

REVISIÓN DE SISTEMAS DE FRESADO CNC PARA LA ELABORACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS PCB

REVISION OF CNC MILLING SYSTEMS FOR THE PREPARATION OF PCB PRINTED CIRCUIT BOARDS

Carlos Andrés Guillen Moreno*, Andrea Duque Ramírez*, Daniela Buelvas De la Ossa*, Kerley Manuel Grau* & Carlos Ochoa Pertuz**

cochoa1@unisimonbolivar.edu.co

Universidad Simón Bolívar, Barranquilla-Colombia

Resumen | La investigación se encuentra enfocada hacia la realización del manejo de la perforación mediante máquinas computarizadas, el diseño y la construcción de un torno automático implica el desarrollo de un sistema mecánico, un sistema electrónico y un sistema informático, los cuales han de interactuar para moldear un material, tomando como guía un código CNC de entrada. El desarrollo de un sistema con componentes mecánico, electrónico y computacional corresponde a un sistema mecatrónico.

Palabras clave: | *Control numérico computarizado, Diseño mecánico, Robot cartesiano XYZ*

Abstract | This research was aimed to conduct the drilling direction with computerized machines, the design and construction of an automatic lathe involves the development of a mechanical system, an electronic system and a computer system, which are to interact to mold a material, guided by an input CNC code. The development of a system with mechanical, electronic and computational components corresponds to a mechatronic system.

Key-words: | *Computer numerical control, Mechanical design, Cartesian robot XYZ*



Para referenciar este artículo (IEEE):

[N] C. Guillen, A. Duque, D. Buelvas, K. Grau & C. Ochoa, "Revisión de sistemas de fresado CNC para la elaboración de placas de circuitos impresos PCB", *Investigación y Desarrollo en TIC*, vol. 7, no. 2, pp. 61-66, 2016.

Artículo resultado de formación para la investigación

*Estudiante del programa de Ingeniería de Sistemas.

**Tutor, Profesor e investigador del grupo Innovación y Tecnología en Salud.

I. INTRODUCCIÓN

“Un circuito impreso está constituido de material aislante, tal como fibra de vidrio o fenólico con trayectorias conductoras. El propósito de todos los circuitos impresos es proporcionar trayectorias eléctricas para conectar todas las componentes de un circuito, estas trayectorias se colocan en uno o ambos lados del material aislante” [1].

Una de las técnicas para la elaboración de placa de circuitos impresos o PCB es la aplicación de técnicas de control numérico computarizado para el fresado y perforación. El software *G-code* es capaz de generar archivos semejantes a los de fresado, pero destinados a fresar. En este texto se describe el diseño electrónico automático de uso didáctico que obedece a comandos CNC, se procede a detallar los requerimientos propios del sistema dinámico; en segunda instancia se definen las variables para tener en cuenta para la selección del tipo de control, las herramientas necesarias para que la máquina funcione de forma automatizada y finalmente, se explica el diseño electrónico y los resultados obtenidos.

En este artículo se realiza una revisión de los sistemas de control numérico computarizado para el fresado y perforación de tarjetas electrónicas analizando factores como mejorar el tiempo, seguridad y exactitud en la elaboración de circuitos en una PCB

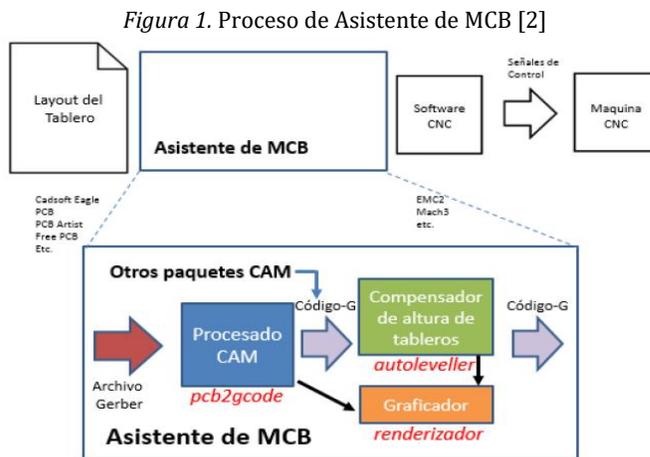
La realización del manejo de la perforación mediante máquinas computarizadas (CNC), la cual tiene una gran capacidad automática recibiendo instrucciones dada por medio de un software para la realización de figura o moldes que se pueden hacer por movimientos complejos dados.

Es de suma importancia saber el significado de *fresado*, que es una maquina o herramienta indispensable para la realización de mecanizados por arranque de viruta y por medio de movimiento de una herramienta rotativa de diferentes filos de corte denominados como fresado.

II. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS

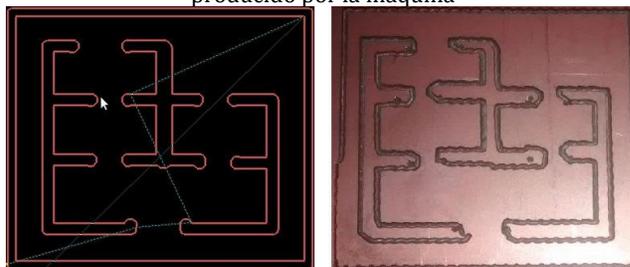
En la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), San Pedro Sula, Honduras presentó el desarrollo e implementación de un sistema integrado para la creación de tableros de circuitos de alta calidad y al mismo tiempo fácil de implementar Utilizando control numérico con

motores pasos, para seguridad de ácidos nocivos para la salud y el medioambiente. La aplicación denominada Asistente de MCB (ver figura 1) permite tomar archivos Gerber con el diseño de un circuito y crear tableros de circuito que toman en consideración las diferentes alturas, que por problemas de alineación tiene el tablero [2].



El desarrollo del proyecto entregó como resultado un prototipo con tres ejes ortogonales movidos cada uno por un motor paso a paso. Los motores son controlados a través del puerto paralelo de un sistema operativo en tiempo real, en este caso RT-Linux CNC. El software de manipulación y manejo procesa el formato de coordenadas en códigos Gerber. Primero se crea el circuito en cualquier software de diseño CAD, y luego es pasado a formato Gerber. En este caso el circuito es diseñado en Eagle. La interfaz entre la estructura mecánica del prototipo y el software es una tarjeta driver de potencia dimensionada para manejar hasta nueve ejes (ver figura 2) [3].

Figura 2. Comparación entre el diseño de una PCB frente al producido por la máquina



Urbana-Champaign, desarrolló una mini fresadora CNC de alta precisión y rentable. Este nuevo diseño puede ser ampliamente utilizado en la industria eléctrica y médica para hacer pequeñas Piezas y pequeñas características de grabado. PMAC de Delta Tau se utilizó como el movimiento

controlador. Se exploraron diferentes problemas de configuración y configuración con PMAC. Un nuevo prototipo diseñado con Arduino y TI MSP430 también fue probado e implementado como un reemplazo del PMAC para reducir costos. Máquina prototipo fabricada Fue calibrado y probado bajo varios procedimientos de auto-prueba para cumplir con estándar. Se realizó un análisis exhaustivo de los costos y una estimación de la finalización del prototipo de máquina herramienta [11].

En la Universidad Politécnica De Valencia se diseñó un sistema de control para convertir una fresadora manual en una fresadora CNC con el mínimo coste posible. Para satisfacer la necesidad de Tecnosel S. L. de convertir una fresadora manual en una fresadora CNC con el menor coste posible, concretamente el trabajo estuvo enfocado a realizar un sistema electrónico para poder controlar el fresado y los ejes de la base desde un ordenador mediante un programa ya existente [12].

En Ecuador un grupo de estudiantes diseño e implemento la construcción de un prototipo de fresadora con control numérico computarizado; se trata de una fresadora con desplazamientos automáticos en tres diferentes ejes (X, Y, Z), permitiendo realizar movimientos complejos como círculos, líneas, curvas, diagonales entre otros, mediante el uso de motores paso a paso con su respectivo driver de control y tornillos de bolas re-circulantes para la transmisión de movimiento [13].

López [14] diseño y construyó el sistema electrónico de un CNC de cuatro (4) ejes, así como su funcionamiento y características en sus dispositivos de control y de potencia, como también se conocerá sobre los motores de pasos que se utilizaron en el CNC.

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), presenta la implementación de un Sistema de Control para una máquina de Control Numérico Computarizado utilizando únicamente software libre e implementándolo en un sistema embebido. Como prototipo experimental para las pruebas se utilizó una impresora 3D en reemplazo de maquinaria CNC.

Con fines de sintetizar una comparativa del estado del arte que complementa la situación del conocimiento e investigaciones afines al estudio, en la tabla 1 se presenta el recorrido de estudios realizados por los investigadores en la investigación.

Tabla 1. Listado de estudios afines y características

	Construcción	Tiempo	Precisión	Motores	Software
Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC)	Placa de pruebas (Protoboard) y tablero de circuito impreso (PCB)			Tres motores paso a paso	Gerber - Código-G
Universidad Distrital Francisco José de Caldas	se usó madera tipo Triplex de 15 mm de espesor, Las dimensiones máximas de un circuito impreso que puede realizar el sistema es de 13 cm x 13 cm y supera las dimensiones planteadas inicialmente de 10 cm x 10 cm.			Tres motores paso a paso	Gerber - CódigoG
Escuela Superior Politécnica del Litoral	Se utilizó una impresora 3D en reemplazo de maquinaria CNC como fresadoras y tornos, debido a las similitudes en su estructura de ejes y motores. El proyecto abordó dos de las etapas que conforman el proceso de manufactura CNC.	En base a las pruebas se determinaron las aceleraciones máximas: Eje X = 1500mm/s ² Eje Y = 1500mm/s ² Eje Z = 40mm/s ² Ajustando las aceleraciones a su valor recomendado resultaría en: Eje X = 1350mm/s ² Eje Y = 1350mm/s ²		Motores paso a paso	CAM: PyCAM
University of Illinois at Urbana-Champaign	El espacio de trabajo es de 50*50*40mm ³ . Estructura abierta con orientación vertical. Trabaja con tres ejes X Y Z. Altura 407mm, anchura 150mm y espesor de 1.5mm. El eje Z puede llegar a 40 mm de libertad de su posición más elevada hasta su posición de trabajo.	Máxima 5940 RPM	50 micras y 10 de replicabilidad	Se utiliza motores paso a paso, servo	
Universidad Politécnica De Valencia	La estructura de la máquina se fabricó con MDF y ángulos de aluminio; tiene un volumen de trabajo de 30 cm en el eje X, 28 cm en el eje Y y 10 cm en el eje Z;			Bipolares 24 voltios.	Mach3 - Código G

Universidad Internacional Del Ecuador	(madera de media Densidad), balsa, acrílico y aluminio. En cada uno de estos materiales se tomó una muestra de 10 diferentes maquinados. Se realizó pruebas con diferentes Penetraciones y velocidades de corte. Para los tres primeros materiales se realizaron pruebas fabricando una pieza cuadrada de 4cm por lado, y en el material restante se grabó un cuadrado de 2cm por lado;	En MDF la velocidad de avance en corte es de 400 mm/min; en acrílico 124 es de 250 mm/min, en balsa es de 500 mm/min y para realizar grabados en Aluminio es de 200 mm/min.	La resolución es de 0.10 mm con una penetración de 0.5 mm, en acrílico la resolución es de 0.03 mm con una penetración de 0.3 mm, en balsa la resolución es de 0.04 mm con una Penetración de 1 mm.	Motor paso a paso Nema 17	Mach3 - Código G
---------------------------------------	--	---	---	---------------------------	------------------

Lo que se puede apreciar de las implementaciones, diseño y procesos de control numérico en las investigaciones anteriores permite concluir que las herramientas más utilizadas para la elaboración de fresado en una PBC con el manejo de CNC son motores paso a paso, implementando el software de Gerber - Código-G, con la utilización de tres (3) ejes.

- **Control numérico por computadora:** el control numérico por computadora también es conocido como CNC (por sus siglas en inglés *Computer Numerical Control*), son sistemas automatizados en las cuales se manejan una serie de codificaciones alfanuméricas programadas para las distintas aplicaciones existentes desarrolladas en secuencias de operaciones y movimientos de manera ordenada según lo requiera el programador [1]. En general, el incremento en la utilización de máquinas herramientas con CNC se debe a que un gran número de problemas, que se consideraban bien resueltos por los métodos de trabajo clásicos, que pueden tener una respuesta ventajosa desde el punto de vista técnico mediante la utilización de dichas máquinas [19].

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto de que no es descabellado afirmar que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial [6].

- **Proceso de Grabado con CNC:** el proceso de grabado es una disciplina artística en las cuales se utilizan una gran variedad de técnicas de impresión definidas, con la finalidad de que el proceso sea novedoso, llamativo e innovador. El programa que realiza los movimientos y controla la máquina utiliza un lenguaje especial llamado código G (en inglés G-code), que designa códigos y parámetros a la forma en que se realiza cada movimiento. De esta forma, es posible especificar una secuencia de comandos que debe ejecutar la máquina que implemente el control numérico computarizado [20].
- **Fabricación de tableros usando CNC:** debido a que los tableros de circuitos están compuestos de un sustrato no conductor revestido por una superficie de cobre, otra forma de crear las pistas necesarias para el circuito es removiendo el material excedente mediante una operación de fresado. Para lograr la precisión necesaria esto puede hacerse utilizando una máquina de control numérico computarizado (CNC). El control numérico se usa para automatizar máquinas y herramientas de manera que pueden controlarse a través de comandos programados usando un lenguaje denominado Código G (en inglés *G-Code*). Este código brinda instrucciones al controlador de movimientos sobre la forma en que cada eje de la fresadora debe de moverse según Lynch [2].
- **Maquina fresadora:** la maquina fresadora es una herramienta que se utiliza para producir con precisión una o más superficies maquinadas sobre una pieza de un determinado material; este se efectúa mediante una o más herramientas de corte [8].
- **Proceso de grabado con CNC:** el proceso de grabado es una disciplina artística en las cuales se utilizan una gran variedad de técnicas de impresión definidas, con la finalidad de que el proceso sea novedoso, llamativo e innovador. El proceso consta en realizar el dibujo de un croquis o imagen sobre una superficie rígida llamada matriz, de esta manera se establece una huella que se transfiere a presión a otra superficie, esto depende mucho del tipo de material que se utilice y el diseño que se desee realizar, esto permite que pueda generar varias reproducciones de la huella o estampa [1].
- **Arduino:** es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y

hardware flexibles y fáciles de usar. El micro controlador en la placa Arduino de marca se programa mediante el lenguaje de programación y el entorno de desarrollo Arduino, que ha sido utilizado con éxito en estudios de gestión de sistemas de información [22,23]. Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software) [5].

- **Raspberry Pi:** es una tarjeta de ordenador de bajo costo que se conecta a un monitor de ordenador o un televisor, y utiliza un teclado y un ratón estándar. Es un dispositivo que permite a las personas de todas las edades explorar la computación, y aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de hacer todo lo que espera un ordenador de sobremesa puede hacer, desde navegar por Internet y reproducción de vídeo de alta definición, hasta hacer de hojas de cálculo, procesador de textos, y jugar. [6]

Figura 3. Izquierda: Raspberry Pi - Derecha: Arduino [18]



- **GRBL:** es un software diseñado para enviar código G para máquinas CNC, no es muy utilizado industrialmente pues carece de algunas configuraciones necesarias como es control de velocidad de la herramienta, o encendido y apagado de un dispositivo para enfriar la herramienta, límites de software entre otros [16].
- **EAGLE:** es un programa de diseño de diagramas y PCB con auto-enrutador. Famoso alrededor del mundo de los proyectos electrónicos DIY, debido a que muchas versiones de este programa tienen una licencia *Freeware* y gran cantidad de bibliotecas de componentes alrededor de la red [17].

Definir las diferentes herramientas permite identificar diferentes escenarios o posibles prácticas empíricas que permitan verificar el funcionamiento de uno u otro

instrumento según las posibles combinaciones o estilos que se determinen en el diseño experimental [21].

III. CONCLUSIONES

El sistema de control tiene como propósito en términos generales, el objetivo de aumentar la eficiencia en los resultados del prototipo en el fresado manual en una placa PCB, ya que la importancia de un sistema de control se ve reflejada principalmente en la precisión de los trazos del PCB, la cual se obtiene generalmente con el control de los motores paso, y son estos los encargados de los movimientos.

IV. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de docente Carlos Ochoa, a quien nos gustaría expresar los más profundos agradecimientos, por hacer posible la realización de este estudio investigativo. Además de agradecer su paciencia, tiempo y dedicación que tuvo para que esto saliera de manera exitosa.

V. REFERENCIAS

- [1] D. Jiménez & B. Almeida. "Implementación y aprovechamiento de la tecnología CNC, en modelado de productos de grabado metálico a partir de un diseño CAD". *Bachelor's thesis*. Facultad de mecánica escuela de ingeniería industrial Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2016.
- [2] Ocampo, J. R. & I. Deras. "Aplicación Integrada para Construcción de PCBs mediante Tecnología CNC y Ajuste Automático a la Superficie". *Innovare: Revista de ciencia y tecnología*, vol. 3, no. 1, pp. 27-41, 2015.
- [3] D. Alonso, J. J. Gil & F. Martínez. "Prototipo de máquina fresadora CNC para circuitos impresos". *Revista Tekhnê*, vol. 12, no. 1, pp. 23-38, 2015.
- [4] J. Berrio, E. Arcos, J. Zuluaga & S. Corredor. "Diseño y construcción de un robot cartesiano de 3 grados de libertad". *IV Congreso Internacional 50 de Ingeniería Mecánica y Automatización - CIIME*, 2015.
- [5] M. Cifuentes & J. S. Jaramillo. "Diseño de un sistema de manufactura automático para circuitos impresos". *Bachelor's thesis*. Facultad de Ingeniería y Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2015.
- [6] M. Riquelme. "Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas". *Bachelor's thesis*, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, 2014.
- [7] A. Suárez. "Implementación de una CNC para la fabricación de placas PCB, basado en software libre".

- Bachelor's thesis*. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 2015.
- [8] M. Morales. (2012). "Mini fresadora CNC de tres ejes. En Unidad profesional interdisciplinaria en ingeniería y tecnologías avanzadas (109)". Upiita: instituto politécnico nacional.
- [9] A. Mejía & A. Patiño. "Desarrollo y construcción de una máquina (CNC) como aporte determinante en la competitividad industrial de las MiPymes en Colombia". *Épsilon*, n. 20, pp. 193-214, 2013.
- [10] A. López & J. López. "Fabricación industrial". *Bachelor's thesis*, Universidad de Almería, España, 2015.
- [11] W. Qin. "Design and analysis of a small-scale cost-effective CNC milling machine". *Master's thesis*. University of Illinois, USA, 2013.
- [12] S. Santos. Universitat Politècnica de València. ingeniería téc. de telec. esp. sist. elect., 1, 241, 2011.
- [13] E. Carrillo. "Diseño y construcción de una fresadora de control numérico computarizado con movimientos en tres ejes". *Bachelor's thesis*. Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador, 2015.
- [14] O. López. "Diseño, construcción y funcionamiento electrónico de un centro de maquinado de CNC de 4 ejes". *Bachelor's thesis*. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana, México, 2015.
- [15] C. Ronquillo & J. Magallanes. "Implementación de un Sistema de Control para una Máquina de Control Numérico Computarizado (CNC) sobre un Sistema Embebido utilizando Herramientas de Software Libre". *Bachelor's thesis*. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ecuador, 2015.
- [16] A. Sosa & J. G. Tonato. "Diseño y construcción de una máquina industrial de control numérico computarizado tipo Router para la empresa Metal Mecánica Gutti". *Doctoral Dissertation*, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, 2015.
- [17] J. J. Montes & M. Martín. "Control manual para CNC". *Bachelor's thesis*, Universidad de Valladolid, España, 2013.
- [18] J. A. López. "Diseño de la implantación de un sistema de inyección y encendido electrónico en un motor monocilíndrico. Construcción y aplicación de los periféricos (sensores y actuadores) así como definición de las cartografías de control para un vehículo experimental" *Bachelor's thesis*, Universitat Politècnica de Catalunya, España, 2009.
- [19] Y. Sáez & D. Armando. "Las tecnologías de las máquinas herramientas de control numérico y su incidencia en el campo industrial" *Bachelor's thesis*, Universidad Autónoma de Chiapas, México, 2016.
- [20] Chang Papa, R. R. "Diseño e implementación de una máquina fresadora CNC para la fabricación de placas de circuitos impresos" *Doctoral dissertation*, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2015.
- [21] J. M. Insignares & E. Orozco-Acosta. "La distribución t: una transformación del empleado de la brewery". *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 2, no. 2, pp. 36-43, 2014.
- [22] A. Vilorio & W. Quintero. "Gestión SAT río manzanares". *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 4, no. 2, pp. 128-135, 2016. <https://doi.org/10.17081/invinno.4.2.2493>
- [23] B. Londoño González and P. Sánchez, "Algoritmo Novedoso Para la Detección de Tareas Repetitivas en el Teclado", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 3, no. 2, 2015. DOI: 10.17081/invinno.3.2.2031