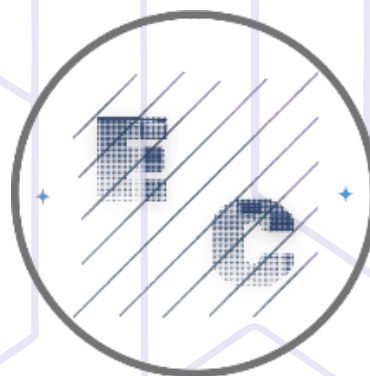
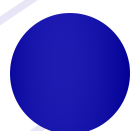
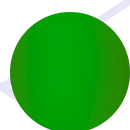




# REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS



**Universidad de Sonsonate**



**Volumen 3, Número 3**



**Julio - Septiembre, 2026**  
**Edición Especial**

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, [www.omniscens.com](http://www.omniscens.com)

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 3  
Julio-Septiembre 2026  
Edición Especial

Publicación trimestral  
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

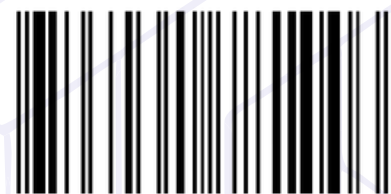
Contacto principal: [admin@omniscens.com](mailto:admin@omniscens.com)

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.



Copyright © 2026: Los autores

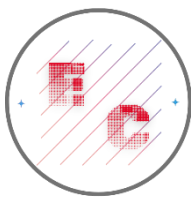


9773061781003

---

### Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 3, julio-septiembre 2026, edición especial, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, [admin@omniscens.com](mailto:admin@omniscens.com), Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 julio 2026.



**Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias**

**Vol. 3, Núm. 3, 2026, julio-septiembre, Edición Especial**

**DOI:** <https://doi.org/10.71112/v1avc979>

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO  
COMPUTARIZADO CNC DE 5 GRADOS DE LIBERTAD**

**DESIGN AND SIMULATION OF A COMPUTER NUMERICAL CONTROL CNC  
MACHINE WITH 5 DEGREES OF FREEDOM**

**Marvin Adonay Alarcón Segura**

**Henry Manuel Pérez Pérez**

**César Armando Morales Molina**

**Abner Alberto Godínez Hernández**

**El Salvador**

## Diseño y simulación de una máquina de control numérico computarizado CNC de 5 grados de libertad

### Design and simulation of a computer numerical control CNC machine with 5 degrees of freedom

Marvin Adonay Alarcón Segura<sup>a,\*</sup>

[marvin.segura@usonsonate.edu.sv](mailto:marvin.segura@usonsonate.edu.sv)

<https://orcid.org/0009-0006-3537-2519>

Henry Manuel Pérez Pérez<sup>a</sup>

[henry.perez@usonsonate.edu.sv](mailto:henry.perez@usonsonate.edu.sv)

<https://orcid.org/0009-0001-7346-3255>

César Armando Morales Molina<sup>a</sup>

[cmorales@usonsonate.edu.sv](mailto:cmorales@usonsonate.edu.sv)

<https://orcid.org/0009-0000-6716-1392>

Abner Alberto Godínez Hernández<sup>a</sup>

[abner.godinez@usonsonate.edu.sv](mailto:abner.godinez@usonsonate.edu.sv)

<https://orcid.org/0009-0001-5289-8698>

\*Autor de correspondencia: [marvin.segura@usonsonate.edu.sv](mailto:marvin.segura@usonsonate.edu.sv), <sup>a</sup>Universidad de Sonsonate, El Salvador.

## RESUMEN

Se presenta el diseño y simulación de una máquina CNC de cinco grados de libertad (5 DOF), en la que se destacan su estructura mecánica, los componentes de movimiento y la aplicación del método geométrico para resolver la cinemática directa e inversa. El sistema integra tres ejes de desplazamiento lineal (X, Y, Z) y dos ejes de rotación (A, B), lo que amplía su capacidad para realizar operaciones de mecanizado en geometrías complejas. El modelo fue desarrollado en SOLIDWORKS, donde se diseñaron los componentes estructurales, actuadores, accesorios de montaje y elementos electrónicos, estableciendo las relaciones de posición y movimiento mediante el ensamblaje virtual de la máquina. Asimismo, se implementó

en MATLAB la simulación del modelo matemático de la cinemática directa e inversa, con el fin de analizar las trayectorias y posiciones de la herramienta, considerando los límites de desplazamiento de cada eje y las restricciones estructurales y mecánicas.

**Palabras clave:** Cinemática directa; CNC; MATLAB; Simulación; SOLIDWORKS.

## ABSTRACT

The design and simulation of a five degrees of freedom (5 DOF) CNC machine are presented, highlighting its mechanical structure, the motion components, and the application of the geometric method to solve the direct and inverse kinematics. The system integrates three linear displacement axes (X, Y, Z) and two rotation axes (A, B), which expands its capability to perform machining operations on complex geometries. The model was developed in SOLIDWORKS, where the structural components, actuators, mounting accessories, and electronic elements were designed, establishing the position and motion relationships through the virtual assembly of the machine. Likewise, the simulation of the mathematical model of the direct and inverse kinematics was implemented in MATLAB, in order to analyze the tool trajectories and positions, considering the displacement limits of each axis and the structural and mechanical constraints.

**Keywords:** direct Kinematics; CNC; MATLAB; Simulation; SOLIDWORKS.

Recibido: 13 mayo 2026 | Aceptado: 30 junio 2026 | Publicado: 1 julio 2026

## INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología en la manufactura ha llevado al desarrollo de máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC) con una mayor capacidad de movimiento y precisión. Estas máquinas permiten realizar operaciones complejas de mecanizado con una

automatización eficiente, lo que ha impulsado su uso en industrias como la aeroespacial, automotriz y de manufactura avanzada (Cheng & Lin , 2020); En este contexto, el diseño y simulación de máquinas CNC con múltiples DOF se ha convertido en un tema de interés, ya que permite optimizar el rendimiento y prever posibles problemas en la ejecución de procesos de maquinado.

El diseño de una máquina CNC de 5 DOF implica la integración de tres ejes de movimiento lineal (X, Y, Z) y dos ejes de rotación (A, B), lo que proporciona una mayor flexibilidad para el mecanizado de piezas con geometrías complejas. Para el desarrollo de esta investigación, se ha utilizado un enfoque basado en modelado y simulación mediante herramientas computacionales avanzadas como SOLIDWORKS y MATLAB. (Omran, Elmoushi, & Abdelwahab, 2021).

SOLIDWORKS ha sido empleado para realizar profesionalmente el diseño mecánico, ensamblaje y simulación de los movimientos de los ejes de la máquina, permitiendo validar la factibilidad mecánica del sistema, seleccionar adecuadamente los componentes tanto mecánicos como electrónicos, optimizar espacios, y considerar aspectos técnicos de diseño. Por otro lado, el uso de MATLAB permite controlar y simular los movimientos de los 5 DOF con precisión (Ghazali, Ahmad, Yuseri, & Suid, 2024).

Uno de los aspectos fundamentales en la programación y control de una máquina CNC es la determinación precisa de la posición y orientación de la herramienta. El uso del método geométrico en la resolución de la cinemática de la máquina CNC ha demostrado ser una estrategia eficaz para obtener soluciones rápidas y precisas en la localización de la herramienta de maquinado. (Alsoufi et al., 2025).

Este método se basa en la descomposición de los movimientos en relaciones geométricas sencillas, lo que facilita su interpretación y aplicación en un entorno

computacional. Además, permite una mejor comprensión del comportamiento de los ejes y sus respectivas trayectorias en el espacio de trabajo.

La estructura mecánica de la máquina CNC propuesta en este trabajo ha sido diseñada considerando criterios de rigidez, estabilidad y precisión. Se ha optado por el uso de actuadores lineales en los ejes X, Y, Z, asegurando un desplazamiento preciso y confiable. (Ramírez , J., Correa, & Flórez, 2013).

La configuración de los ejes rotacionales A y B ha sido diseñada de manera que permita un rango de movimiento adecuado para operaciones de maquinado complejas, maximizando la accesibilidad de la herramienta de maquinado. Además del diseño estructural, el estudio considera los límites de movimiento de cada eje, los cuales están determinados por la longitud de los actuadores y la configuración mecánica del sistema. Estos límites son fundamentales para la programación del control numérico y la prevención de colisiones durante la operación de la máquina. La correcta definición de estos límites garantiza un funcionamiento seguro y eficiente de la máquina.

En el proceso de simulación, se han implementado modelos en MATLAB que permiten visualizar el comportamiento cinemático de la máquina, analizando la trayectoria de la herramienta en función de diferentes configuraciones de entrada. La validación de estos modelos se ha realizado comparando los resultados obtenidos con los datos de simulación en SOLIDWORKS, asegurando la coherencia y precisión del sistema propuesto. (Laryushkin et al., 2025).

La integración del método geométrico, en combinación con las simulaciones en SOLIDWORKS y MATLAB, ha permitido desarrollar un modelo confiable y funcional. Además, se ha logrado optimizar el análisis cinemático y establecer una base sólida para futuras implementaciones en el control y programación del sistema.

En este contexto, el diseño y la simulación de máquinas CNC de 5 DOF representan un reto técnico complejo que requiere la integración de conocimientos en diversas disciplinas, como la ingeniería mecánica, la robótica, la informática y la matemática aplicada. (Chen et al., 2025).

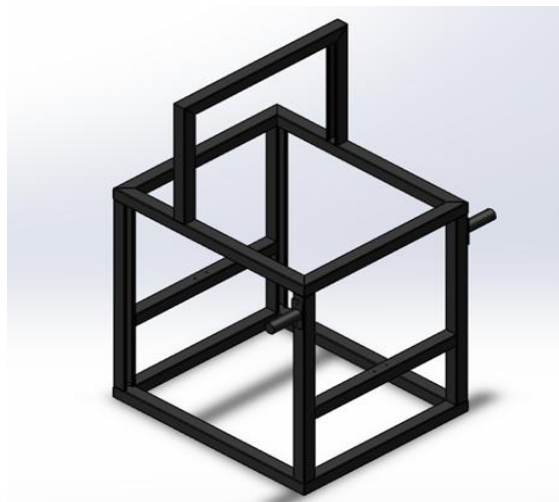
## METODOLOGÍA

### Diseño de la estructura principal

La estructura principal de la máquina se diseñó con un perfil metálico estructural tipo C de 41.3 mm x 41.3 mm, medidas que corresponden a un perfil comercial. Las dimensiones globales de la estructura son 600 mm de ancho, 700 mm de largo y 1352.6 mm de alto, diseñada para integrar de manera eficiente los actuadores de movimiento lineal de los ejes X, Y, Z, estos se montan directamente sobre la estructura por medio de bases de acople, pernos y tuercas, garantizando así una alineación precisa y un funcionamiento coordinado durante las operaciones de maquinado. La estructura proporciona soporte mecánico que garantiza la estabilidad y precisión en los movimientos de los ejes. (véase la Figura 1).

### Figura 1

*Diseño de la estructura principal.*

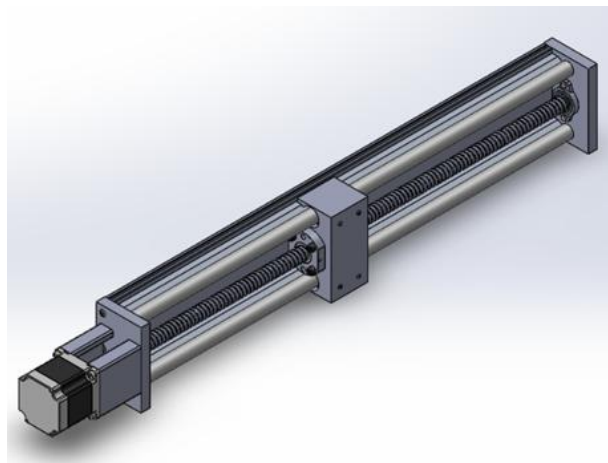


## Diseño del sistema de movimiento del eje X

El sistema de movimiento del eje X es parte fundamental en el diseño de la máquina, ya que permite el desplazamiento horizontal de la herramienta a lo largo de la mesa de trabajo. Para lograr un control preciso y eficiente, se seleccionó y modeló el actuador lineal ZBX100X500. El actuador posee un husillo de bolas SFU1605, que brinda una alta precisión de movimiento gracias a su paso de 5 mm por revolución. Además, está equipado con un motor paso a paso NEMA 23 que proporciona el torque necesario para accionar el husillo y garantizar un control preciso del movimiento de la herramienta. Este sistema permite un desplazamiento horizontal de 500 mm en el eje X. (véase la Figura 2).

### Figura 2

*Sistema de movimiento del eje X.*

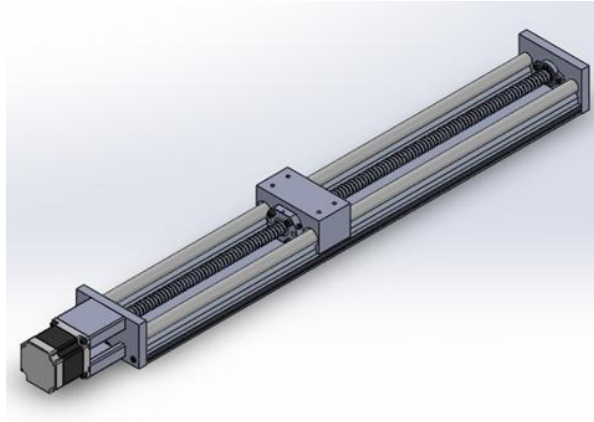


## Diseño del sistema de movimiento del eje Y

El sistema de movimiento del eje Y está diseñado para proporcionar el desplazamiento horizontal de la mesa de trabajo en dirección perpendicular al eje X. Para este sistema, se seleccionó el actuador lineal ZBX100X600, el cual realiza un desplazamiento total de 600 mm y al igual que el actuador ZBX100X500 cuenta con un husillo de bolas SFU1605 y un motor paso a paso NEMA 23, que permiten un movimiento estable y exacto del eje Y (véase la Figura 3).

**Figura 3**

*Sistema de movimiento del eje Y.*

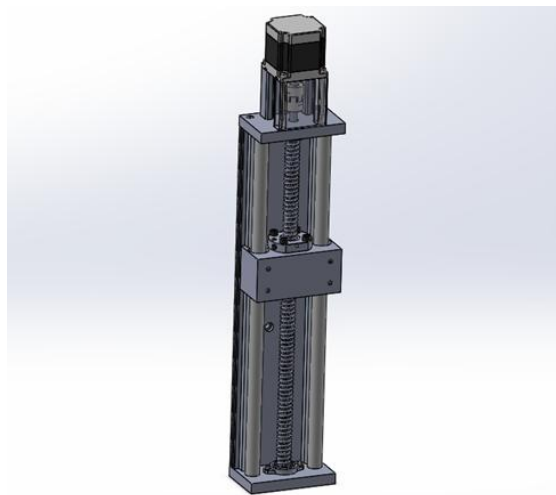


### **Diseño del sistema de movimiento del eje Z**

Para asegurar un desplazamiento preciso y controlado del eje Z, se seleccionó y modeló el actuador lineal ZBX100X300, el cual realiza un desplazamiento total de 300 mm y al igual que los actuadores ZBX100X500 y ZBX100X600 este también está equipado con un husillo de bolas SFU1605 el cual posee un paso de 5 mm por revolución, y un motor paso a paso NEMA 23. (véase la Figura 4).

**Figura 4**

*Sistema de movimiento del eje Z.*

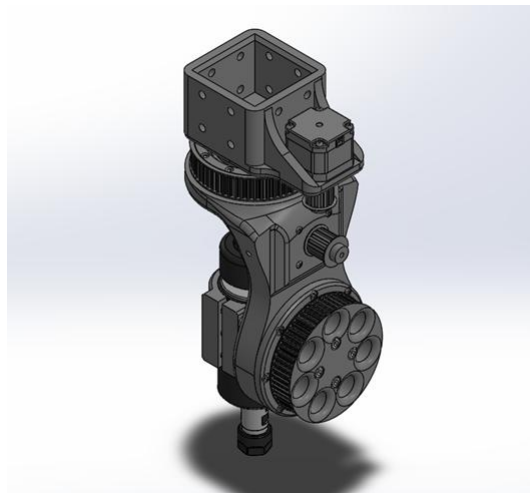


## Diseño del sistema de movimiento de los ejes A y B

El sistema de movimiento de los ejes A y B fue diseñado para agregar 2 DOF a la máquina CNC. Ambos ejes están integrados en una pieza que sostiene la herramienta y permiten un movimiento coordinado. El eje A realiza la rotación en torno al eje Z con un rango de 0° a 360° y el eje B proporciona una rotación perpendicular al eje Z, con un rango de 0° a 180°, ambos ejes impulsados por un motor paso a paso NEMA 17. Como actuador final se modeló un motor de husillo de alta velocidad, alimentado por corriente continua (DC) y con un rango de operación entre 12,000 y 24,000 RPM. El modelo incorpora un portaherramientas tipo ER16, que permite realizar operaciones de fresado, corte y grabado (véase la Figura 5).

### Figura 5

*Sistema de movimiento de los ejes A y B.*



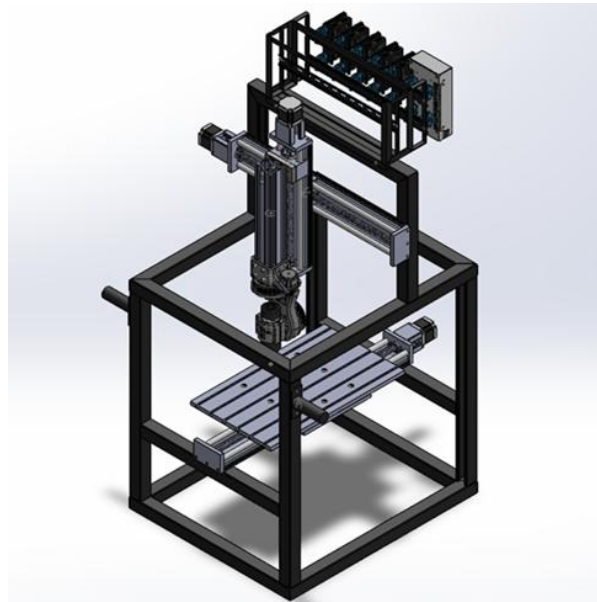
## Ensamble de la máquina CNC

Una vez finalizado el diseño de la estructura principal y de los componentes mecánicos, se realizó el ensamble de la máquina CNC. Aquí se incorpora a la estructura principal de los sistemas de movimiento para los ejes X, Y, Z, el sistema de rotación de los ejes A y B en conjunto con la herramienta de maquinado y la mesa de trabajo T-Slot Plate 5030. En el

ensamble se configuraron las relaciones de posición y se establecieron los límites de movimiento de los ejes en SOLIDWORKS (SOLIDWORKS, 2025). (véase la Figura 6).

### Figura 6

*Ensamble de la máquina CNC de 5 DOF.*



### Cinemática directa basada en la geometría de la máquina CNC

El modelo geométrico de la cinemática directa se basó en el cálculo de las posiciones  $X_{efector}$ ,  $Y_{efector}$ ,  $Z_{efector}$  del efector final (herramienta de maquinado) en función de los ángulos de rotación  $\theta_4$  y  $\theta_5$  de los ejes  $A$  y  $B$ , y las posiciones  $X_{pos}$ ,  $Y_{pos}$ ,  $Z_{pos}$  del efector sobre de los ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (Huczala, Mair, & Postulka, 2024).

Los parámetros utilizados para el cálculo de la posición del efector final son:

$X_{pos}$  : Posición del actuador sobre el eje  $X$  .

$Y_{pos}$  : Posición del actuador sobre el eje  $Y$  .

$Z_{pos}$  : Posición del actuador sobre el eje  $Z$  .

$\theta_4$ : Ángulo de rotación en torno al eje  $A$  de  $0^\circ$  a  $360^\circ$

$\theta_5$ : Ángulo de rotación en torno al eje  $B$  de  $0^\circ$  a  $180^\circ$

$L$ : Longitud del efector desde el eje  $B$  hasta el extremo final.

Ecuaciones de posición del efector final para la cinemática directa

El cálculo de la posición del extremo del efector final se realiza a partir de las relaciones trigonométricas existentes entre los ejes y los ángulos de rotación utilizando las siguientes ecuaciones:

$$X_{efector} = X_{pos} + L \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5) \quad (1)$$

$$Y_{efector} = Y_{pos} + L \cdot \sin(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5) \quad (2)$$

$$Z_{efector} = Z_{pos} + L \cdot \sin(\theta_5) \quad (3)$$

Estas ecuaciones geométricas describen cómo se desplaza el efector final en función de las posiciones  $X_{pos}$ ,  $Y_{pos}$ ,  $Z_{pos}$  y los ángulos de rotación  $\theta_4$  y  $\theta_5$ .

La componente  $X_{efector}$  incluye la posición base del eje  $X$  y una corrección en función de las rotaciones aplicadas por  $\theta_4$  y  $\theta_5$ .

La componente  $Y_{efector}$  funciona de manera analógica a  $X_{efector}$ , pero considerando la proyección en el eje  $Y$ .

La componente  $Z_{efector}$  agrega a  $Z_{pos}$  la contribución en altura debido a la rotación  $\theta_5$  la cual controla el cambio en altura del efector final a medida que este se inclina.

Este enfoque geométrico es particularmente adecuado para la máquina CNC ya que el análisis cinemático directo permite determinar la posición del efector final a partir de los ángulos de los actuadores (Pareek & Kesavadas, 2020).

## Cinemática inversa basada en la geometría de la máquina CNC

La resolución de la cinemática inversa implica calcular las coordenadas  $X_{pos}$ ,  $Y_{pos}$ ,  $Z_{pos}$  que permitirán alcanzar la posición objetivo en función de la posición actual del efector y su orientación.

A partir de la cinemática directa, las posiciones del efector final en función de  $X_{pos}$ ,  $Y_{pos}$ ,  $Z_{pos}$ ,  $L$ ,  $\theta_4$  y  $\theta_5$  se obtienen de las ecuaciones (1), (2), (3).

De la ecuación (1) se tiene que:  $X_{efector} = X_{pos} + L \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5)$

Despejando  $X_{pos}$  se obtiene:

$$X_{pos} = X_{efector} - L \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5) \quad (4)$$

De la ecuación (2) se tiene que:  $Y_{efector} = Y_{pos} + L \cdot \sin(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5)$

Despejando  $Y_{pos}$  se obtiene:

$$Y_{pos} = Y_{efector} - L \cdot \sin(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5) \quad (5)$$

De la ecuación (3) se tiene que:  $Z_{efector} = Z_{pos} + L \cdot \sin(\theta_5)$

Despejando  $Z_{pos}$  se obtiene:

$$Z_{pos} = Z_{efector} - L \cdot \sin(\theta_5) \quad (6)$$

## Desarrollo del sistema de simulación en MATLAB

La simulación del movimiento de la máquina CNC es muy importante para validar la efectividad de las ecuaciones anteriores, para la cinemática directa e inversa. Para ello se desarrolló un pequeño sistema de simulación en MATLAB que integra la visualización en 3D del movimiento lineal y rotación de los ejes de la máquina, control de movimientos a través de

Sliders interactivos, y comunicación en tiempo real con un microcontrolador Arduino. El objetivo es probar y analizar el comportamiento de la máquina CNC mediante los desplazamientos de los ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  y las rotaciones de los ejes  $A$  y  $B$ . Dicho sistema incluye características como la representación gráfica en tiempo real de la posición deseada, así como también la capacidad de calcular y ajustar posiciones mediante la cinemática inversa. (Marouani & Hassine, 2025).

La integración con Arduino permite que las órdenes de movimiento realizadas durante la simulación sean enviadas en tiempo real al microcontrolador y de esta manera se puedan ejecutar simultáneamente los movimientos de los ejes en la máquina. A continuación, se muestra la secuencia del código del sistema de simulación.

### **Inicio**

**Definir función principal** *MAQUINA\_CNC\_5\_EJES* ( )

**Establecer parámetros geométricos de la máquina**

Longitud de la herramienta

Diámetro de los ejes

Representación 3D en MATLAB

**Configurar comunicación con Arduino**

Definir puerto y velocidad de transmisión

Abrir comunicación serial

**Configurar ventana de simulación 3D**

Definir límites de  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$

Activar visualización rotatoria

Establecer título y etiquetas

**Crear interfaz de control**

Sliders para ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  y ángulos  $\theta_4$ ,  $\theta_5$

Botón para calcular cinemática inversa

Etiquetas para mostrar valores actuales

**Definir función *UPDATE\_PLOT* ( )**

Obtener valores de los Sliders

Actualizar etiquetas con posiciones actuales

Dibujar en 3D los ejes y efector final

Enviar posiciones al Arduino

Esperar confirmación de movimiento ("DONE")

Mostrar mensaje de éxito o error

**Definir función *CALCULAR\_CINEMATICA\_INVERSA* ( )**

Solicitar al usuario coordenadas deseadas (  $X$  ,  $Y$  ,  $Z$  ,  $\theta_4$  ,  $\theta_5$  )

Calcular posiciones articulares requeridas

Actualizar Sliders con los valores calculados

Llamar a *UPDATE\_PLOT* ( ) para reflejar cambios

**Definir función *CYLINDER\_DRAW* ( )**

Dibujar cilindro entre dos puntos

Representar gráficamente los ejes y uniones

**FIN**

## RESULTADOS

### Cálculo de la posición de la herramienta sobre el eje X

Se calculó la posición  $X_{efector}$  del extremo final de la herramienta sobre el eje  $X$

ingresando los siguientes parámetros:

$$X_{pos} = 150 \text{ mm}, \theta_4 = 0^\circ, \theta_5 = 90^\circ, L = 119.06 \text{ mm}$$

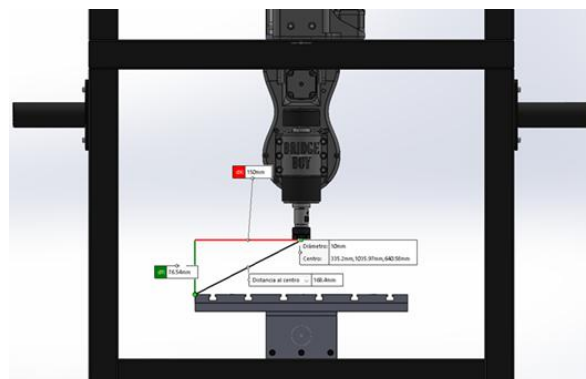
La posición  $X_{efector}$  se obtuvo a partir de la ecuación (1).

$$\begin{aligned}
 X_{efector} &= X_{pos} + L \cdot \cos(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5) \\
 X_{efector} &= 150 \text{ mm} + 119.06 \text{ mm} \cdot \cos(0^\circ) \cdot \cos(90^\circ) \\
 X_{efector} &= 150 \text{ mm} + 119.06 \text{ mm} \cdot (1) \cdot (0) \\
 X_{efector} &= 150 \text{ mm} + 0 \text{ mm} \\
 X_{efector} &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Se obtuvo que  $X_{efector} = X_{pos} = 150 \text{ mm}$  esto debido a que la herramienta se encuentra en posición vertical cuando  $\theta_5 = 90^\circ$  y no se ha realizado una rotación sobre el eje  $A$  ya que  $\theta_4 = 0^\circ$ . A continuación, se ingresaron los mismos parámetros a SOLIDWORKS y la herramienta se posicionó en  $X = 150 \text{ mm}$ . (véase la Figura 7).

**Figura 7**

*Posicionamiento de la herramienta sobre el eje X en SOLIDWORKS.*



### Cálculo de la posición de la herramienta sobre el eje Y

El cálculo de la posición de la herramienta sobre el eje  $Y$  se realizó considerando el caso en el cual se realiza una rotación sobre los ejes  $A$  ( $\theta_4$ ) y  $B$  ( $\theta_5$ ) estas rotaciones

modifican la posición  $Y_{efector}$  del extremo final de la herramienta de maquinado sobre el eje  $Y$  debido a la proyección de la longitud de la herramienta sobre el eje.

Teniendo esto en cuenta, se calculó la posición del extremo final de la herramienta sobre el eje  $Y$  ingresando los siguientes parámetros:

$$Y_{pos} = 150 \text{ mm}, \theta_4 = 90^\circ, \theta_5 = 30^\circ, L = 119.06 \text{ mm}$$

La posición  $Y_{efector}$  se obtuvo a partir de la ecuación (2).

$$Y_{efector} = Y_{pos} + L \cdot \sin(\theta_4) \cdot \cos(\theta_5)$$

$$Y_{efector} = 150 \text{ mm} + 119.06 \text{ mm} \cdot \sin(90^\circ) \cdot \cos(30^\circ)$$

$$Y_{efector} = 150 \text{ mm} + 119.06 \text{ mm} \cdot (1) \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

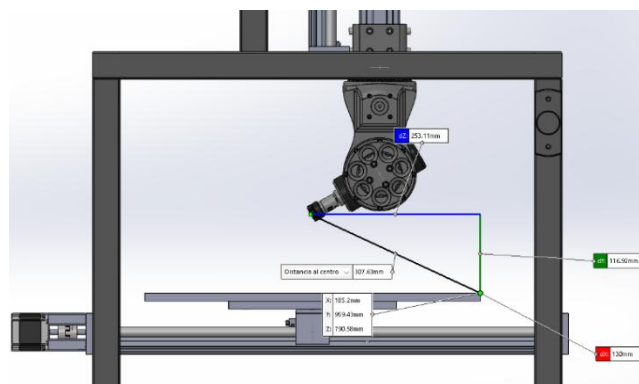
$$Y_{efector} = 150 \text{ mm} + 103.11 \text{ mm}$$

$$Y_{efector} = 253.11 \text{ mm}$$

A continuación, se ingresaron los mismos parámetros a SOLIDWORKS y la herramienta se posicionó en  $Y = 253.11 \text{ mm}$ . Con el resultado anterior se confirma que la rotación de la herramienta sobre los ejes  $A$  y  $B$  modifica la posición del extremo final de la herramienta de trabajo  $Y_{efector}$  (véase la Figura 8).

**Figura 8.**

*Posicionamiento de la herramienta sobre el eje Y en SOLIDWORKS.*



### Cálculo de la posición de la herramienta sobre el eje Z

Se calculó la posición de la herramienta sobre el eje  $Z$  considerando que se realiza una rotación en torno al eje  $B$  de tal manera que  $\theta_5 = 30^\circ$ , esta rotación modifica la posición

$Z_{efector}$  del extremo final de la herramienta. Los parámetros fueron:

$$Z_{pos} = 370 \text{ mm}, \theta_5 = 30^\circ, L = 119.06 \text{ mm}$$

La posición  $Z_{efector}$  se obtuvo a partir de la ecuación (3).

$$Z_{efector} = Z_{pos} + L \cdot \sin(\theta_5)$$

$$Z_{efector} = 370 \text{ mm} + 119.06 \cdot \sin(30^\circ)$$

$$Z_{efector} = 370 \text{ mm} + 119.06 \cdot (0.5)$$

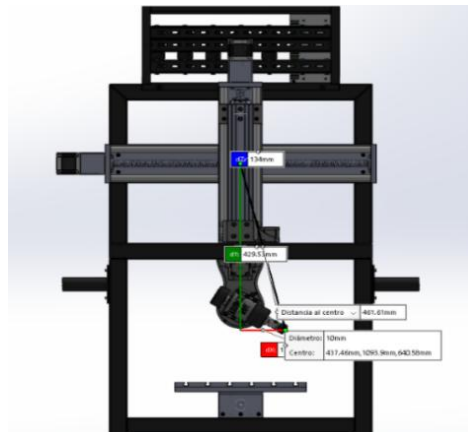
$$Z_{efector} = 370 \text{ mm} + 59.53 \text{ mm}$$

$$Z_{efector} = 429.53 \text{ mm}$$

En el resultado anterior se observó la corrección en altura de la posición  $Z_{efector}$  que se efectúa debido a la proyección de la longitud  $L$  de la herramienta sobre el eje  $Z$ . Al realizar la simulación en SOLIDWORKS se obtuvo la posición  $Z_{efector} = 429.53 \text{ mm}$  (véase la Figura 9).

**Figura 9**

*Posicionamiento de la herramienta sobre el eje Z en SOLIDWORKS.*



### Simulación en MATLAB de la máquina CNC

Mediante la utilización del código desarrollado en MATLAB se comprobó el movimiento y exactitud de las posiciones tomadas dentro de los ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $A$  y  $B$  por la herramienta de trabajo. También se realizó una comparación de los resultados obtenidos tanto en MATLAB como con las ecuaciones (1), (2) y (3).

Para simular el movimiento y la posición  $X_{efector}$  de la herramienta sobre el eje  $X$  se utilizó el simulador desarrollado en MATLAB. Para ello se utilizan los siguientes parámetros:

$$X_{pos} = 150 \text{ mm}$$

$$\theta_4 = 36^\circ$$

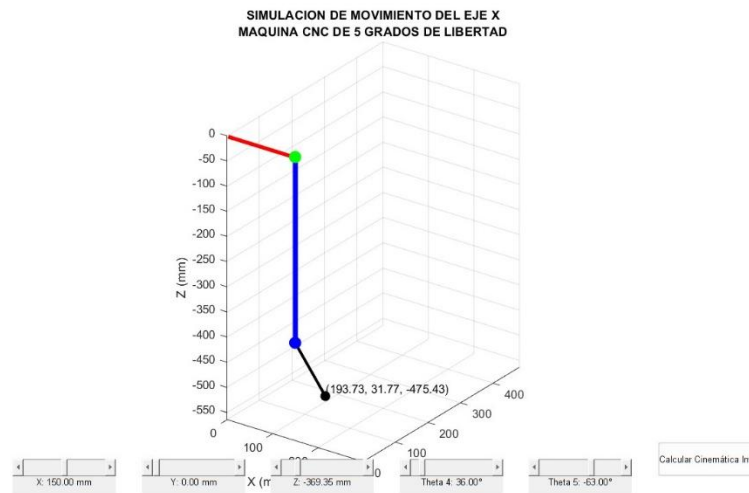
$$\theta_5 = 63^\circ$$

$$X_{efector} = 193.73 \text{ mm} \text{ Posición calculada con la ecuación (1).}$$

Ingresando estos parámetros a la simulación en MATLAB se obtuvo la posición  $X_{efector} = 193.73 \text{ mm}$  y se comprobó que el resultado es el mismo de la ecuación (1), lo cual valida la funcionalidad del código desarrollado. (véase la **Figura 10**).

**Figura 10**

*Posicionamiento de la herramienta sobre el eje X en MATLAB.*



Similar al eje  $X$ , la posición  $Y_{efector}$  de la herramienta sobre el eje  $Y$  se obtiene a partir de la simulación en MATLAB. En este caso se utilizan los siguientes parámetros:

$$X_{pos} = 150 \text{ mm}$$

$$Y_{pos} = 240 \text{ mm}$$

$$\theta_4 = 90^\circ$$

$$\theta_5 = 45^\circ$$

$$Y_{efector} = 324.19 \text{ mm} \text{ Posición calculada con la ecuación (2).}$$

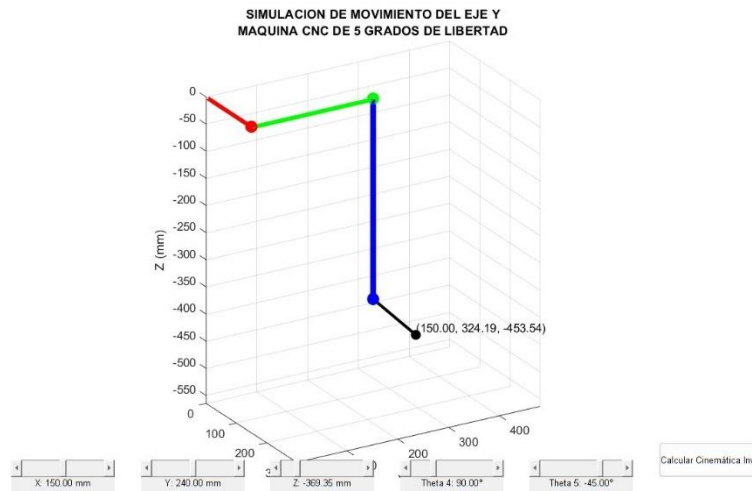
Ingresando estos parámetros a la simulación se obtuvo la posición

$$Y_{efector} = 324.19 \text{ mm} \text{ el cual coincide con el resultado obtenido con la ecuación (2).}$$

(véase la Figura 11).

**Figura 11**

*Posicionamiento de la herramienta sobre el eje Y en MATLAB.*



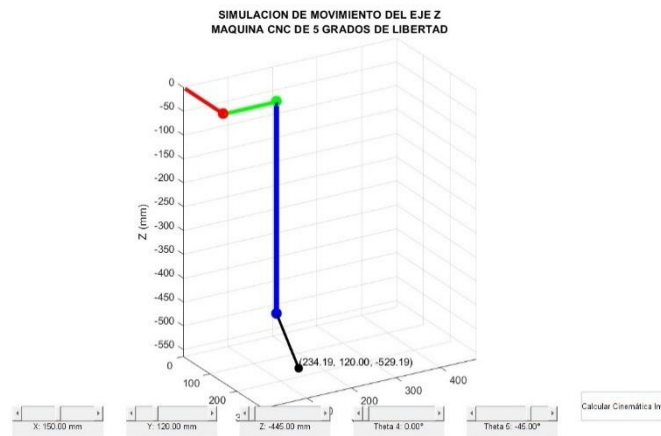
Finalmente se obtuvo la posición  $Z_{efector}$  de la herramienta sobre el eje  $Z$  utilizando los siguientes parámetros:  $X_{pos} = 150 \text{ mm}$ ,  $Y_{pos} = 120 \text{ mm}$ ,  $Z_{pos} = 445 \text{ mm}$ ,  $\theta_5 = 45^\circ$

$Z_{efector} = 529.19 \text{ mm}$  Posición calculada con la ecuación (3).

De igual manera se comprobó que el resultado obtenido para la posición  $Z_{efector}$  es el mismo de la ecuación (3). (véase la Figura 12).

**Figura 12**

*Posicionamiento de la herramienta sobre el eje Z en MATLAB.*



### Sistema de control electrónico

Para el sistema de control de la máquina CNC se utilizó el microcontrolador Arduino MEGA 2560 Rev3, encargado de gestionar las señales de movimiento y la comunicación con el software de simulación en MATLAB. Este dispositivo permite coordinar los cinco grados de libertad mediante el envío de pulsos de control. (Arduino S.r.l., 2025).

Los motores paso a paso NEMA 17 y NEMA 23 son accionados por controladoras STEPPERONLINE DM542T, que reciben las señales de paso (STEP) y dirección (DIR) desde el Arduino MEGA. Estas controladoras digitales permiten ajustar los micro pasos y la corriente de los motores, garantizando un movimiento preciso y estable en los ejes lineales y rotacionales. (StepperOnline, 2025).

### DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten establecer que el modelo geométrico propuesto representa de forma coherente el comportamiento cinemático de la máquina CNC de cinco

grados de libertad. La comparación entre los cálculos matemáticos, la simulación desarrollada en MATLAB y el posicionamiento virtual realizado en SOLIDWORKS evidencia una correspondencia adecuada entre el modelo teórico y el diseño mecánico propuesto. Esta relación es fundamental, debido a que permite verificar preliminarmente la posición y orientación del efector final antes de avanzar hacia una etapa de construcción física.

La integración de tres ejes lineales y dos ejes rotacionales amplía la capacidad operativa de la máquina, ya que permite proyectar aplicaciones en mecanizado de geometrías complejas, grabado, fresado y procesos de manufactura avanzada. En comparación con una configuración cartesiana convencional de tres ejes, la incorporación de los ejes A y B mejora la orientación de la herramienta y aumenta la accesibilidad sobre la pieza de trabajo. No obstante, el desempeño final del sistema dependerá de la calibración mecánica, la rigidez estructural, la precisión de los actuadores, la resolución de los motores paso a paso y la estrategia de control implementada.

El uso de MATLAB facilitó la representación gráfica y matemática del comportamiento de la máquina, mientras que SOLIDWORKS permitió verificar la coherencia del ensamblaje mecánico y las restricciones de movimiento. Esta combinación de herramientas demuestra la utilidad del modelado computacional como etapa previa en el diseño de sistemas CNC personalizados, especialmente en contextos académicos, investigativos y de desarrollo tecnológico.

## CONCLUSIONES

El trabajo de investigación culmina con el diseño de una máquina CNC de 5 DOF, caracterizada por un diseño mecánico completo, integrando de manera precisa un análisis detallado de la cinemática del sistema. La utilización de herramientas avanzadas como

SOLIDWORKS y MATLAB fue esencial, ya que permitió simular movimientos, validar parámetros y optimizar los aspectos de diseño.

Como resultado se posee el diseño de una máquina funcional, capaz de cumplir con las características de funcionamiento previamente establecidas. El enfoque metodológico que se aplicó integró simulación, modelado matemático y diseño estructural, lo cual permitió obtener resultados confiables y establecer una base para futuros desarrollos de máquinas y sistemas robóticos. El trabajo desarrollado aporta soluciones significativas en el diseño de máquinas CNC personalizadas y destaca la relevancia de incorporar herramientas tecnológicas.

A partir de esta investigación, surgen múltiples posibilidades para trabajos futuros, como el desarrollo de algoritmos avanzados para optimizar la cinemática de la máquina, la implementación de sistemas de control adaptativo basados en inteligencia artificial o el diseño de herramientas especializadas para aplicaciones específicas como manufactura aditiva o micro mecanizado.

En conclusión, el desarrollo del diseño de esta máquina CNC no solo alcanzó los requisitos establecidos, sino que también representa un aporte al conocimiento en el diseño y simulación de sistemas de manufactura automatizados, ofreciendo nuevas posibilidades en aplicaciones industriales y educativas.

#### **Declaración de conflicto de interés**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relacionado con esta investigación.

#### **Declaración de contribución a la autoría**

Marvin Adonay Alarcón Segura: conceptualización, metodología, investigación, recursos, diseño mecánico, modelado CAD, visualización y redacción del borrador original.

César Armando Morales Molina: conceptualización, metodología, administración del proyecto, supervisión, validación, revisión crítica y edición de la redacción.

Henry Manuel Pérez Pérez: investigación, análisis formal, recursos técnicos, apoyo en modelado, visualización, validación y revisión del manuscrito.

Abner Alberto Godínez Hernández: investigación, software, apoyo en simulación, visualización, validación, revisión y edición de la redacción.

### **Declaración de uso de inteligencia artificial**

Los autores declaran que utilizaron la inteligencia artificial como apoyo para este artículo, y también que esta herramienta no sustituye de ninguna manera la tarea o proceso intelectual. Después de rigurosas revisiones con diferentes herramientas en la que se comprobó que no existe plagio como constan en las evidencias, los autores manifiestan y reconocen que este trabajo fue producto de un trabajo intelectual propio, que no ha sido escrito ni publicado en ninguna plataforma electrónica o de IA.

### **REFERENCIAS**

- Aebersold, S., Akinsolu, M., Monir, S., & Jones, M. (2021). Ubiquitous Control of a CNC Machine: Proof of Concept for Industrial IoT Applications. *Information*, 12(12), 529. doi:10.3390/info12120529
- Alsoufi, M., Bawazeer, S., Alhazmi, M., Alhazmi, H., Hijji, H., & Alquras, H. (2025). Dimensional Accuracy and Measurement Variability in CNC-Turned Parts Using Digital Vernier Calipers and Coordinate Measuring Machines Across Five Materials. *Materials*, 18(12), 2278. doi:10.3390/ma18122728
- Arduino S.r.l. (2025). Arduino Mega 2560 Rev3. Obtenido de Arduino Official Store: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Bartoň, M. B. (2021). Geometry and tool motion planning for curvature adapted CNC machining. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 40(6), 1-16. doi:10.1145/3476576.3476769

- Chen, L., Gao, H., Li, H., & Xu, H. (2025). Implementation Method of Five-Axis CNC RTOS Kernel Based on gLink-II Bus. *Sensors*, 25(10), 2960. doi:10.3390/s25102960
- Cheng, Y., & Lin, M. (2020). Development of Reconfigurable Five-axis Machine Tool Using OPEN Computer Numerical Control System Integration Architecture. *Sensors and Materials*. doi:10.18494/sam.2020.3099
- De Godoy cavenaghi, B., de Godoy Cavenaghi, C., & Paz Gonzalez, J. (2022). Desenvolvimento De Uma Máquina Fresadora Cnc Multifunção De Baixo Custo. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, 22(1), 197-224. doi:10.5935/rmec.v22n1p197-224
- Efa, D., Dejen, N., Ifa, D., Nemomsa, S., & Gemechu, T. (s.f.). Improving computer numerical control (CNC) turning performance of AISI D2 steel with nanofluid composites and advanced machine learning techniques. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 138(2), 511-539. doi:10.1007/s00170-025-15536-5
- García, A. V. (2024). Computer Numerical Control (CNC). *International Journal of Scientific Advances*. doi:10.51542/ijscia.v5i6.46
- Ghazali, M., Ahmad, M., Yuseri, N., & Suid, M. (2024). Development and Control of a 5-DOF Robotic Arm Using Forward Kinematics and IoT Integration. *Proceedings of the 2024 2nd International Conference on Robotics, Control and Vision Engineering*. doi:10.1145/3685073.3685082
- Grisales-Grisales, N., Durango-Idárraga, S., Álvarez-Vargas, C., & Flórez-Hurtado, R. (2020). Calibración cinemática de una ruteadora CNC usando un modelo cuasi-estático de error y fotogrametría monocular. *UIS Ingenierías*, 19(3), 15-30. doi:10.18273/revuin.v19n3-2020002

- Han, J., Wu, L., Yuan, B., Tian, X., & Xia, L. (2017). A novel gear machining CNC design and experimental research. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(5-8), 1711-1722. doi:10.1007/s00170-016-8883-y
- Hoang, S., Tran, C., Pham, V., & Nguyen, T. (2024). Evaluating the learning performances for CNC machine practice in mechanical engineering degree courses based on students' mental workload. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 52(2), 205-220. doi:10.1177/03064190231185326
- Huczala, D., Mair, A., & Postulka, T. (2024). Direct Kinematics, Inverse Kinematics, and Motion Planning of 1-DoF Rational Linkages. *ArXiv(abs/2409.01198)*. doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2025.106074
- Kumar, K. R. (2020). Five Axis CNC Machines. En *CNC Programming for Machining*. Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-030-41279-1\_7
- Kurasov, D. (2020). Mathematical modeling system MatLab. *Journal of Physics: Conference Series*, 1691. doi:10.1088/1742-6596/1691/1/012123
- Laryushkin, P., Antonov, A., Fomin, A., & Fomina, O. (2025). Inverse and Forward Kinematics and CAD-Based Simulation of a 5-DOF Delta-Type Parallel Robot with Actuation Redundancy. *Robotics*, 14(1). doi:10.3390/robotics14010001
- León-Medina, J., & Torres-Barahona, E. (2016). Herramienta para el diseño de sistemas de posicionamiento tridimensional usados en fabricación digital. *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación*, 6(2), 15-167. doi:10.19053/20278306.4603
- Malhão, R. (2022). Como pensar o design aberto e os fab labs politicamente a partir de uma perspectiva simondoniana. *Idéias*, 1-30. doi:10.20396/ideias.v13i00.8668121
- Marouani, H., & Hassine, T. (2025). An educational MATLAB code for nonlinear isotropic/kinematic hardening model implementation. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 53(4), 924–941. doi:10.1177/03064190241264663

- Miranda-Molina, L., Quinayas-Ortiz, A., & Peña\_Rodriguez, G. (2020). Design and simulation of a mechanical system for the machining of parts and printing in 3D (x, y, z). *UIS Ingenierías*, 19(4), 15-122. doi:10.18273/revuin.v19n4-2020010
- My, C., & Bohez, E. (2019). A novel differential kinematics model to compare the kinematic performances of 5-axis CNC machines. *International Journal of Mechanical Sciences*. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2019.105117
- Omran, M., Elmoushi, E., & Abdelwahab, S. (2021). Design and Simulation of Mobile CNC Machine; Based Tripod Stewart Platform. *Port-Said Engineering Research Journal*. doi:10.21608/PSERJ.2021.43738.1063
- Ovsyannikov, V., Nekrasov, R., Putilova, U., Il'yaschenko, D., & Verkhoturova, E. (2022). On the issue of automatic form accuracy during processing on CNC machines. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 103, 88-95. doi: 10.17533/udea.redin.20201111
- Pareek, S., & Kesavadas, T. (2020). iART: Learning From Demonstration for Assisted Robotic Therapy Using LSTM. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5, 477-484. doi:10.1109/LRA.2019.2961845
- Peña, D., Rugel, R., De La Cruz Morales, F., Celis, J., & Lázaro, R. (2023). Computational Numerical Control (CNC) Machines: A Systematic Review From 2015 To 2022. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integra*. doi:10.18687/laccei2023.1.1.804
- Ramírez, M., J., A., Correa, J., & Flórez, S. (2013). Diseño de la plataforma mecánica de una mesa cartesiana XYZ automatizada. *Visión Electrónica*, 7(2).

Rastvorova, I., & Klyucherev, N. (2021). Design and modelling of a universal CNC machine.

Journal of Physics: Conference Series, 1753. doi:10.1088/1742-6596/1753/1/012040

Rolong-Ibáñez, J., Sierra-Márquez, S., Tapias-Higueras, S., Coba-Salcedo, M., Yime-

Rodriguez, E., & Roldán-Mckinley, J. (2019). Controlador CNC para modernización del proceso de fresado a bajo costo: caso con fresadora Supernova. UIS Ingenierías, 95-103. doi:10.18273/revuin.v18n3-2019010

SOLIDWORKS. (2025). SOLIDWORKS Ultimate. Obtenido de SOLIDWORKS:

<https://www.solidworks.com/es/product/solidworks-ultimate>

StepperOnline. (2025). Digital stepper driver 1.0-4.5 A 18-50 VDC for Nema 17, 23, 24 stepper

motor – DM542T. Obtenido de StepperOnline: [https://www.omc-](https://www.omc-stepperonline.com/digital-stepper-driver-1-0-4-2a-20-50vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor-dm542t)

[stepperonline.com/digital-stepper-driver-1-0-4-2a-20-50vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor-dm542t](https://www.omc-stepperonline.com/digital-stepper-driver-1-0-4-2a-20-50vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor-dm542t)

Wang, C., Chen, Y., Zhao, J., & Li, L. (2020). New Sensorless Speed Control of a Hybrid

Stepper Motor. Energies, 13. doi:10.3390/en13184939

Zhao, R., Huang, H., & Mei, L. (2025). A method for constructing digital twins of CNC machine

tools feed systems based on hybrid mechanism-data. Scientific Reports, 1-18.

doi:10.1038/s41598-025-17587-w