

Diseño y Fabricación de una Placa PCB para el Control Simultáneo e Independiente de Cuatro Motores a Pasos

Flores Reynoso, Daniel Alejandro¹; Candelario Ramírez, Federico¹; González Fajardo, Midiam Del Ángel¹; Chocoteco Campos, José Abel¹; García Rodríguez, Julio Alberto¹; Sandoval Pérez, Sergio¹

1

Resumen - Controlar varios motores de corriente directa, y en especial motores a pasos, cada vez es más “fácil” y “económico”, y esto se puede corroborar en publicaciones recientes sobre aplicaciones robóticas y de control de motores que dan cuenta del uso de tarjetas de “desarrollo” o “bajo costo” disponibles en el mercado. Sin embargo, cuando se trata de controlar varios motores de manera simultánea e independiente, esta tarea se vuelve más desafiante debido a ciertas limitaciones que estas tarjetas presentan en términos de control, programación o comunicación, al no ajustarse completamente a las necesidades de determinadas aplicaciones. Aunque algunas tarjetas permiten el control de cuatro motores de forma simultánea, no lo hacen de manera independiente, ya que uno de ellos se limita a ser una clonación de cualquiera de los otros tres motores. En este artículo, se presenta el diseño y la fabricación de una Placa de Circuito Impreso (PCB) que aborda precisamente esta limitación, permitiendo controlar cuatro motores de forma simultánea e independiente. La PCB propuesta en este trabajo busca satisfacer necesidades que las tarjetas comerciales de “bajo costo” no pueden atender completamente, tales como el control preciso de la posición y velocidad de cuatro o más motores, la eliminación del ruido, la comunicación con otras tarjetas y la adaptación a un espacio físico determinado.

Índice de Términos - control de motores, PCB, motores a pasos, motores de paso, motores paso a paso.

I. INTRODUCCIÓN

Los motores a pasos, también conocidos como motores de paso o motores paso a paso, siguen siendo ampliamente utilizados en el diseño de sistemas de control y automatización [1-3]. Se emplean en una variedad de aplicaciones, como robots, brazos manipuladores, sistemas CNC e impresoras 3D, entre otros. La característica distintiva de los motores a pasos radica en su capacidad para posicionarse con precisión en ángulos específicos, logrado mediante un movimiento angular en pasos (o micropasos) discretos, cuya resolución está determinada por el motor. Si bien estos motores pueden operar en lazo abierto, su rendimiento mejora significativamente cuando son controlados en lazo cerrado.

Durante la última década, el uso de motores a pasos controlados mediante tarjetas de “desarrollo” o “bajo costo” ha experimentado un crecimiento significativo, siendo las tarjetas de las series Arduino y Raspberry Pi las más populares en esta aplicación [4-6]. Para controlar estos motores con dichas tarjetas, es necesario utilizar un computador para programar la tarjeta y ejecutar el software y los drivers compatibles con los motores de la aplicación.

La conexión de los motores a las tarjetas implica, en primer lugar, identificar las bobinas con un multímetro. Posteriormente, se programa el código de control en el software mediante una secuencia de pulsos específica, que depende del número de pasos requeridos para un giro

¹Documento recibido el 2 de agosto de 2023. Este trabajo contó con el apoyo del Proyecto M00-PR-03-R01 No. 18668 dentro de los Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2023 del TecNM.

¹Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán.

*Autor de correspondencia: Jose Abel Chocoteco Campos, Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán, Av. Tecnológico #100, Ciudad Guzmán, Mpio. de Zapotlán el Grande, Jalisco, México. C. P. 49100, Teléfono (341) 5752050, Ext. 121. E-mail: jose.cc1@cdguzman.tecnm.mx.

completo del eje del motor. El control se realiza a través de uno de los IDEs (Entornos de Desarrollo Integrados) de la tarjeta. A cada controlador se le asigna un puerto de salida digital, como "steps" (step1, step2, etc.), y una cantidad de pasos que se calcula en base a la trayectoria o recorrido necesario para los ejes (x, y y z). Finalmente, el programa se carga en la tarjeta, generando así las consignas para el control efectivo de los motores.

Controlar varios motores a pasos de forma simultánea e independiente es esencial en el desarrollo de aplicaciones robóticas con múltiples grados de libertad. Sin embargo, utilizar tarjetas de "bajo costo" para lograr esta tarea puede resultar desafiante, ya que estas tarjetas a menudo no satisfacen completamente las necesidades específicas de ciertas aplicaciones debido a limitaciones en el control, programación o comunicación.

Por ejemplo, la tarjeta Mach3 permite controlar cuatro motores a pasos de manera simultánea, pero no de forma independiente, ya que uno de los motores solo puede configurarse como una clonación de cualquiera de los otros tres motores. Esta limitación ha impulsado la propuesta presentada en este artículo, que consiste en el diseño de una Placa de Circuito Impreso (PCB) como una alternativa para controlar simultáneamente cuatro motores a pasos, brindando la flexibilidad de operar cada motor con direcciones, posiciones y velocidades independientes.

II. MARCO TEÓRICO

En la literatura existen muchos artículos y tesis de investigación que abordan diversas aplicaciones de control con el uso de tarjetas de "bajo costo" para el manejo de dos o más motores a pasos. Interesantes revisiones sistemáticas sobre estas aplicaciones están disponibles en [5-8], brindando una amplia perspectiva del tema.

Asimismo, existen trabajos que destacan problemas surgidos al utilizar estas tarjetas y que llevaron a realizar modificaciones, especialmente en áreas como el control, la programación y la comunicación [9-12]. Estos estudios proporcionan información valiosa sobre los desafíos y soluciones encontrados en el empleo de estas tarjetas en diversas aplicaciones.

En su tesis doctoral [9], Torrecilla se enfrentó al desafío de diseñar y fabricar una placa PCB para adaptarse al protocolo de comunicación empleado en los controladores de los motores de su robot. Esto fue necesario debido a que el diseño original del robot utilizaba un protocolo de comunicación incompatible. Por otro lado, Alvarado y Barrios en su tesis [10] presentaron el diseño y construcción de una tarjeta electrónica expandible para controlar el motor de una barrera vehicular. Observaron que el 50% de las tarjetas de control para barreras vehiculares comerciales de una empresa proveedora se dañaban rápidamente y por diversas causas. Su trabajo

resultó en una tarjeta de bajo costo, fácil de comprender y de mejor calidad en comparación con las tarjetas disponibles en el mercado. Además, esta tarjeta contaba con suficientes entradas y salidas para comunicar diferentes componentes, como luces, botones de cierre/apertura y varios sensores, entre otros.

En otra tesis [11], González y Sánchez diseñaron una tarjeta PCB para controlar la velocidad de un motor eléctrico y validar tarjetas de interfaces electrónicas para un vehículo didáctico tipo go-kart. La necesidad de esta tarjeta surgió debido a problemas con las baterías y al limitado espacio en el vehículo. Los aspectos más relevantes de su trabajo incluyeron el acondicionamiento de la señal y la etapa de potencia, así como el menor costo de diseño de la interfaz, lo que mejoró significativamente la comunicación dentro de la tarjeta de control.

III. DESARROLLO DE LA PCB

El diseño conceptual de la placa PCB presentada en este trabajo se llevó a cabo utilizando el software Autodesk Eagle 9.6. Esta elección se basó en su interfaz intuitiva, su disponibilidad gratuita y su amplia gama de librerías disponibles. El software ofrece una extensa base de datos que incluye drivers, controladores, componentes electrónicos y más. Además, en caso de que alguna librería no esté disponible, el programa brinda la opción de crearla o agregarla desde fuentes en línea.

A. DISEÑO

En la Figura 1 se presenta la conexión eléctrica propuesta por los desarrolladores para el control de cuatro motores a paso mediante drivers A4988 y Arduino Uno.

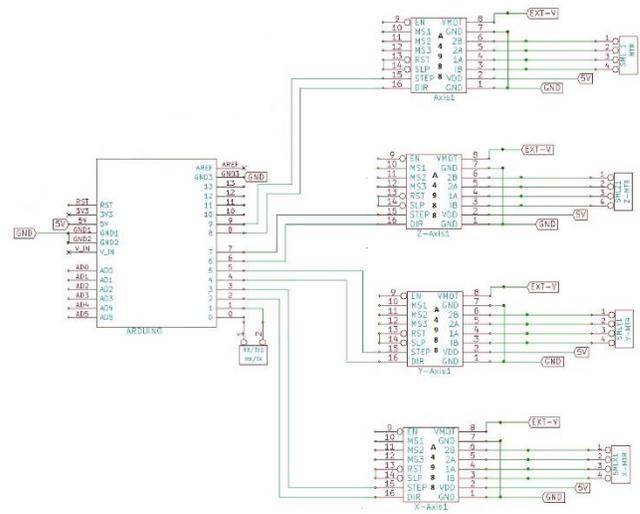


Fig. 1. Conexión eléctrica entre el Arduino y los drivers A4988 para el control de los cuatro motores. Fuente: [12].

La tarjeta Arduino genera dos señales para cada controlador A4988: una para la dirección (DIR) y otra para el paso (STEP). Cada controlador, a su vez, produce cuatro señales para las bobinas de cada motor (2B, 2A, 1A e IB), mediante las cuales se controla el movimiento del eje del motor. La Figura 2 muestra las conexiones del driver A4988.

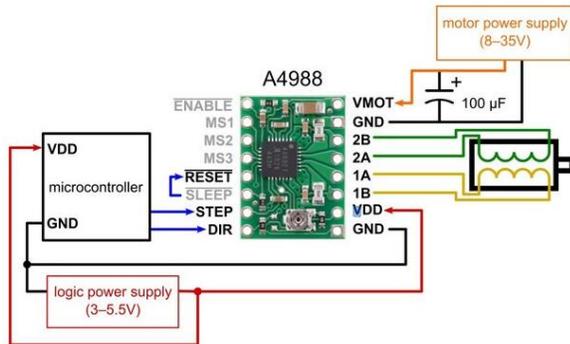


Fig. 2: Diagrama de cableado mínimo para conectar un microcontrolador a un controlador de motor paso a paso A4988 en modo de paso completo. Fuente [13].

Esta configuración permite controlar los cuatro motores de forma simultánea, pero no de forma independiente, ya que uno de ellos solo se puede configurar como una clonación de cualquiera de los otros tres motores. Es por esta limitación que se optó por diseñar y fabricar una tarjeta de circuito impreso con la cual se pueden controlar simultáneamente los cuatro motores a pasos, brindando la posibilidad de que cada uno actúe de manera independiente en cuanto a direcciones, posiciones y velocidades. Además, el diseño de la tarjeta ofrece ventajas adicionales, como el uso de solo los componentes necesarios, ahorro de espacio físico, reducción del ruido y realización de conexiones directas, lo que busca maximizar la practicidad y lograr un menor costo de fabricación.

Antes de fabricar la placa, se realizaron pruebas de funcionamiento a los controladores utilizando un protoboard (ver Fig. 3).

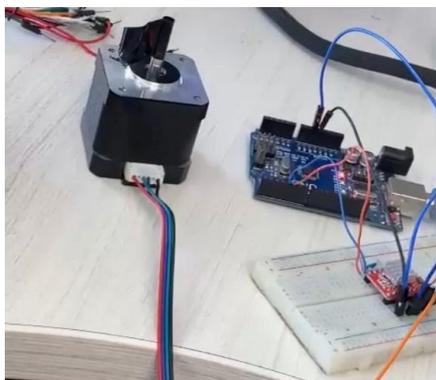


Fig. 3. Prueba de los controladores A4988 conectados a los motores.

En estas pruebas, se verificaron las salidas de corriente y voltaje, así como los pulsos necesarios para la comunicación con los motores. También se conectaron los motores para ajustar sus resistencias a los límites deseados, con el objetivo de eliminar el ruido y la interferencia. Además, se midieron los impulsos dados a cada motor para asegurar que los pulsos fueran conforme a lo programado hacia la tarjeta. Los resultados obtenidos fueron como se esperaba, en términos de la frecuencia dada.

En la Figura 4 se presenta el mapa de pistas de la PCB diseñado en el software Eagle 9.6, siguiendo la norma de diseño IPC 2221. Este mapa muestra las conexiones entre el Arduino y los Drivers, junto con sus etiquetas correspondientes, lo que facilita una comprensión sencilla de su funcionamiento, basándose en los esquemas presentados en las Figuras 1 y 2.

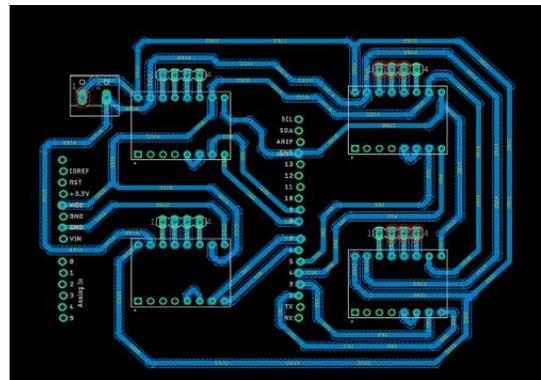


Fig. 4: Mapa de rutas de la placa PCB.

La Tabla I muestra la configuración de los pines de la tarjeta propuesta.

TABLA I
CONFIGURACIÓN DE LOS PINES DE LA TARJETA.

Señal	Pin	I/O de la señal
X Dir	2	Output
X Step	3	
Y Dir	4	
Y Step	5	
Z Dir	6	
Z Step	7	
A Dir	8	
A Step	9	

B. FABRICACIÓN

La PCB fue impresa utilizando una CNC de la marca T-TECH Quick Circuit Prototyping Systems del Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Guzmán, tal como se muestra en la Figura 5. La placa se imprimió en una sola cara y se maquinó con una broca de 0.8 mm para lograr un acabado preciso y profesional. Las dimensiones físicas de la placa fueron de 8 cm de ancho por 11 cm de largo.



Fig. 5: Maquilado de PCB en CNC T-Tech.

La Tabla II detalla los componentes utilizados en la construcción de la PCB, así como sus respectivas funciones. Estos cuatro componentes electrónicos son los más importantes en la placa y han sido seleccionados por su disponibilidad y practicidad.

TABLA II
COMPONENTES Y SU FUNCIÓN EN LA PCB.

Componentes	Función
Conector de alimentación (8-35 V)	Proveer de energía a los motores.
Driver A4988	Controlar los pasos, las direcciones, las señales y la alimentación de los motores.
Conectores Male-Male	Conectar los motores.
Posición de montura para conectores Male-Male	Comunicar los drivers con el Arduino a través del IDE y la GND.
	Comunicar la placa y el Arduino a través de los pines Step&Direction.

Los componentes fueron montados en la placa y soldados con estaño sin plomo (Sn 99.3%). Las Figuras 6 y 7 muestran la cara frontal y posterior de la placa con los componentes debidamente soldados, respectivamente.

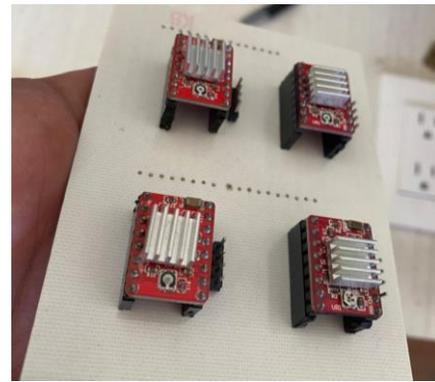


Fig. 6: PCB con componentes soldados (cara frontal).

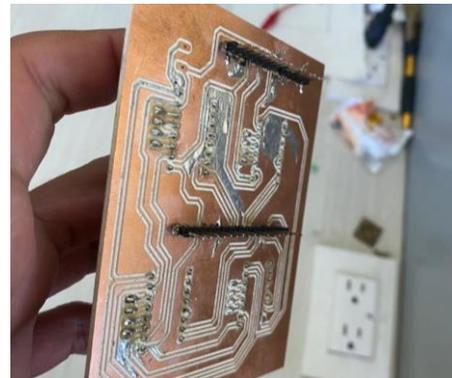


Fig. 7: PCB con componentes soldados (cara posterior).

La Tabla III presenta el costo promedio de los componentes utilizados en el diseño y construcción de la PCB, resultando en un total de \$231.00 MXN.

TABLA III
COSTOS PROMEDIO DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE LA PLACA PCB.

Cant	Componente	Costo (\$)	
		Unitario	Total
4	Controlador A4988	30.00	120.00
2	Tira conector hembra	12.00	24.00
2	Tira conector macho	12.00	24.00
1	Soldadura. Sn/Pb 60/40	40.00	40.00
1	Clema 2 pines	8.00	8.00
1	Baqelita 10x10	15.00	15.00
Total			231.00

Nota de tabla: Los precios indicados corresponden a los más bajos encontrados en la tienda Mercado Libre el 23 de junio de 2023.

La cantidad de \$231.00 MXN resulta significativamente inferior en comparación con los \$1,638.36 MXN que se

requerirían si se controlaran los 4 motores a pasos con controladores TB6600 y una tarjeta Mach3, como se sugiere para este propósito, según lo mostrado en la Tabla IV.

TABLA IV
COSTOS PROMEDIO DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS PARA CONTROLAR LOS 4 MOTORES A PASOS.

Cant	Componente	Costo (\$)	
		Unitario	Total
4	Controlador TB6600	209.79	839.16
1	Tarjeta Mach3	799.20	799.20
Total			1,638.36

Nota de tabla: Los precios indicados corresponden a los más bajos encontrados en la tienda Mercado Libre el 23 de junio de 2023.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para validar el correcto funcionamiento de la tarjeta PCB, se empleó un osciloscopio. Las sondas de medición se conectaron a los pines de salida de los cuatro controladores A4988. La Figura 8 muestra la pantalla del osciloscopio, donde se capturaron las señales de movimiento de cada motor. En el monitor se pueden observar las cuatro rutinas de control simultáneas. Esto confirma que la tarjeta está ejecutando adecuadamente las operaciones independientes para cada motor.



Fig. 8: Captura de las señales de movimiento de los motores a pasos en el osciloscopio.

Es relevante destacar que las señales de los motores fueron medidas simultáneamente desde sus respectivas bobinas para observar el proceso de giro de cada motor. Además, se realizaron mediciones para verificar el inicio adecuado de cada secuencia. Se puede observar que las señales de los motores son óptimas, ya que están perfectamente sincronizadas, a pesar de moverse en direcciones

completamente opuestas; dos en sentido horario y dos en sentido antihorario (los canales 2 y 4 en un sentido y los otros dos en sentido contrario). Aunque tienen acciones opuestas, se mueven a la misma velocidad y con la misma fuerza, como se muestra en la Figura 9.

Las gráficas muestran claramente que existe un control independiente entre los motores, lo cual cumple con el propósito para el cual se diseñó esta tarjeta de control.



Fig. 9: Captura de las secuencias de los motores a pasos en el osciloscopio.

V. CONCLUSIÓN

Este artículo presentó el diseño y construcción de una tarjeta PCB para el control simultáneo e independiente de cuatro motores a pasos, abordando necesidades específicas en el control de estos motores. Con esta implementación, se logra superar obstáculos comunes que enfrentan estudiantes y profesionales al controlar varios motores de manera simultánea e independiente en sus proyectos. Además, se destaca que existen tarjetas comerciales que ofrecen esta funcionalidad, pero a un costo mucho más elevado.

VI. RECONOCIMIENTOS

Reconocer a las autoridades del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Guzmán, el apoyo brindado para realizar esta investigación con la participación de estudiantes y docentes. Este trabajo forma parte de las iniciativas para fomentar la formación en investigación del personal docente y contribuir al desarrollo académico de los estudiantes. Asimismo, es uno de los resultados obtenidos del proyecto de investigación titulado "Diseño de un diplomado para la formación en investigación científica y tecnológica para docentes del TecNM", con clave M00-PR-03-R01 No. 18668.

- [1] Athani, V. V. (1997). *Stepper motors: fundamentals, applications and design*. New Age International.
- [2] Conti, F. (2005). *Motores paso a paso*. Tecnibook Ediciones.
- [3] Samanta, B. (2023). Actuators. In *Introduction to Mechatronics: An Integrated Approach* (pp. 237-263). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29320-7_9
- [4] Vazquez, L. A. A. (2023). Raspberry, un ordenador en una sola placa. *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, 1(1), 11–16. <https://revista.ccaite.se.com/index.php/ridt/article/view/3>
- [5] Connolly, P., & Orlando-Jepsen, M. (2022, March). Survey of Educational Robotics Applications in Secondary Education. In *2022 ASEE-North Central Section Conference*. <https://peer.asee.org/39263>
- [6] Gunes, H., & Kucuk, S. (2022). A systematic review of educational robotics studies for the period 2010–2021. *Review of Education*, 10(3), e3381. <https://doi.org/10.1002/rev3.3381>
- [7] Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100364>
- [8] Karthikeyan, S., Aakash, R., Cruz, M. V., Chen, L., Ajay, V. J. L., & Rohith, V. S. (2023). A Systematic Analysis on Raspberry Pi Prototyping: Uses, Challenges, Benefits, and Drawbacks. *IEEE Internet of Things Journal*. doi:10.1109/JIOT.2023.3262942
- [9] Torrecillas P, A. (2017). Diseño y fabricación de placas PCB para el control de un robot móvil (Doctoral dissertation, ETSI_Sistemas_Infor). <https://oa.upm.es/48113/>
- [10] Alvarado Herrera, D. Y., & Barrios Victoria, D. M. (2017). Tarjeta electrónica expandible para control de una barrera vehicular. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22225>
- [11] González Ramírez, R. L., & Sánchez Martínez, J. (2014). Sistema electrónico de control para vehículos eléctricos. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12528/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [12] Kruger B. (2013). Arduino-CNC-Shield-Schematics. Available in: <https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield/arduino-cnc-shield-schematics/>
- [13] Pololu Robotics & Electronics. (2010). A4988 Stepper Motor Driver Carrier. Recuperado 2 de junio