

Diseño de robot delta para el posicionamiento de componentes electrónicos SMD en circuitos impresos durante su ensamblaje

Delta robot design for the placing of smd electronic components in printed circuits during their assembly

Uribe, Armando¹
Rojas, Álvaro²

Resumen

En este documento se presenta el diseño de un sistema robotizado tipo paralelo de morfología delta, el cual es capaz de posicionar componentes de tecnología SMT/SMD dentro de tarjetas electrónicas PCB en el proceso de ensamblaje de las mismas. El proyecto enmarca el diseño de una máquina prototipadora, cuyo público objetivo se encuentra centrado en laboratorios electrónicos dedicados al diseño de circuitos impresos, instituciones académicas, universidades y pequeñas industrias.

Palabras clave: *Robótica, Robot Delta, PCB, SMD, SMT, E-CAD.*

Abstract

A design of a robotic system type parallel of delta morphology is presented in this research. This one is a system capable of placing SMT/SMD technology components within electronic PCB cards in the assembly process thereof. The project frames the design of a prototyping machine, whose target audience is focused on electronic laboratories dedicated to the design of printed circuits, academic institutions, universities and small industries.

Key word: *Delta robot design for the placing of smd electronic components in printed circuits during their assembly*

1 Facultad de Ingeniería, Departamento de Automática y Electrónica, Universidad Autónoma de Occidente, Docente SENA, Centro de Electricidad y Automatización Industrial, Cali, Ingeniero Mecatrónico, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Intercambio académico, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Tecnólogo Mecatrónico, Campeón nacional en electrónica, WorldSkillsColombia-2010, Técnico en Informática Cali. micronetjunior@gmail.com.

2 Facultad de Ingeniería, Departamento de Automática y Electrónica, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Docente tiempo completo, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Ph.D. en Ciencias de la Imagen, Rochester Institute of Technology, RIT, Rochester, Nueva York, M.S. en Sistemas de Ingeniería y Emprendimiento Empresarial, University of Illinois at Urbana-Champaign – Urbana, Illinois, M.S. en Ingeniería Industrial, Rochester Institute of Technology, RIT, Rochester, Nueva York, Especialización en Gerencia de Proyectos, Rochester Institute of Technology, RIT, Rochester, Nueva York, Ingeniero Mecatrónico, Universidad Autónoma de Occidente, Cali ajrojas@uao.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

El diseño y elaboración de tarjetas electrónicas es un proceso vital y de suma importancia en la consolidación de un desarrollo electrónico, cuya implementación pretende generar una solución definitiva, plasmada en una placa física, donde una cantidad determinada de componentes electrónicos estarán interconectados con un objetivo específico. En la actualidad, el desarrollo se realiza para dos objetivos particulares: la comercialización mediante producción en masa y el prototipado mediante la producción individual.

El desarrollo tecnológico acelerado previsto en la actualidad, muestra que hoy en día no basta con desarrollar una tarjeta funcional, pues incluso el medio ambiente ha venido jugando un papel importante. Las condiciones obligan a reducir los consumos eléctricos y mejorar de manera adecuada la transferencia de potencia en los circuitos. Por tales motivos, poco a poco se ha venido recurriendo a la implementación de componentes de menor tamaño, menor consumo y mejor calidad.

Para ello, los desarrolladores electrónicos deben implementar en sus diseños, la utilización recurrente de componentes de bajo consumo de potencia, como lo son los dispositivos de montaje superficial.

El proyecto enmarca el diseño de un dispositivo robotizado, el cual debe ser capaz de tomar dispositivos electrónicos (dispuestos en una ubicación específica de la máquina) y ubicarlos dentro de una PCB con una posición y orientación determinada.

La solución a la problemática podrá conseguirse a partir del desarrollo de un robot paralelo de cuatro grados de libertad, dado que ésta configuración permite conseguir movimientos con rangos cortos pero a velocidades muy superiores en comparación con un robot antropomórfico, cartesiano, scara, entre otros. Los robots paralelos tie-

nen la ventaja de que son livianos, por lo tanto su inercia es baja. Además, el hecho de ser paralelo implica directamente la consecución de velocidades superiores respecto de robots en serie. Por otro lado, como aspecto negativo su destreza es inferior, sin embargo, para la aplicación planteada en el presente proyecto, no se requiere realizar movimientos redundantes, o esquivar componentes estructurales.

Finalmente, el aspecto más importante que motiva el presente proyecto a su implementación mediante un robot paralelo tipo Delta, está en que para lograr una posición en del área de trabajo establecida, basta con mover los motores (su eje) dentro de un rango inferior a los 360 grados, es decir, los motores nunca ejecutarán más de una vuelta para lograr una posición determinada, motivo por el cual las velocidades son considerablemente altas.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Ensamblaje de PCB

El desarrollo de la física y la electrónica ha permitido a la humanidad, disfrutar de los más increíbles inventos de la historia. Productos como teléfonos inteligentes, computadoras, controladoras para máquinas industriales, productos quirúrgicos son unos cuantos entre los miles de dispositivos que en su interior poseen como cerebro toda una ciudad cuántica. Y es que desde que la revolución electrónica llegó con su exuberante transistor, las cosas en el mundo electrónico cambiaron para siempre.

¿Qué se requiere? La respuesta es simple: interconectar. Un sistema electrónico es una red interconectada de pequeños componentes que cumplen una tarea específica, cuando esto sucede, el producto cumple una labor macro y de utilidad para el consumidor.

Ahora bien, son los circuitos impresos los que han permitido conectar componentes electrónicos dispuestos sobre una base -que por lo general- es de fibra de vidrio. La conexión se realiza gracias a caminos 'dibujados' sobre una placa, generalmente de cobre. Este sistema fue patentado en 1925 por Charles Ducas, sin embargo, su uso y aplicación tuvo que esperar hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

En la actualidad, los circuitos impresos o PCB son construidos de diversas maneras, pasando por el popular y colegial método de dibujar con marcador una PCB virgen someténdola posteriormente al tricloruro de hierro, obteniendo una placa lista para ensamblar, hasta optar por las más sofisticadas metodologías, generalmente implementadas por empresas dedicadas, como lo es el fotograbado, es método screen, entre otros. Donde se obtiene una placa con alta calidad y precisión.

2.1.2 Robot de morfología Delta

La idea básica detrás del diseño de un robot paralelo Delta es el uso de paralelogramos. Un paralelogramo permite que un eslabón de salida permanezca en orientación fija con respecto a un eslabón de entrada.

El uso de tres de estos paralelogramos restringe completamente la orientación de la plataforma móvil que permanece con únicamente 3 grados de libertad. Los eslabones de entrada de estos tres paralelogramos están montados en palancas rotatorias por medio de juntas de revolución. Las juntas de revolución pueden ser manipuladas de dos maneras: mediante motores rotacionales o con actuadores lineales.

2.1.3. Cinemática de robots

La cinemática de robots estudia su movimiento con respecto a un sistema de referencia. Además permite realizar una descripción analítica del movimiento espacial en función del tiempo y relacionar la localización del extremo del robot con sus articulaciones

A. Cinemática Directa.

La cinemática directa consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot

B. Cinemática Inversa

La cinemática inversa consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial. Al contrario que el problema cinemático directo, el cálculo de la cinemática inversa no es sencilla, ya que consiste en la resolución de una serie de ecuaciones fuertemente dependiente de la configuración del robot.

2.1.4. Generación de trayectorias.

Dentro de la robótica, un aspecto de suma importancia está en la generación de las trayectorias que realiza el efector final, pues además de mover el robot hacia una posición deseada, es importante llevarlo bajo unas condiciones ideales para que los aspectos dinámicos del robot como la inercia, no afecten el movimiento.

Por tanto, existen diferentes formas de generar las trayectorias, entre las cuales se destacan las interpolaciones cúbicas, interpolaciones de orden 5 o 7, trayectorias trapezoidales, trapezoidales en S, sinodales, entre otras. El objetivo principal está en conseguir movimientos suavizados, controlando la posición y sus derivadas: la velocidad, aceleración y en algunos casos, la tercera derivada: el jerk.

III. METODOLOGÍA

El proyecto se segmenta en cuatro etapas: diseño de sistema electrónico; diseño de sistema mecánico; diseño de sistema de control y finalmente diseño de software para el control de la máquina.

3.1. El sistema electrónico debe ser un sistema micro-procesado, donde mediante un micro-procesador o microcontrolador, por ejemplo un ARDUINO, BEAGLEBONE, PIC, etc., se debe gobernar las acciones de control que serán ejecutadas por los motores. También éste deberá ser capaz de tomar los datos de los sensores angulares para de acuerdo a una posición censada, ubicar los motores en una posición deseada.

3.2. En el sistema mecánico, se debe investigar acerca de las posibles configuraciones de ensamblaje de un robot Delta (paralelo) para que encontrada la mejor solución, se permita realizar un diseño en un software CAD (Solid-Works) para simular el rango de operación, la inercia y otras variables que serán vitales para el buen funcionamiento de la máquina.

3.3. El sistema de control debe modelarse mediante software CAE (MatLab) de tal manera que se pueda simular la dinámica y cinemática de la máquina para evaluar la respuesta de los motores, y más específicamente, la respuesta a los movimientos.

3.4. Finalmente, se debe implementar el desarrollo de un software que permita conectarse al sistema electrónico, para así poder enviar las coordenadas y las trayectorias a ejecutar.

IV. DISEÑO CONCURRENTES

El proyecto se trabaja bajo la metodología de la ingeniería concurrente, con el fin de integrar los diferentes procesos y subsistemas del mismo, de tal modo que se pueda generar diseño óptimo de acuerdo a las necesidades primarias y secundarias, ponderación e importancia y la evaluación de los requerimientos.

4.1. Identificación de necesidades

A continuación se desglosa el listado de necesidades identificadas para el diseño del robot. Las

necesidades se identificaron teniendo en cuenta lo analizado en el planteamiento del problema, la justificación del proyecto, los objetos y se toma como referente las prestaciones de la máquina prototipadora semiautomática ProtoPlace S, presente en el Centro de electricidad y automatización industrial del SENA, Cali. También se tuvo en cuenta el tamaño de los componentes a manipular y el área de trabajo establecido (20x20cm).

Las siguientes corresponden al listado de necesidades establecidas dentro del diseño concurrente.

- Económico.
- Preciso.
- Exacto.
- Seguro.
- Veloz.
- Fácil operación.
- Fácil instalación.
- Fácil ensamblaje.
- Fácil mantenimiento.
- Robusto.
- Portable.
- Escalable.
- Volumen de trabajo.
- Calibración fácil.
- Sujeción de componentes de tamaño milimétrico.

En este orden de ideas, siguiendo el modelo de Kano (Delighter, Satisfiers y Must have) y NUD (Nuevo, Único y Difícil), se asigna una valoración de acuerdo a la importancia, priorizando finalmente las necesidades. Esta información servirá como base para el diseño conceptual del robot.

Tabla I . Ponderación de Necesidades (Kano y Nud)

Número		Necesidad	Peso	Kano	NUD
1	El robot delta	es económico.	1	S	
2	El robot delta	es preciso.	9	M	
3	El robot delta	es exacto.	9	M	
4	El robot delta	es seguro.	3	M	
5	El robot delta	es de fácil operación.	3	S	
6	El robot delta	es de fácil instalación.	3	S	
7	El robot delta	es de fácil ensamblaje.	3	S	
8	El robot delta	es de fácil mantenimiento.	3	S	
9	El robot delta	es robusto.	3	S	
10	El robot delta	es de fácil portabilidad.	1	D	
11	El robot delta	es escalable.	1	D	
12	El robot delta	permite sujetar componentes de tamaño milimétrico.	9	M	Di
13	El robot delta	tiene un volumen de trabajo amplio.	1	D	Di
14	El robot delta	se puede calibrar fácilmente.	3	D	
15	El robot delta	permite obtener grandes resoluciones.	9	M	Di
16	El robot Delta	es veloz	3	S	

De acuerdo a la tabla anterior, las necesidades más críticas son la 12 y 15 (Sujeción de componentes de tamaño milimétrico y Obtención de grandes resoluciones). Criterios que vienen relacionados directamente con la selección de los motores y el diseño del efector final (TCP), por tanto, el proyecto debe asegurar que dichas necesidades puedan ser suplidas mediante un diseño óptimo.

4.2. Métricas

Obtenidas las necesidades y su ponderación respectiva, se procede con la realización del listado de métricas relacionadas con los conceptos de diseño y necesidades. Estas métricas permiten medir las necesidades establecidas con anterioridad.

Tabla II. Listado de Métricas

Número de métrica	Número de necesidad	Métrica	Importancia	Unidad
1	1	Costo	1	\$
2	15, 12	Resolución	9	μm
3	2, 12	Precisión	9	%
4	3, 12	Exactitud	9	%
5	9, 13	Alto	3	mm
6	9, 13	Ancho	3	mm
7	9, 13	Largo	3	mm
8	13	Volumen de trabajo	3	mm*m-m*mm
9	4	Seguridad	3	Tabla
10	9	Impacto visual	1	Subjetivo
11	8	Facilidad de mantenimiento	1	%
12	16	Velocidad	3	mm/s
13	9	Peso	1	Kg
14	11	Escalabilidad	1	Subjetivo
15	7	Tiempo de ensamblaje	1	s
16	5	Facilidad de uso	3	%

4.3. Generación de conceptos

La generación de conceptos se realiza con el fin de establecer soluciones al proyecto. En esta etapa se procede a realizar un análisis y una descomposición de las funciones y sub-funciones identificadas. De esta manera se pretende llegar a posibles soluciones en todas las partes y funciones del dispositivo, y así poder determinar la solución más apropiada para cumplir con las necesidades presentadas por el cliente.

Ahora bien, de acuerdo a lo anterior, se desarrollan tres conceptos que dan solución a las necesidades planteadas con anterioridad.

4.3.1. Concepto 1

Este concepto tiene la enorme ventaja de que el movimiento es suave e independientemente de la resolución de los motores, es posible aumentar la precisión añadiendo sistemas de reducción mecánica mediante poleas de manera fácil. Este concepto combina el uso de actuadores lineales mediante el uso de motores paso a paso debido a su facilidad de control, bajo costo, y alta precisión en lazo abierto.

El controlador a usar es un Arduino debido a que en la red ya existe documentación para control de motores paso a paso, destinado a la implementación en robots Delta.



Figura 1. Concepto 1, mecanismo con actuadores lineales.

Fuente: <http://shadowfaxmachine.squarespace.com/>

4.3.2. Concepto 2

Este concepto se basa en la implementación estructural mediante actuadores rotacionales, los cuales permiten obtener un área de trabajo más cómoda. Ahora, teniendo en cuenta que la apli-

cación estará destinada al posicionamiento de componentes electrónicos SMD, no se requiere una estructura de altura significativa, por lo cual el volumen de trabajo con respecto a la altura no es una limitante.

Los motores a usar son Servos debido a que internamente tienen ya todo un sistema mecánico para reducción de velocidad. Por otro lado, poseen sistemas electrónicos embebidos, de tal modo que el control resulta ser más sencillo. La siguiente figura ilustra el concepto, donde se observa que los tres motores están acoplados directamente a los brazos.

El controlador a usar es el OpenCM debido a que estos son totalmente compatibles con servomotores y la comunicación a ellos se realiza de manera serial, lo que facilita el control.

Este concepto posee una base móvil con el objetivo de poder desplazar la PCB a diferentes alturas, dependiendo del área de la misma, de tal manera que podrá procesar tarjetas de mayor tamaño, esto gracias a la posibilidad de variar el centro del volumen de trabajo.



Figura 2. Concepto 2, mecanismo con actuadores rotacionales y base móvil.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Concepto 3

El presente concepto es similar al anterior, a diferencia de que éste implementa una base estática que permita fijar la PCB a la estructura, brindando mayor robustez en el momento de operación. En la zona izquierda de la siguiente figura se observa la zona que corresponde a la ubicación de los porta cintas de componentes.

Éste concepto brinda mayor seguridad al operador y mayor confianza durante el posicionamiento.

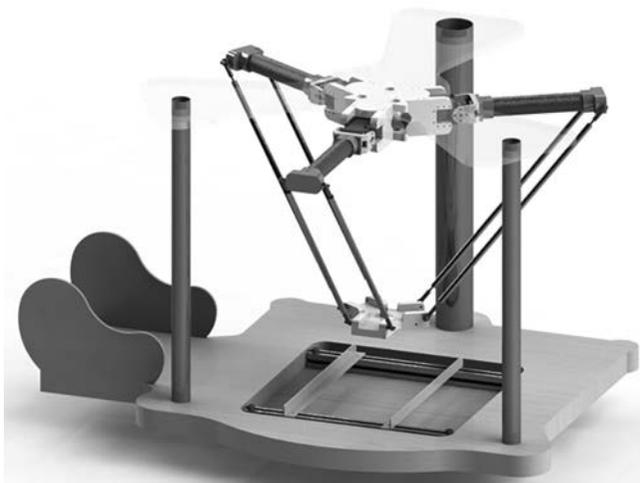


Figura 3. Concepto 3, mecanismo con actuadores rotacionales y base fija.

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Selección de conceptos

Finalmente, se procede a evaluar los conceptos de acuerdo a los criterios de selección relacionados con las necesidades. La siguiente matriz pondera cada concepto con el respectivo criterio, obteniendo así un nivel cuantitativo con el cual se escogerá el concepto definitivo. El concepto a desarrollar será el número 3.

CONCEPTOS							
		Actuador lineal Concepto 1		Actuador Rotacional Concepto 2		Actuador Rotacional Concepto 3	
Criterio de selección	Peso	Valor	Evaluación ponderada	Valor	Evaluación ponderada	Valor	Evaluación ponderada
Preciso	20%	9	1,8	9	1,8	5	1
Exacto	20%	5	1	5	1	5	1
Alta resolución	20%	5	1	5	1	5	1
Robusto	15%	9	1,35	1	0,15	9	1,35
Seguro	5%	5	0,25	1	0,05	9	0,45
Veloz	20%	1	0,2	5	1	5	1
Total		5,6		5		5,8	
Lugar		2		3		1	
Seguir		No		No		Desarrollar	

Tabla III. Evaluación de los Conceptos

Con esto, se define que el concepto a desarrollar es el número tres.

V. DISEÑO DETALLADO

Se parte del modelo base del robot, en donde se observa en la figura 4 la presencia de los elementos fundamentales del robot delta.

La base superior en forma triangular, donde los puntos medios de cada lado son los puntos de conexión con los brazos superiores. En dichos puntos se conectan los motores, indicando así que el movimiento se realiza de manera angular. Se podría deducir en este punto que si los tres motores se mueven de manera sincronizada en el mismo sentido, el efector final sube o baja de manera lineal.

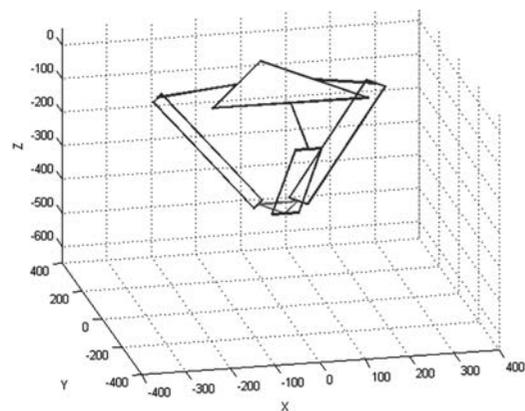


Figura 4. Diseño base del robot.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 ilustra una vista superior del diseño base, en donde se observa que cada brazo articulado es conectado a cada lado del triángulo que corresponde a la base superior, consiguiendo de esta manera, tres cadenas cinemáticas que serán evaluadas posteriormente.

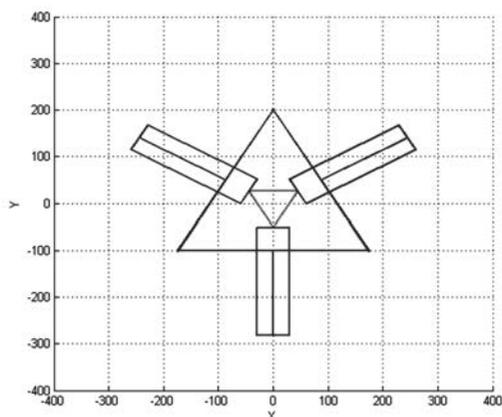


Figura 5. Vista en planta del diseño base.
Fuente: Elaboración propia.

5.1. Modelo general del robot

De este modo, partiendo de la fundamentación realizada, se procede a modelar cada pieza del robot, obteniendo así las ecuaciones que serán base fundamental para el desarrollo cinemático. Para empezar, se detallan las variables generales como lo ilustra la figura 6.

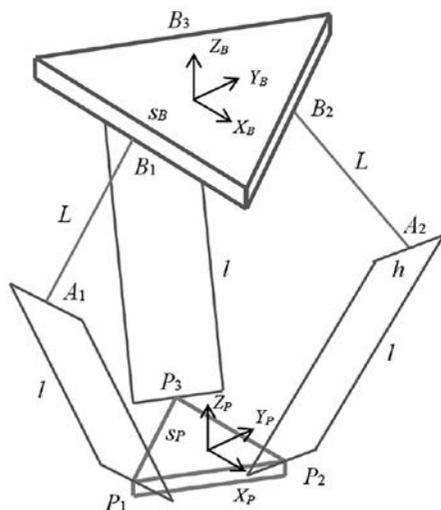


Figura 6. Diagrama general del robot.
Fuente: <http://www.ohio.edu/people/williar4/html/pdf/DeltaKin.pdf>

Ahora bien, antes de definir las ecuaciones generales, se detallan los aspectos relevantes de la base y el TCP como lo ilustran las figuras 7 y 8.

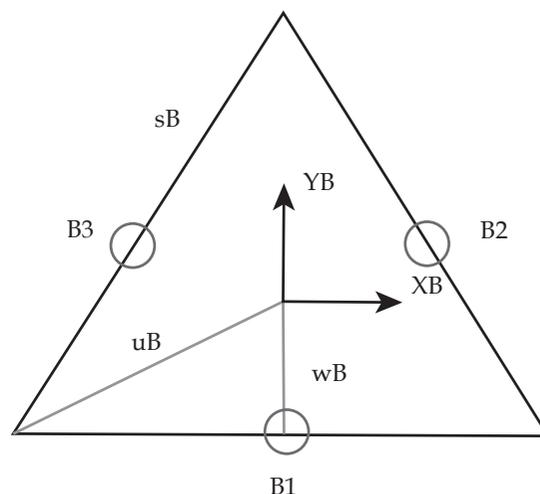


Figura 7. Detalles de la base del robot.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7 se observa el detalle de la base, siendo:

- **B1, B2 y B3** los puntos donde se articulan los brazos superiores mediante los motores.
- **sB** la longitud del lado de la base.
- **uB y wB** las distancias del centro de referencia de la base a sus extremos.
- En la figura 8 se observa el detalle del TCP, siendo:
- **P1, P2 y P3** los puntos donde se articulan los brazos inferiores mediante los paralelogramos.
- **sP** la longitud del lado del TCP
- **uP y wP** las distancias del centro de referencia del TCP a sus extremos.

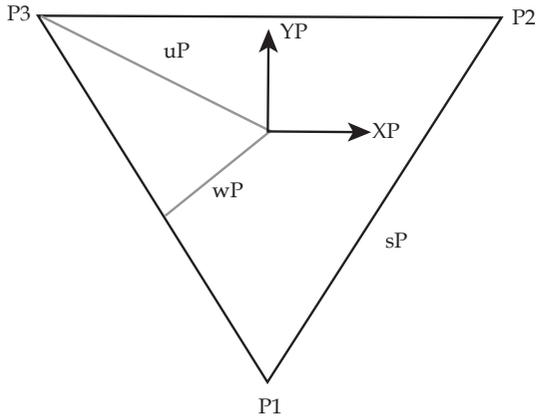


Figura 8. Detalle del TCP del robot.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se denotan los vectores con referencia a la Base y al TCP.

Vectores con respecto al sistema de referencia de la base B:

$${}^B B_1 = \begin{Bmatrix} 0 \\ -wB \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^B B_2 = \begin{Bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} wB \\ \frac{1}{2} wB \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^B B_3 = \begin{Bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} wB \\ \frac{1}{2} wB \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$${}^P P_1 = \begin{Bmatrix} 0 \\ -uP \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^P P_2 = \begin{Bmatrix} \frac{sP}{2} \\ wP \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^P P_3 = \begin{Bmatrix} -\frac{sP}{2} \\ wP \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$${}^B b_1 = \begin{Bmatrix} \frac{sB}{2} \\ -wB \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^B b_2 = \begin{Bmatrix} 0 \\ uB \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^B b_3 = \begin{Bmatrix} -\frac{sB}{2} \\ -wB \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$wB = \frac{\sqrt{3}}{6} sB ; uB = \frac{\sqrt{3}}{3} sB ; wP = \frac{\sqrt{3}}{6} sP ; uP = \frac{\sqrt{3}}{3} sP \quad (4)$$

Para calcular la movilidad del robot y determinar el número de grados de libertad, se recurre a la ecuación de movilidad espacial de Kutzbach-Gruebler:

$$M=6(N-1)-5J_1-4J_2-3J_3 \quad (5)$$

Siendo:

M Movilidad (Grados de libertad)

N Número total de eslabones

J1 Articulaciones de 1 grado de libertad

J2 Articulaciones de 2 grados de libertad

J3 Articulaciones de 3 grados de libertad

$$M=6(14-1)-5(15)-4(0)-3(0) \quad (6)$$

M=3 Grados de Libertad

VI. RESULTADOS

Se obtuvo un producto Mecatrónico capaz de posicionar componentes electrónicos de montaje superficial SMD de tipo rectangular (mínimo: 1206 tamaño 3,2mm x 1,6mm; potencia típica 1/4W) dentro de tarjetas electrónicas PCB de tamaño máximo 200mm x 200mm y tamaño mínimo 50mm x 50mm. El tamaño máximo de los componentes no superó los 25mm x 25mm (típicamente circuitos integrados).

El desarrollo del software permitió una integración entre los diseños realizados a través del software de diseño ECAD Eagle 5.0 y la máquina, aspecto favorable debido a la importancia de dicho software como herramienta de diseño bastante común y con importante prestaciones dentro del campo del desarrollo de PCB.

A continuación, se observa el prototipo realizado.

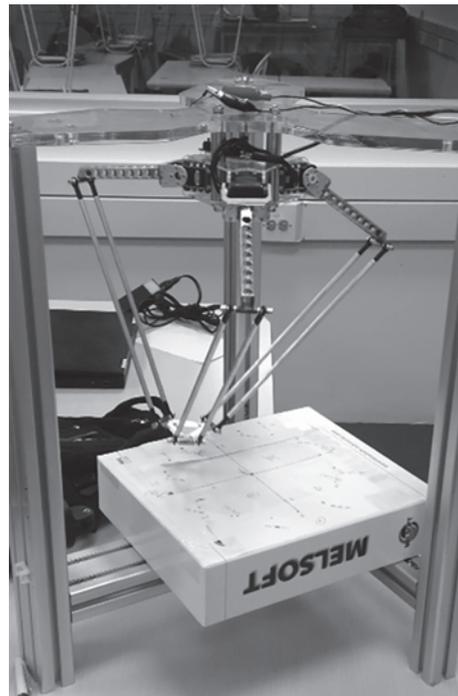


Figura 9. Prototipo del Robot elaborado.

VII. CONCLUSIONES

El robot Delta a diferencia de las diferentes configuraciones y morfologías, permite conseguir velocidades muy altas debido a la manera como los motores mediante cambios angulares inferiores a los 360°, ejecuta traslaciones sobre un volumen de trabajo definido en función de la longitud de sus articulaciones.

Una de las dificultades del ensamblaje de circuitos impresos mediante el presente robot delta, estuvo en la gran variedad de tipos de componentes electrónicos, por tanto, el ensamblaje se limita a una reducida variedad de dispositivos.

La resolución del movimiento del robot se define por las dimensiones en las articulaciones y la resolución de los servomotores, pues estos están conectados a los brazos sin ningún tipo de reducción mecánica.

Las figuras 10 y 11 ilustran el diseño final del robot, donde se muestra que éste se ha adaptado a una estructura robusta que permite sujetar el robot en su zona superior a través de tubos metálicos fijados en tres puntos.

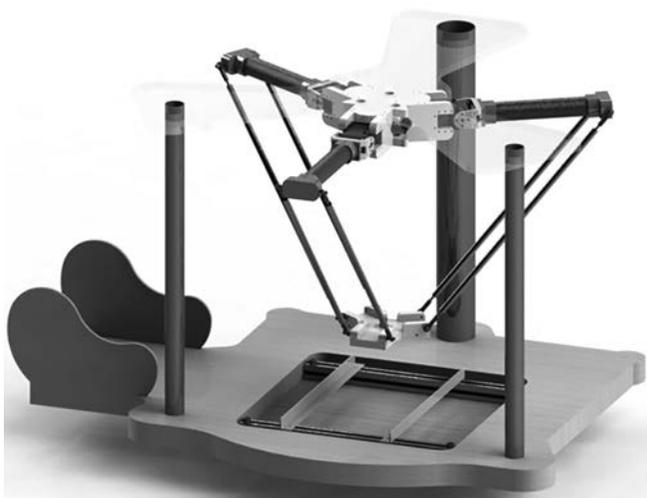


Figura 10. Detalle de zona de sujeción de PCB.

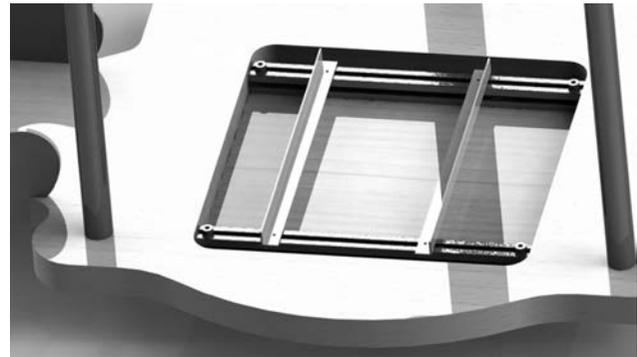


Figura 11. Detalle de zona de sujeción de PCB.
Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS

- [1] Hand Packing Stations | Pick and Pack Station | Packaging Solutions. 2013. Hand Packing Stations | Pick and Pack Station | Packaging Solutions. [ONLINE] Available at: <http://www.combi.com/pick-and-pack>.
- [2] ProtoPlace S, Semi-automatic SMT assembly system [ONLINE] Available at: <http://www.lpkfusa.com/SMTAssembly/protoplace.htm>.
- [3] Delta Robots Improve Highly Repetitive Tasks . 2015. Delta Robots Improve Highly Repetitive Tasks . [ONLINE] Available at:http://robot.fanucamerica.com/robotics-articles/delta_robots_improve_highly_repetitive_tasks.aspx.
- [4] Diseño y Construcción de Circuitos Impresos . 2015. A. Bueno. [ONLINE] Available at: http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/electro/unidad_diseño_y_construcción_de_circuitos_impresos_fotos.pdf.
- [5] Analisis Estructural de un Robot Paralelo Industrial Tipo Delta. 2009 Jhonnatan Didier Rueda Florez. [ONLINE] Available at: http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/489/1/digital_17613.pdf

-
- [6] PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ROBÓTICA. 2015. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática UPV. Biblioteca Universidad Politécnica de València.
- [7] BUDYNAS, Richard, NISBETT, Keith. Shigley's Mechanical Engineering Design. Ninth Edition. New York: McGraw-Hill, 2008. p. 886.
- [8] CAPUZ RIZO, Salvador. Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño del producto. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de publicación, 1999. 104 p.
- [9] PANDILOV Z. y RALL K., Parallel Kinematics Machine Tools: History, Present, Future. Macedonia: Mechanical Engineering - Scientific Journal Vol.25, 2006. 3 p.
- [10] ROJAS, Alvaro Jose. DISEÑO MECATRONICO: Introducción - Proceso de diseño [Diapositivas], Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2014.
- [11] ULRICH, Karl T., EPPINGER, Steven D., Diseño y desarrollo de productos. 5 ed. México DF: McGraw-Hill, 2012. 15 p.
- [12] R.L. Williams II, "The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions", Internet Publication, www.ohio.edu/people/williar4/html/pdf/DeltaKin.pdf, 2016.

