, A (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.

- Villarreal, M. Cruz-Villara, C. Alvarez-Gallegosa, J. Portilla-Floresb, E. (2010). Differential evolution techniques for the structure-control design of a five-bar parallel robot. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com
- Zubizarreta, A. Marcos, M. Cabanes, I. Pinto, C. Portillo, E. (2012). Redundant sensor based control of the 3RRR parallel robot. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com
- Joubair, A. Slamani, M. Bonev, I. (2013). Kinematic calibration of a five-bar planar parallel robot using all working modes. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com
- Kucuk, S. (2009). A dexterity comparison for 3-DOF planar parallel manipulators with two kinematic chains using genetic algorithms. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com
- Khoa, L. Quang Truong, D. Ahn, K. (2013). Synchronization controller for a 3-R planar parallel pneumatic artificial muscle (PAM) robot using modified ANFIS algorithm. *ELSEVIER*. Recuperado desde: www.sciencedirect.com

