

**CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA CNC
APLICANDO TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS**
*MANUFACTURE OF A CNC PROTOTYPE MACHINE APPLYING
DIMENSIONAL AND GEOMETRIC TOLERANCES*



CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA CNC APLICANDO TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS

MANUFACTURE OF A CNC PROTOTYPE MACHINE APPLYING DIMENSIONAL AND GEOMETRIC TOLERANCES

Jaramillo Ortega Javier Edmundo¹
Ortega Ponce Edwin Gonzalo²
Zabala Barragán Leticia Aurelina³
Zavala Angamarca Mariano Martín⁴

¹ Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, javi.jaramillo1981@gmail.com

² Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, edwinortegatec@gmail.com

³ Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, leticiabarragana1983@gmail.com

⁴ Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, mmzavala@yahoo.com

RESUMEN

El presente artículo, detalla la construcción de una máquina prototipo CNC router que es utilizada en el sector metal mecánico, debido a que permite contornear grabados en materiales blandos. El objetivo de estudio es la construcción del prototipo CNC utilizando ajustes y tolerancias ISO 286 e ISO 2786 para ser usado como un módulo de enseñanza y aprendizaje de manufactura lo cual permite implementar puestos de trabajos en la educación tecnológica para la gran cantidad de estudiantes cubriendo el déficit de máquinas de control numérico.

La CNC es construida bajo metodología del mecanizado, estableciendo ajustes en cada uno de los pares móviles que aseguren un funcionamiento adecuado y comprobada mediante metrología dimensional. El prototipo recibe órdenes del computador a través de un software libre el mismo que permite que la máquina realice el mecanizado por el movimiento de motores a pasos híbridos permitiendo el movimiento de los ejes X, Y, Z. La mini CNC es ensayada y puesta en marcha en base a geometrías básicas como líneas y polígonos regulares utilizando materiales como MDF y acrílico, lo cual nos permite obtener excelentes resultados de grabado en relación a los ejes X, Y y un parámetro aceptable en el eje Z.

Palabras clave: CNC, CAM, ISO 286, ROUTER CNC, manufactura.

ABSTRACT

This article explains the manufacture of a CNC prototype router machine; it has been used in the mechanical field and allows contouring engravings in soft materials. The objective of this study is to manufacture the CNC prototype using ISO 286 and ISO 2786 geometrical product specifications and verification to be used as a manufacturing teaching and learning module, which allows us implementing bench work in technological education for the large number of students covering the numerical control machines deficit. The CNC has built under the machining methodology, establishing adjustments in each of the moving pairs that guarantee proper operation and verified by dimensional metrology. The prototype receives orders from the computer through a free software, which allows the machine to execute the machining by the movement of hybrid step by step motors, , allowing the movement of the X, Y, and Z-axes. The mini CNC has tested and commissioned. It works based on basic geometries such as lines and regular polygons using materials such as MDF and acrylic, which allows us to obtain excellent engraving results in relation to the X, Y-axes and an acceptable parameter in the Z-axis.

Keywords: CNC, CAM, ISO 286, ROUTER CNC, manufacture.

1. INTRODUCCIÓN

La máquina de control numérico computarizado (CNC) son utilizadas en múltiples ramas de la manufactura para mecanizar piezas de acrílico, madera, entre otros. Esta máquina ejecuta varias operaciones de mecanizado como contorneados, fresado y taladros [1]. En la actualidad este tipo de maquinaria resulta costosa, pero al implementar una que sea accesible utilizando la complejidad y exactitud de un sistema CNC industrial, resulta beneficioso para la enseñanza en la educación técnica [2], esto se consigue ya que los materiales utilizados son fáciles de mecanizar en máquinas herramientas convencionales con accesorios de fácil acceso en el mercado local. Esta tecnología puede realizarse en un laboratorio especializado de Instituciones de enseñanza tecnológica, ya que debido a su alto precio es imposible implementar varias del tipo industrial.

El amplio uso de esta tecnología favorece a fortalecer la educación técnica siendo el principio de programación y operación similar a una del tipo industrial. Actualmente este tipo de tecnología usa simuladores para el aprendizaje, sin embargo este tipo de experiencias no proveen la satisfacción y sensación de operar máquinas herramientas reales con limitaciones como uso de hardware, fluctuación de energía, cuidado en choques del herramental, además de experimentar con la introducción de parámetros de corte, ajuste de velocidades, encerado de piezas [2] [3]

Según Aktan [4] mejora el aprendizaje para el alumnado en un 27.36% en relación a problemas reales que con la comprensión verbal, además de acostumbrar al estudiante al desarrollo en el puesto de trabajo. Es importante promover la cultura de la innovación y el emprendimiento desarrollando en los estudiantes habilidades blandas y digitales que le permitan al estudiante desenvolverse en la industria combinando lo mejor de los humanos y las máquinas de control numérico computarizado [5].

A este campo o actividad se lo ha llamado facilidad de manufactura y también facilidad de producción, con el fin de ayudar a los estudiantes a adquirir destrezas para el manejo del software de programación tipo CAM y en el proceso operativo de la máquina (sistema de sujeción, centrado de la pieza) [3]. La producción ecuatoriana tiene un déficit, esto debido al proceso de fabricación de

productos como lo dice la Red Ecuatoriana de Aseguramiento de la Educación Superior: "Ecuador no ha logrado aún poner en marcha un plan nacional que desarrolle las capacidades y potencialidades en investigación y desarrollo tecnológico" "se evidencia la necesidad de fortalecer activos fundamentales para el desarrollo del país, su productividad y competitividad tales como la innovación" [6].

El maquinado mediante CNC moderno tiene alta precisión y fiabilidad para obtener formas complejas [7]. Por lo tanto, se ha proyectado la construcción de módulos de aprendizaje con mini máquinas CNC que en su construcción cumplan normas para tolerancias dimensionales y geométricas ISO 286 y 2786 [8], [9], para diseño de productos.

Con este nuevo cabezal se espera que haya oportunidades de aprendizaje realizando trabajos de mecanizado de precisión [10]. De esta manera, la construcción de una máquina CNC facilitará el desarrollo de proyectos utilizando una nueva herramienta de trabajo conocida como CAD/CAM. El diseño y desarrollo de esta máquina CNC se medirá la eficiencia mediante un control dimensional de desplazamiento de los tres ejes para determinar la calidad del corte, considerando parámetros de mecanizado.

Mediante el diseño de marco cerrado usando un diseño tipo pórtico [4] [10] [11] [12], simétrico con estabilidad y construcción del CNC se pretende realizar una máquina que sea rígida, resistente y que tenga estabilidad y una porta herramienta con facilidad de extraer y cambiar el útil de mecanizado. Debido a que se dispone de una mesa soporte estructurada en el cual se ensambla el cabezal.

Por lo tanto, el objetivo de estudio es de: Diseñar y construir una máquina de control numérico computarizado empleando tolerancias ISO 286 y 2786 dimensionales y geométricas capaz de realizar, taladros, contorneados, mecanizados lineales, de forma en materiales de acrílico, madera y PCB, además de ser utilizados como módulos de aprendizaje y cubrir el déficit de puestos de trabajo.

La máquina tiene la capacidad de desplazarse en los ejes X, Y, Z con movimientos sincronizados que permitan el grado de precisión. Se mecanizará logotipos, figuras geométricas, mecanizados paralelos, lo que nos permite hacer un control de metrología dimensional y determinar el grado de

precisión. Aprovechando todos los beneficios que otorga los materiales normalizados en estado de suministro para la mecanización de elementos en máquinas CNC aplicando metodologías que propicien minimizar tiempos [13].

En base a la bibliografía analizada, la metodología empleada en diversas máquinas CNC. Se plantea como hipótesis: al construir una máquina router CNC utilizando Normas ISO con tolerancias geométricas y dimensionales si mecanizan contorneados geométricos que cumplan exigencias de la Norma ISO 286 y 2786.

Varios estudios se han realizado con máquinas que poseen diseños para fabricación similares [4] [10] [11] [12] [14] usando los mismos elementos de transmisión y sujeción, sin embargo los materiales a utilizarse en la estructura son MDF y solo en el [12] se utiliza un kit de armado en ninguno de los casos se ha tomado normas de tolerancia dimensional y geométrica. La Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá realiza el diseño mediante ingeniería aplicada, obteniendo excelentes resultados mediante el uso de MDF y perfilera de Aluminio [15].

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Según Pahl & Beitz [16], las metodologías de diseño en ingeniería son una secuencia concreta de acciones para el diseño de sistemas técnicos que derivan su conocimiento de la ciencia del diseño, de la psicología cognitiva y de la experiencia práctica en diferentes campos.

La máquina se modeló en un software tipo CAD. En base a la potencia requerida, se seleccionó el tipo de motor, estos fueron anclados a la estructura y a los tornillos de potencia en los ejes.

Se utilizará un driver para el software que controlara los motores, Este programa estará ingresado en un micro controlador ARDUINO, que actuara como cerebro de los mecanismos. La construcción de la máquina CNC se realizó en tres etapas: montaje mecánico (bastidor, pórtico, mesa de trabajo) Montaje eléctrico (cerebro, motores, sensores de final de carrera) y la instalación del sistema de control (software). El drive precisa la cantidad de avance por revolución requeridos por el motor. Para ello las características del tornillo

definirá el avance de desplazamiento para cada eje. Debido a que se utilizaran los mismos motores y tornillos en los tres ejes manteniendo la misma configuración para todo el sistema. La cantidad de revoluciones por pulso se obtiene calculando el paso del tornillo por el número de entradas.

Tras el montaje del dispositivo se debe comprobar que no haya efectos de retroceso que afectaran la precisión de la máquina. Para evaluar la precisión de mecanizado se efectuará seguimiento en geometría básica como una línea recta, un cuadrado y un círculo. Se realizarán los dibujos en un software para modelado. Posteriormente con ayuda de un software tipo CAM proporciona parámetros máximos de mecanizado como profundidad de corte y velocidad de avance, revoluciones por minuto y tipo de herramienta esto con la finalidad de establecer los límites de la máquina,

Los códigos de programación G se los puede obtener en forma manual o por ayuda de software especializado, los mismos que llevará a cero los tres ejes y se correrá el programa. Una vez realizado el mecanizado, se evaluará las dimensiones de las líneas de seguimiento de mecanizado con instrumento de medición lineal un micrómetro de 0.01 mm usando técnicas de metrología dimensional y se comparará con las cotas mencionadas en el dibujo

A. DISEÑO

En la etapa de diseño se detalla los procesos de fabricación utilizados, materiales disponibles, la metodología de mecanizado, aplicación de normas ISO de fabricación mecánica, resistencia mecánica de los materiales y costos de todo el proceso de diseño y construcción de una máquina CNC, con mayor influencia sobre las etapas iniciales. El equipo se desarrolló realizando una investigación de las tecnologías disponibles y la demanda de los diferentes sectores locales, tales como fabricantes de carteles, moldes, maquetas prototipos, decoraciones, ornamentos, entre otros.

En base a los resultados obtenidos se procedió a realizar el diseño mecánico, electrónico, y la lógica del control de un equipo cuyas características técnicas pudiera satisfacer a la mayoría de estos sectores y sea accesible.

Cabe destacar que el diseño contempló la provisión de componentes de fabricación en máquinas herramientas. Este análisis se considera de importancia para el éxito del proyecto. En la figura 1 se muestra las partes constitutivas del router CNC

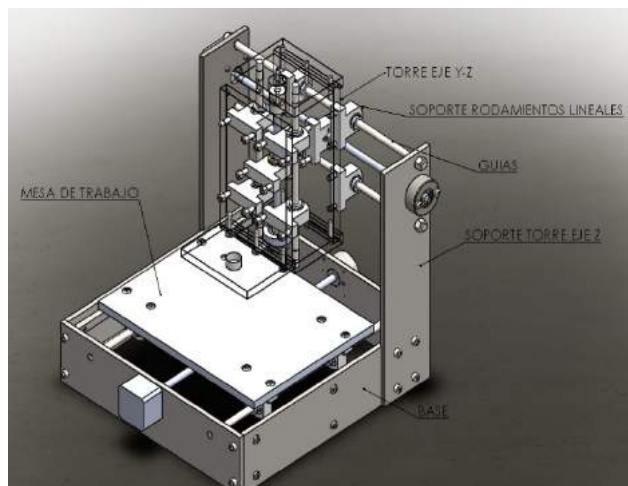


Figura 1 Partes del CNC Router

En la fase del diseño ha de establecerse las especificaciones técnicas del sistema de movimiento como son:

- Altura 300 mm
- Largo 300 mm
- Ancho 300 mm
- Material de la maquina: acero A36
- Peso aproximado de la máquina 13.5 kg.
- Área de trabajo de trabajo de la máquina de 150 mm x 150 mm x 20mm.

Control dimensional de la altura de la máquina teniendo en cuenta la tolerancia admisible de 0,2 mm/m es posible realizar con pie de rey de 1/50 de mm o un micrómetro de 0.01mm de precisión, permitiendo ajustarse al planteamiento del diseño.

B. MATERIALES

En diseños de manufactura se debe considerar métodos alternos para fabricar una pieza o un producto o para efectuar una operación individual, los costos varían en relación con materiales, esta variable puede ser considerada y detallada para evaluar a fondo su efecto en los costos unitarios. El empleo de materiales de fácil disponibilidad y de piezas comerciales permite lograr los beneficios de la producción. El empleo de componentes estándar, simplifica los procesos de fabricación, facilita las

compras, evita las inversiones en herramientas y equipo y acelera el ciclo de manufactura. [13]

Al ser un prototipo se usó materiales que faciliten la mecanización en máquinas herramientas convencionales como torno y fresadora además puedan ayudarnos a cumplir con tolerancias dimensionales y geométricas, estas se detallan a continuación.

Acero ASTM A36 (Estructura base)

Acero laminado en caliente se produce en una gran variedad de secciones transversales, se utiliza en la estructura de la máquina para brindar rigidez y evitar pernos de anclaje. Su costo es de un 30 % más bajo que el acero acabado en frío. [17]

Nylon 6 extruido. (Soporte de rodamientos lineales)
Se utiliza en los soportes que unen a la mesa de trabajo (eje X) y a la torre eje (Y-Z), ya que posee una elevada resistencia al choque y a la fatiga, es de baja densidad esto con el objetivo de disminuir la potencia de los motores. Su elasticidad permite la absorción de las vibraciones o impactos, por lo que en los cojinetes trabajan de forma silenciosa. [17]

Aluminio 1060-O. (Mesa de trabajo)

Al tener una mesa que tenga plenitud en el mecanizado y que además ofrezca una elevada relación resistencia /densidad lo vuelve un material ideal para este funcionamiento, además de ser resiste la corrosión. [17]

Acero AISI 1045. (Base)

Al necesitar rigidizar las bases se utiliza un acero para construcción mecánica que ante esfuerzos tenga pequeñas deformaciones, que en estado de suministro tiene una resistencia mecánica a la fluencia de 505 MPa y una elongación a la rotura del 12%. [17]

Acero SAE 1018 (Cajera de rodamientos)

Se utiliza para alojamiento de rodamientos lo que garantiza un funcionamiento adecuado en la rodadura de estos. Viene con tolerancias: h9 – h11 que se aplica en piezas con carga mecánicas no muy severas y con grados de tenacidad importantes. [17]

Acero DIN X4CrNiCuNb164 (Guías de los ejes X, Y, Z)

Para disminuir la flecha de deformación en las guías se utiliza este tipo de acero con una resistencia mecánica a la fluencia de 127 MPa y una elongación a la rotura del 10% con acabado brillante y tolerancia ISO h8. [17]

Tornillería de acero inoxidable

M5, M3, M8 de alta resistencia para el ensamblaje de las partes mecanizadas.

Acrílico de alto impacto (Estructura eje Z)

Con la finalidad de disminuir peso en la torre que lleva los ejes Y y Z se utiliza acrílico y al ser resistente al impacto. Posee características mecánicas, resistencia a la compresión de 1020 Kg/cm², resistencia a la flexión de 1020 Kg/cm², resistencia a la tracción 700 kg/cm² y resistencia mecánica mínima de 200 gr/cm². [17]

C. Metodología de mecanizado

Para el mecanizado se aplica las normas ISO 286 y 2785 de fabricación mecánica, como ajustes, tolerancias geométricas, calidades superficiales y grados de rugosidad normalizados, que son fabricados en laboratorios de mecanizado convencional utilizando torno y fresadora con visualizador electrónico CN. Además de instrumentos de medida como calibrador de 1/20, micrómetros de 0-25 mm, 25-50mm, micrómetro de interiores 0-25mm y 25-50mm, reloj comparador de carátula de 0.01mm, goniómetros.

Base estructurada

Cuatro Placas, acero ASTM A36 de 300 x 70 x 6mm

Operaciones de mecanizado

Mecanizado de componentes de la base con tolerancias de elementos asociados mediante Paralelismo entre caras, calidad IT5 y perpendicularidad con tolerancias de 0,1 mm/m como se muestra en la figura 2

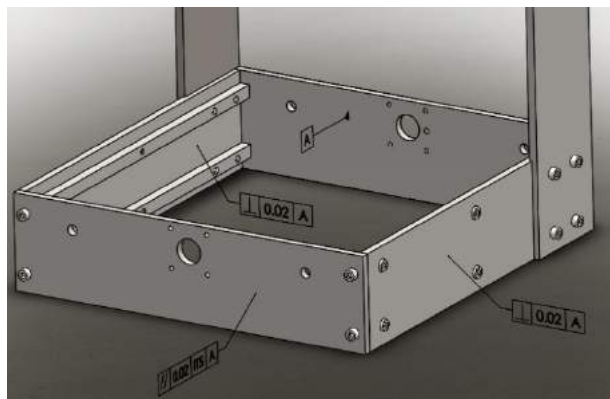


Figura 2 Paralelismo y perpendicularidad de base

Soporte de la torre del eje Y-Z

Dos placas de acero A36 de 295 x 70 mm x 6mm, paralelismo entre caras, calidad IT5 perpendicularidad en extremos 0,1 mm/m, como se muestra en la figura 3.

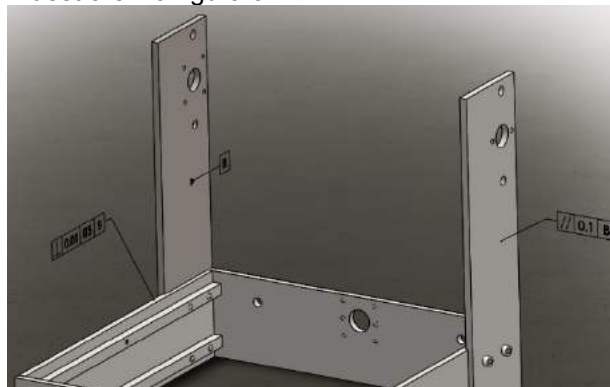


Figura 3 Perpendicularidad y paralelismo para torre eje Y-Z

Mesa de trabajo de la máquina

Que consta de una placa de aluminio 240 x 205 x 9mm, con paralelismo entre caras IT5, cuatro vértices 90°, ocho agujeros para anclaje de pernos M6x1 como se muestra en la figura 4.

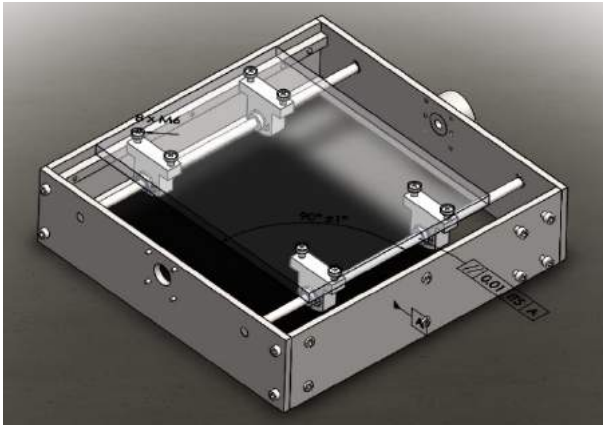


Figura 4 Tolerancias geométricas en mesa de trabajo

Soportes para rodamientos lineales

Mecanizado con tolerancias de elementos asociados, concentricidad entre agujeros de 0.02 mm con ajuste $\varnothing 15J7$, rodamiento $\varnothing 15h6$, de igual manera se muestra la tolerancia para la tuerca H7 y tornillo h6, como se indica en la figura 5.

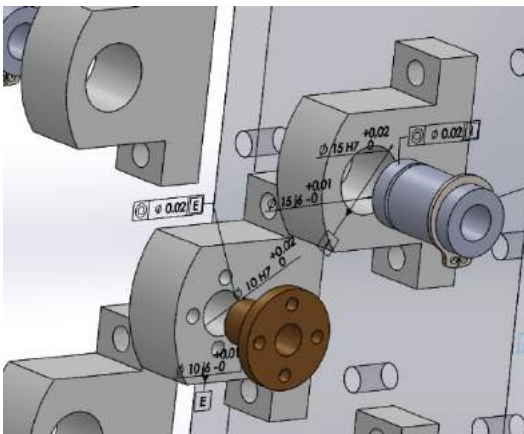


Figura 5 Tolerancias dimensionales y geométricas para rodamientos lineales

Cuatro guías acero inoxidable calidad h8 $\varnothing 8$ mm de 320 mm de longitud para el desplazamiento de rodamientos lineales como se indica en la figura 1

Tres Tornillos de rosca trapecial $\varnothing 8$ mm, cuatro entradas con tratamiento térmico, para desplazamiento de la torre con guías Y-Z y la mesa de trabajo eje X

Para el giro de los tornillos roscados de cuatro entradas se utiliza un rodamiento rígido de bolas FAG 608 con calidad IT4 al agujero y al eje como muestra en la figura 6

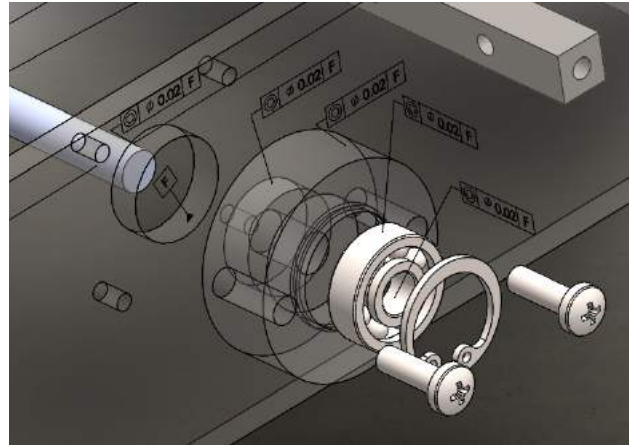


Figura 6 Tolerancia geométrica para alojamiento de rodamiento y rodamiento.

Cajera de alojamiento de rodamientos

Mecanizado de cajas con ajuste indeterminado para alojar el eje del rodamiento J7/h6 y el alojamiento a los soportes del eje z H7/h6 como se muestra en la figura 6.

En la figura 7 se muestra el mecanizado y montaje de los soportes, torre de desplazamiento del eje X y Y junto a la base estructurada.



Figura 7 Mecanizado y montaje de partes para CNC router

1. Selección de motores

La potencia necesaria del motor se calcula considerando la estructura general del sistema y el peso de los ejes [18]

$$P = 2\pi * N_m * T_t \quad (1)$$

$$P_a = (2\pi * N_m * 60)^2 * \frac{J_l}{t_a} \quad (2)$$

Donde:

P = Potencia del motor durante el corte (W)

Tt = Momento total durante el corte (N*m)

Nm = Velocidad del motor (rpm)

Pa = Potencia del motor sin carga (W)

JL = inercia total (kg-m²)

ta = tiempo de aceleración (s)

La potencia mínima para cada eje se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Requerimientos de la potencia de los motores

	Eje X (watt)	Eje Y (watt)	Eje Z (watt)
Potencia durante el corte	0.7W	1.4 W	1.7 W
Potencia sin carga	0.6 W	0.25 W	0.3 W

2. Ensamblado del sistema de control

Para integrar el control pertinente a la mini maquina CNC, se establece las características técnicas para los motores pasos a paso que se integran en los ejes X, Y, Z y que se detalla en la siguiente tabla según el datasheet del fabricante.

Tabla 2 Características técnicas del motor

Motor	Bipolar paso a paso Nema 17
Modelo	Ks42STH40
Amperaje	1.2 A
Torque	4000g.cm
Pasos	1.8° Por cada mm (200 pasos por revolución).

Para el control de los motores se utiliza el driver A4988 debido a su fiabilidad y robustez, de acuerdo a datos de su hoja técnica permite manejar una tensión máxima de 2A, MicroStep 35V como se muestra en la figura 8.

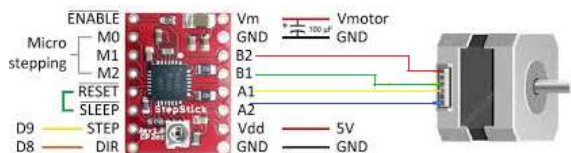


Figura 8 Diver para motor Nema 17 [19]

El driver para un control eficiente del motor necesita que se calibre la resistencia que detecta su corriente regulada de PWM. Para ello utilizamos la fórmula $IMAX = VREF / (8 \times RS)$ y se calcula el voltaje de referencia

$$VREF = IMAX (8 \times RS) \quad (3)$$

RS es la resistencia RSMD que trae el driver y puede ser de (50 o 100) SMD, antes de utilizar este valor lo transformamos en OHM.

$$VREF = 1.2A (8 \times 0,1ohm)$$

$$VREF = 0,96 V$$

El motor se maneja con pasos completo por ende el motor va a consumir el 70% de la corriente dato obtenido de la tabla de la secuencia de pasos, por lo tanto, el voltaje de referencia debe estar limitado al 70% de 0,96 que equivale a 0.762 V

Para el manejo de los tres motores se utiliza una shield CNC que se conecta al ARDUINO 1, con un voltaje de alimentación de 12 voltios, uno vez insertados los drivers, se ubica el multímetro un pin a tierra y el otro sobre sobre el potenciómetro el que se regula hasta tener el nuevo voltaje de referencia conectamos los motores y cargamos el software GRBL (software libre).

3. RESULTADOS

Se realizan pruebas para establecer los valores máximos de mecanizado en relación a velocidad de avance, profundidad de corte y revoluciones por minuto de la herramienta que se muestra en la tabla 2.

Tabla 3 Parámetros máximos de mecanizado en Router CNC

Parámetros	Madera	Acrílico
Velocidad de avance (m/min)	5	5
Profundidad de corte (mm)	1.5	0.5
Revoluciones por minuto (RPM)	1200	800

Los resultados son validados mediante el mecanizado de tres geometrías básicas en MDF de dimensiones 200 x 200 x 5 mm con los parámetros máximos de mecanizado como velocidad de avance, profundidad: una línea recta, un cuadrado y una circunferencia, los mismos que servirán para verificar la tolerancia geométrica de rectitud,

paralelismo, redondez y planitud lo que establecerá la tolerancia de la máquina construida.

Para establecer la tolerancia de rectitud, paralelismo, circularidad y planitud se utiliza metrología dimensional con un micrómetro de exteriores con apreciación de 0.01mm entre el punto cero de pieza asignado en la máquina y el mecanizado como se muestra en la figura 9.

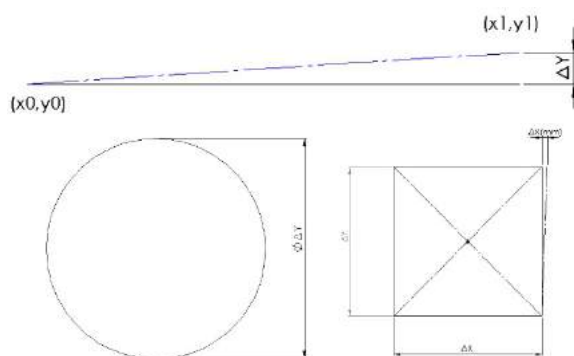


Figura 9 Geometría para verificación de rectitud, circularidad y paralelismo

Los códigos G para cada geometría se muestra en la tabla.

Tabla 4 Programación para mecanizado de geometrías en router CNC

Códigos G para recta
O0001 (Recta)
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T1 M6
N106 G0 G90 G54 X-62.5 Y0. A0. S2000 M3
N108 G43 H210 Z25.
N110 Z10.
N112 G1 Z-1. F5
N114 X62.5 F5
N116 G0 Z25.
N118 M5
N120 G91 G28 Z0.
N122 G28 X0. Y0. A0.
N124 M30
%
Códigos G para cuadrado
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T210 M6
N106 G0 G90 G54 X62.5 Y62.5 A0. S2000 M3
N108 G43 H210 Z25.
N110 Z10.
N112 G1 Z-1. F5
N114 X-62.5 F5
N116 Y-62.5
N118 X62.5
N120 Y62.5
N122 G0 Z25.

N124 M5
 N126 G91 G28 Z0.
 N128 G28 X0. Y0. A0.
 N130 M30
 %
 Códigos G para circunferencia
 N100 G21
 N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
 N104 T210 M6
 N106 G0 G90 G54 X62.5 Y0. A0. S2000 M3
 N108 G43 H210 Z25.
 N110 Z10.
 N112 G1 Z-1. F5
 N114 G3 X0. Y62.5 I-62.5 J0. F5
 N116 X-62.5 Y0. I0. J-62.5
 N118 X0. Y-62.5 I62.5 J0.
 N120 X62.5 Y0. I0. J62.5
 N122 G0 Z25.
 N124 M5
 N126 G91 G28 Z0.
 N128 G28 X0. Y0. A0.
 N130 M30%

Los valores de cada uno de los mecanizados se registran en la tabla 4, 5, 6, 7 y han sido encontrados usando la metrología dimensional.

Tabla 5 Tolerancia de rectitud en mecanizado de Router CNC construida.

Diseño del modelo (mm)	Metrología dimensional (mm)	Tolerancia Geométrica (mm)
X0 Y0	Y1	Y2
0 0	0	0
125 0	0,01	0,0125

Tabla 6 Tolerancia de rectitud en mecanizado de Router CNC construida.

Diseño del modelo	Metrología dimensional (mm)	Tolerancia Geométrica (mm)
X0 Y0	X1 ΔX	X1 ΔX
0 0	0 0	0 0
125 0	125,01 0,005	125,01 0,005

Tabla 7 Tolerancia de rectitud en mecanizado de Router CNC construida.

Diámetro nominal (mm)	Metrología dimensional (mm)	Tolerancia Geométrica (mm)
Φ min. Φ máx.	Δ Diámetro	Δ Diámetro
0 0	0	0
124,995 125,01	0,015	0,02

Para la planicidad se analiza la profundidad de corte, en todos los mecanizados, esto con respecto al eje Z, los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8 Tolerancia de rectitud en mecanizado de Router CNC construida

Diseño del modelo (mm)	Metrología dimensional (mm)	Tolerancia Geométrica (mm)
X0 Z0	Y	Y

0	0	0	0
1	0	0,02	0,001

En la figura s 10,11 y 12 se muestra que la tolerancia de la máquina construida está dentro de los parámetros según Norma ISO para tolerancia Geométricas.

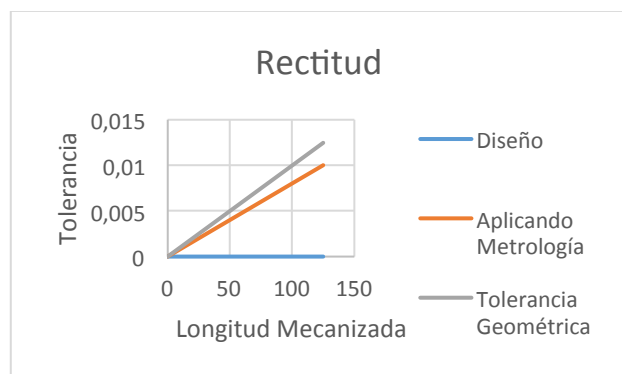


Figura 10 Comparación de valores para el diseño, metrología y tolerancia geométrica de la rectitud.

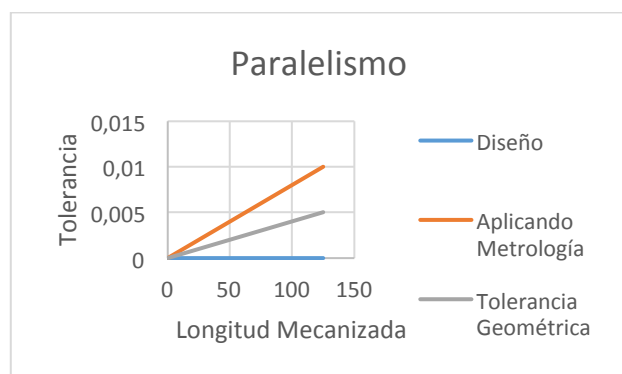


Figura 11 Comparación de valores para el diseño, metrología y tolerancia geométrica de paralelismo

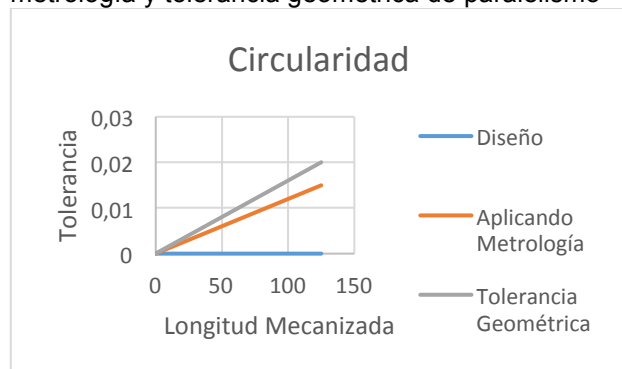


Figura 12 Comparación de valores para el diseño, metrología y tolerancia geométrica de circularidad.

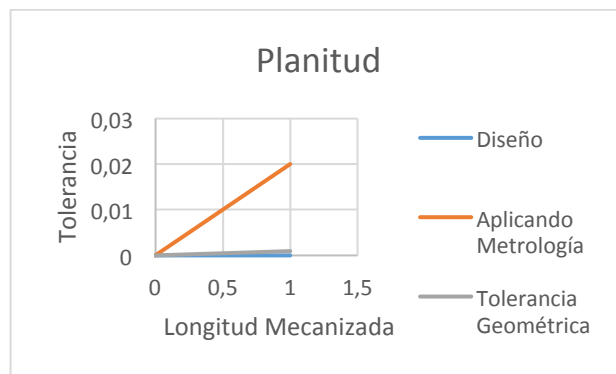


Figura 13 Comparación de valores para el diseño, metrología y tolerancia geométrica de planitud.

El funcionamiento fue ratificado mediante pruebas, interpolación lineal, contorneados de grabado, corte fresado de materiales de baja y mediana resistencia mecánica al viruteado como la madera y el acrílico, logrando resultados muy satisfactorios para los sectores descritos, estos se muestran en la figura 14.

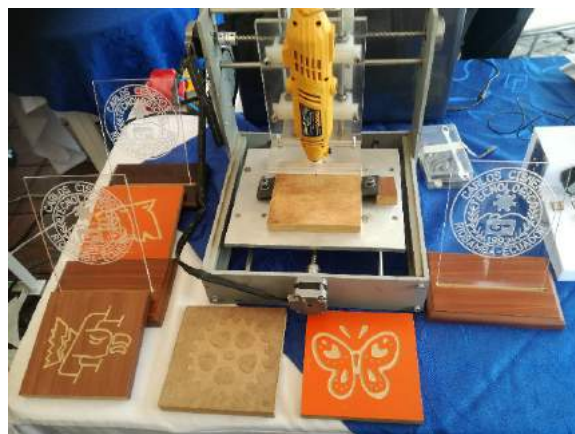


Figura 14 Pruebas de mecanizado en madera y acrílico

4. CONCLUSIONES

Las pruebas de funcionamiento del prototipo construido muestran que se realizó un adecuado diseño y construcción de un módulo de aprendizaje el cual es muy práctico y útil para el uso en los talleres de metal mecánica.

Para la validación de los resultados, los ensayos realizados muestran una pequeña inexactitud en la alineación, pero que cumplen con las tolerancias establecidas inicialmente, estos se deben a errores en el ensamblaje de la máquina e imprecisión del componente de la máquina, este prototipo contiene

una inclinación de $4.58 \times 10^{-3}^\circ$ en el eje X y una inclinación de $2.29 \times 10^{-3}^\circ$ en el eje Y. Estos dos cumplen con normas de fabricación. En el eje Z hay una variación mayor a lo requerido en normas como se muestra en la figura 13, esto puede ser por el valor de la flecha de deformación debido al fenómeno de flexión. A pesar de esto se considera un buen prototipo ya que posee una interfaz fácil de operar, alta velocidad, menor consumo de energía, fácil de programar, mayor flexibilidad para la creación rápida de prototipos ya que la inversión es mucho inferior a una industrial.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *MANUFACTURING ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, Seven. Singapur: Pearson Education, 2014.
- [2] A. R. Quintero Pérez, M. Moreno Silveira, D. Rodríguez Rojo, and T. Pargas, "CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROUTER O FRESADORA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC) CON SOPORTE EN MACH3," *REDIP-Revista Digit. Investig. y Postgrado*, vol. 6, no. 2, 2016.
- [3] N. Muthupalaniappan, A. Maruthupandi, S. Pandian, A. J. P. Antony, and S. R. Pandian, "A low-cost web-based learning platform for CNC machining education," *6th Int. Conf. Adv. Comput. ICoAC 2014*, pp. 91–96, 2015.
- [4] M. E. Aktan, N. Akkuş, A. Yılmaz, and E. Akdoğan, "Design and Implementation of 3 Axis CNC Router for Computer Aided Manufacturing Courses," in *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 45, p. 5002.
- [5] M. E. Z. Hurtado, E. O. C. Espinosa, and J. A. C. Ruiz, "El aprendizaje orientado en proyectos para el desarrollo de habilidades blandas en el nivel medio superior del IPN," *RIDE Rev. Iberoam. para la Investig. y el Desarro. Educ.*, vol. 10, no. 19, 2019.
- [6] A. P. C. Martin and D. F. G. Lozada, "Diseño y construcción de una máquina CNC para corte y grabado en madera utilizando láser de CO₂, implementado con hardware y software de uso libre como sistema de control," *Ecuador Univ. las Fuerzas Armadas-ESPE*, 2015.
- [7] S. C. B. & M. T. I. M. S. Rabbi, "Development of a Prototype Cnc Router," *Int. J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 63–68, 2013.
- [8] ISO, "Dimensional and geometrical product specifications and verification." 2011.
- [9] 286-1 ISO, "ISO system of limits and fits—Part1: bases of tolerances, deviations and fits." International Organization for Standardization Geneva, 1988.
- [10] R. Ginting, S. Hadiyoso, and S. Aulia, "Implementation 3-Axis CNC Router for Small Scale Industry," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 17, pp. 6553–6558, 2017.
- [11] D. A. Alonso, J. E. Gil, and F. H. Martínez, "Prototipo de máquina fresadora CNC para circuitos impresos," *Tekhnê*, vol. 12, no. 1, pp. 23–38, 2015.
- [12] R. Radharamanan, "Measurement and Analysis of Carved Surfaces Made on a Self-Assembled and Tested Mini 3-Axis CNC Router," in *2018 ASEE Annual Conference & Exposition*, 2018.
- [13] J. G. Bralla, F. G. Noriega, J. Sánchez Herzberger, and J. A. Morales García, *Manuel de diseño de producto para manufactura: guía práctica para producción a bajo costo*. 1993.
- [14] K. Bangse, A. Wibolo, and I. K. E. H. Wiryanta, "Design and fabrication of a CNC router machine for wood engraving," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1450, p. 012094, 2020.
- [15] J. R. B. Benítez, F. A. F. Briceño, R. E. R. Heredia, and S. A. V. García, "Construcción de una máquina CNC de 3 ejes y diseño del sistema de transmisión de movimiento," *Memorias*, 2015.
- [16] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, K. H. Grote, and K.-G. erfolgreicher Produktentwicklung, "Methoden und Anwendung." Springer, 2007.

- [17] L. L. C. MatWeb, "Material property data," URL <http://www.matweb.com> (Stand 30.08.2013), 2013.
- [18] M. E. Aktan, N. Akkuş, A. Yilmaz, and E. Akdoğan, "Design and implementation of 3 Axis CNC router for computer aided manufacturing courses," *MATEC Web Conf.*, vol. 45, pp. 3–7, 2016.
- [19] J. Bai and A. H. La Rosa, "An SPM Stage Driven by 3 Stepper Motors," 2017.
- [20] S. Sharma and S. B. Harish, "XY-Drawing Robot using Arduino," 2019.