

**METHODOLOGY USED IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF A
COMPUTER NUMERICAL CONTROL MACHINE****METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA
MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**

MSc. Jhon Erickson Barbosa Jaimes*, **MSc. José Ricardo Bermúdez Santaella****
Ing. Marco Aurelio Díaz*,**

*** Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.**

Grupo de investigación para el desarrollo tecnológico, económico y social (GRINDES).
Av 1 Nª 3-31, Barrio Lleras, San José de Cúcuta, Tel:+(57-7) 589 3592.
Email: jhon.barbosa@unad.edu.co

**** Universidad Francisco de Paula Santander - UFPS.**

Grupo de investigación de desarrollo en procesos industriales (GIDPI).
Av. Gran Colombia, No. 12E-96, Barrio Colsag, Tel:+(57-7) 577 6655, Ext. 180.
Email: jrbermud@bari.ufps.edu.co, marcoelec@hotmail.com

Abstract: The project shows the methodology used in the implementation of a CNC machine for working soft materials designed from a fixed bridge-like structure with sliding table positioning systems operated by direct connection between recirculating ball screws and stepping motors placing the tool with a theoretical precision of 0.0254 mm at a working area of 200 x 200 mm. This prototype will be used in research in the area of computational algorithms, using the LabView tool to control movements through data acquisition card DAQ.

Keywords: CNC, design, prototype.

Resumen: El proyecto muestra la metodología utilizada en la implementación de una máquina CNC para labrar materiales blandos; diseñada a partir de una estructura tipo puente fijo con mesa móvil con sistemas de posicionamiento accionados por conexión directa entre tornillos de bolas recirculantes y motores paso a paso ubicando la herramienta con una precisión teórica de 0.0254 mm en un área de trabajo de 200 x 200 mm. Este prototipo se utilizará en investigaciones en el área de los algoritmos computacionales, utilizando la herramienta LabView para el control de los movimientos a través de tarjetas de adquisición de datos DAQ.

Palabras clave: CNC, diseño, prototipo.

1. INTRODUCCIÓN

Las máquinas herramientas han jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto de afirmar sin exageraciones que su tasa de desarrollo gobierna directamente la tasa de desarrollo industrial. Este efecto se debe a que su utilización permite realizar de forma

práctica, productos de consumo y partes para maquinaria de todo tipo, dándole la naturaleza de auto mejorarse o retroalimentarse. Esta variedad de posibilidades, sumada a numerosos y nuevos requerimientos forzó la utilización de nuevas técnicas que remplazaron al operador humano por el control numérico o CN en los procesos de fabricación. (Escalona, 2009).

El desarrollo de esta tecnología también ha llegado a flexibilizar sus aplicaciones, es así como en el mercado existe una gran cantidad de empresas que ofertan dentro de sus servicios equipos dirigidos a aplicar el CN a cualquier tipo de tarea utilizando tornillos de bolas, guías deslizantes, motores, controladores, estructuras de material compuesto, visualizadores, sensores, programas de computadora y otra gran cantidad de equipos que permiten el acceso de esta tecnología a pequeños y medianos industriales, además de ampliar las opciones de los grandes industrias, incluyendo las universidades que preparan a sus profesionales en la temática (Ávila *et al.*, 2012).

Este trabajo muestra la metodología que se aplicó en el diseño y fabricación de la estructura mecánica y de transmisión de potencia de una máquina de control numérico. Prototipo que se utilizará para realizar investigaciones en el área de los algoritmos computacionales orientados al CNC, utilizando la herramienta LabVIEW como software flexible para el control y manipulación de los elementos que intervienen en este sistema de CNC, a través de tarjetas de adquisición de datos DAQ y sistema de instrumentación acoplado. También sirvió para afianzar los conocimientos adquiridos por estudiantes de Ingeniería (Moreno *et al.*, 2012).

2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para poder iniciar con el diseño se partió del volumen de trabajo determinado a través de las dimensiones máximas del material que se quiere maquinar. Esto dio como resultado un volumen de diseño como el que se detalla en la figura 1.

Seguidamente, con base en la Norma ISO 10360-1 (estudio aplicable a dispositivos de mediciones) se logró sintetizar varias configuraciones estructurales, (ISO, 2000). En donde se determinó que la más viable para este caso es la de tipo Puente Móvil. (Figura 2).

Posteriormente se realizó una modificación fijando el puente y dejando la mesa móvil. Esto debido a que el área de trabajo efectiva sólo es de 200 x 200 mm, lo que simplifica la construcción. (Figura 3).

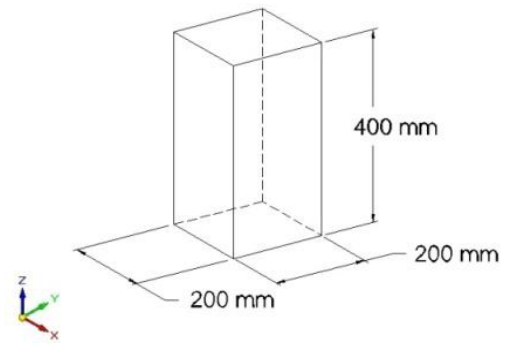


Fig. 1. Dimensiones del volumen de trabajo.

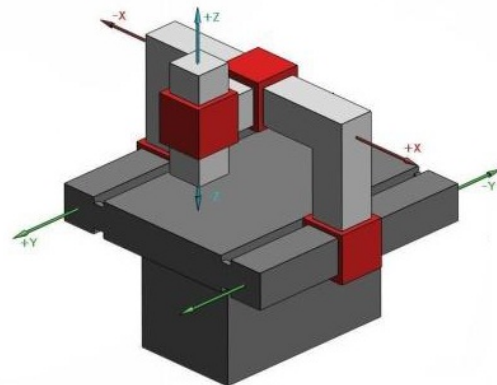


Fig. 2. Estructura tipo puente móvil.

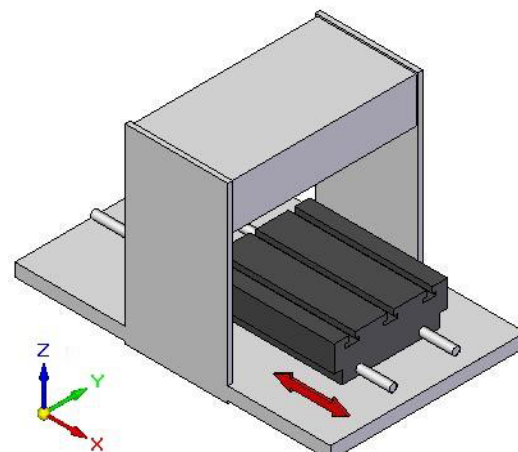


Fig. 3. Configuración de puente fijo con mesa móvil. Fuente: Autores

2.1 Diseño del puente fijo

Inicialmente se diseña la base de la máquina. Para esto se plantea que sus dimensiones sean proporcionales al lado del área de trabajo cuadrada de $L = 200$ mm en relaciones de 3:1 a lo largo y 4:1 a lo ancho, como lo muestra la figura 4. Esta base es hecha con viga U de 3 x 1.1/2 x 3/16.

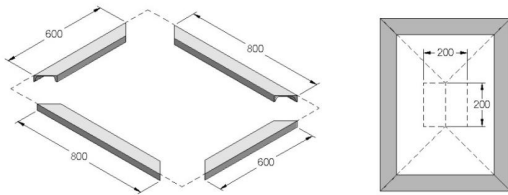


Fig. 4. Dimensiones de la base respecto del área de trabajo.

Partiendo de la base, se diseñó la configuración geométrica del puente fijo que será anclado a la misma utilizando como herramienta el software SolidEdge®. Este consta de dos columnas en lámina de acero ASTM A36 de $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor, reforzadas cada una con dos perfiles angulares de $3 \times 3/16$, ancladas en la parte inferior a la base por medio de pernos y unidas en la parte superior por 2 barras estabilizadoras de acero AISI 1020 con diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada como se indica en la figura 5.

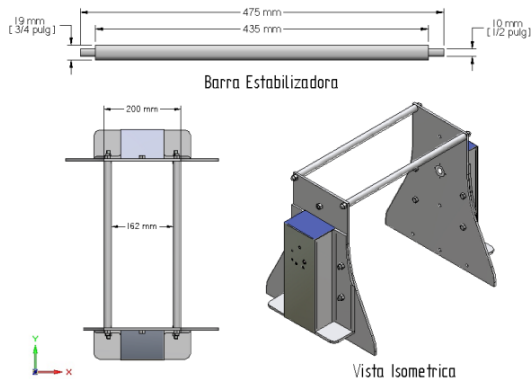


Fig. 5. Configuración final del puente fijo.

Una vez se tuvo la geometría del puente y la base se procedió a realizar un análisis a carga estática por el método de elementos finitos con la herramienta computacional ANSYS®, con el fin de detallar las zonas en donde se podrían concentrar esfuerzos y el comportamiento general de la estructura del puente.

Para este caso se dejó la base fija y a ella el puente. El modelo, como se ve en la figura 6, tendrá aplicación de fuerzas en una zona rectangular donde se previó que estaría el mecanismo de posicionamiento sobre el eje del puente. Esta área delimitada permite obtener una respuesta más precisa a los efectos de la fuerza, en la cual se plantearon cuatro tipos diferentes de aplicación que simulan las condiciones de desempeño de la máquina: el primero de ellos busca aplicar una

fuerzas a cada placa en el mismo sentido del eje del puente (Figura 6a), esto permite analizar el comportamiento del conjunto provocado por los mecanismos de posicionamiento sobre la estructura; el segundo modelo aplica una fuerza a cada placa en el mismo sentido y en dirección de avance de la mesa móvil (Figura 6b) y simula la respuesta del sistema cuando la mesa donde se coloca el material de trabajo avanza y hace contacto con la herramienta. El siguiente modelo cambia el sentido de una de las fuerzas del anterior generando un efecto de giro en sentido antihorario, esto simula la reacción del conjunto cuando la herramienta golpea el material debido a la velocidad de corte (Figura 6c); y por último se analiza una carga sobre el eje vertical hacia arriba que simula la reacción del sistema cuando la herramienta perfora el material (Figura 6d). La carga aplicada por área en cada modelo fue de 1N debido a que lo que se quería determinar era el comportamiento y los puntos débiles y no la resistencia que ya por el material utilizado está probada.

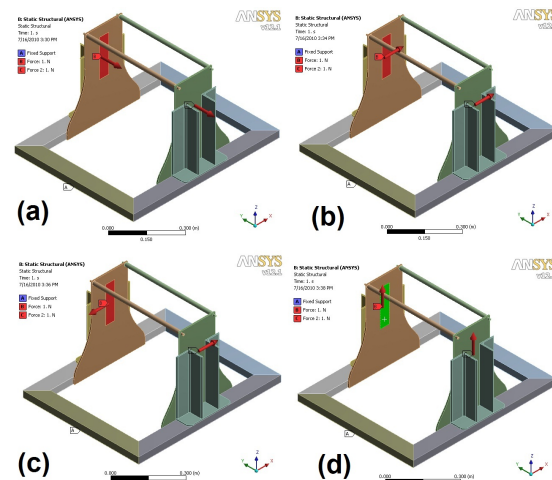


Fig. 6. Modelos de aplicación de cargas en el análisis del puente fijo. (a) cargas en dirección del puente (b) cargas en dirección de la mesa móvil (c) cargas en sentido antihorario y (d) cargas en dirección vertical hacia arriba.

La solución del primer modelo en la Figura 7 muestra dos puntos de concentración de esfuerzos muy pequeños en la parte baja de los soportes laterales, mientras que en las placas se encuentran zonas muy amplias con poco esfuerzo, mostrando la eficiente disposición del conjunto.

En el segundo caso (Figura 8) la carga tiende a empujar hacia atrás el puente, lo que provoca enfrente de los bordes de las placas pequeños punto

de tensión y de compresión en la parte de atrás, el tamaño de estos focos de esfuerzos son muy pequeños y demuestran que las placas responden de manera eficiente a la carga. El tercer modelo mostrado en la Figura 9 con carga de efecto de giro, tiene un comportamiento casi igual al anterior, esto se debe a la simetría en la aplicación de las fuerzas. El cuarto modelo mostrado en la Figura 10 comprueba igualmente que la máquina en modo de perforación presenta gran estabilidad al notarse muy pocas concentraciones de esfuerzos tanto en las placas como en los soportes.

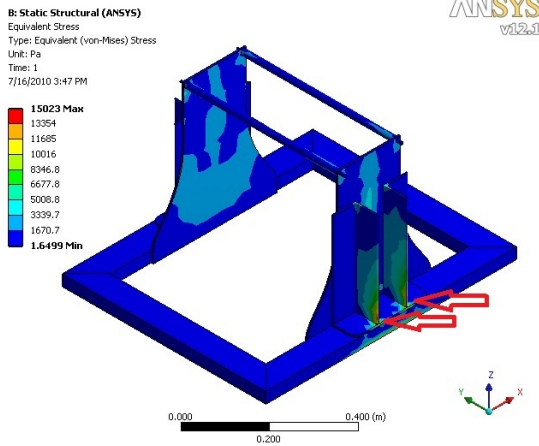


Fig. 7. Solución al modelo de aplicación de cargas en el análisis del puente fijo con cargas en dirección del puente

2.2 Diseño de los mecanismos de posicionamiento

En este caso se dio énfasis en los mecanismos de posicionamiento sobre el eje X (dirección del puente fijo) y el eje Y (dirección de la mesa móvil). Éstos constan de un par de guías deslizantes con superficie cilíndrica en acero inoxidable de 3/4 de pulgada de diámetro y un tornillo de bolas recirculantes encargado de mover el carro que en el caso del eje Y sujeta la pieza a maquinarse (mesa móvil) y en el caso del eje X soporta el mecanismo de posicionamiento en el eje Z y la herramienta de corte. (Figura 11)

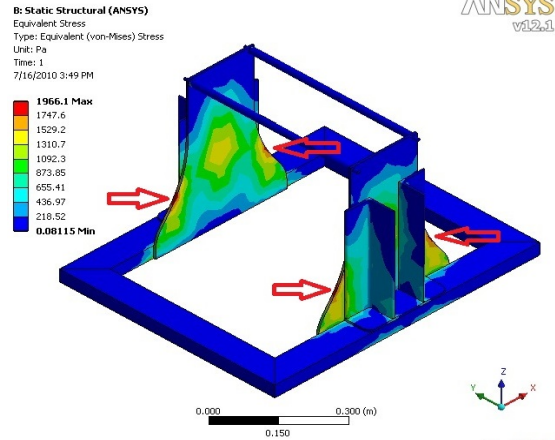


Fig. 8. Solución al modelo de aplicación de cargas en el análisis del puente fijo con cargas en dirección de la mesa móvil

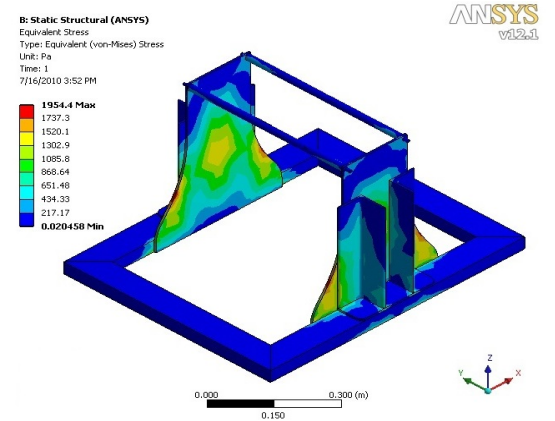


Fig. 9. Solución al modelo de aplicación de cargas en el análisis del puente fijo con cargas en sentido antihorario

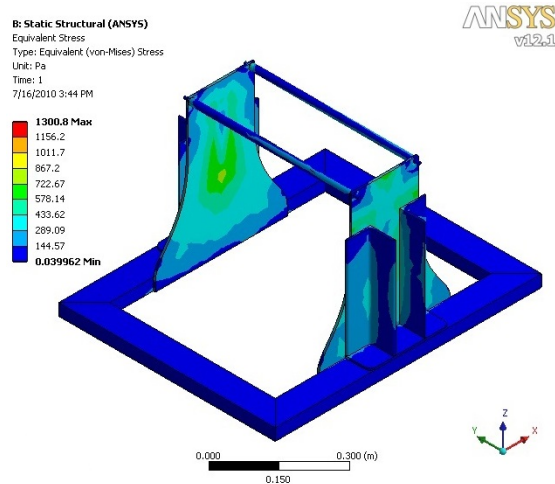


Fig. 10. Solución al modelo de aplicación de cargas en el análisis del puente fijo con cargas en dirección vertical hacia arriba

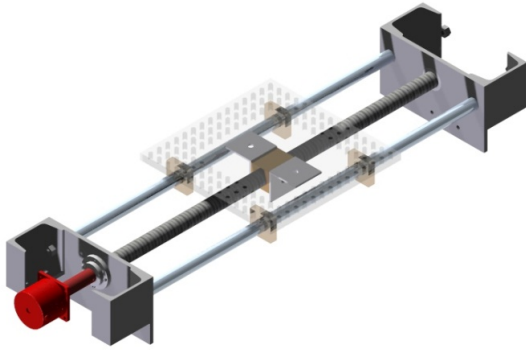


Fig. 11. Mecanismo de posicionamiento en el eje Y (Mesa móvil).

Determinado el sistema de giro de la herramienta se procede a diseñar el mecanismo de posicionamiento en el eje Z también conocido como carro portaherramienta que mantiene el mismo concepto utilizado en los anteriores, y su función es subir y bajar la herramienta (figura 12). Las guías deslizantes y el tornillo de potencia de rosca métrica M15x2 se dimensionan proporcionalmente a la capacidad del mecanismo de giro de la herramienta de corte que es un motor de corriente alterna con control de velocidad variable, con un rango de entre 500 y 15000 rpm, con eje flexible de 10 mm de diámetro de un 1 m de longitud, mandril de una pulgada de diámetro con capacidad para llevar herramientas de hasta 1/2 pulgada de diámetro y de 120 mm de largo.

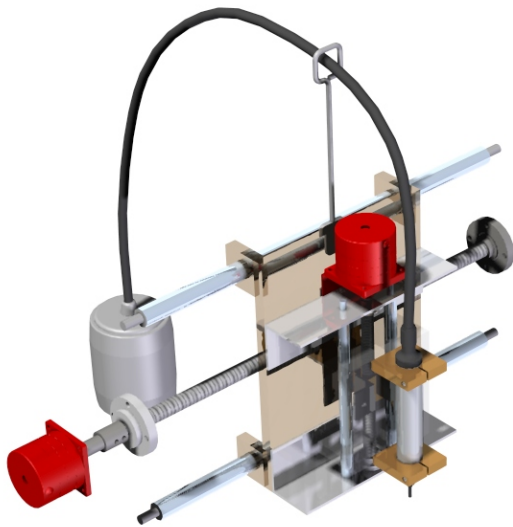


Fig. 12. Mecanismo de posicionamiento del eje Z con el motor de la herramienta de corte instalado sobre el mecanismo de posicionamiento del puente fijo (eje X).

2.3 Implementación de los tornillos de bolas en los ejes X y Y

Se seleccionó para los ejes del puente fijo y la mesa móvil un par de tornillos de bolas de 0.625 x 0.200 con dimensiones de 17.622 pulgadas en el eje X y 25.469 pulgadas en el eje Y. Con un tipo de soporte fijo-fijo en ambos casos (Thomson Industries, 2001).

Seguidamente se procede a verificar de acuerdo al manual del fabricante la velocidad crítica, capacidad de carga en columna y tasa de viaje aceptable teniendo en cuenta el tipo de soporte mencionado anteriormente.

De acuerdo a los datos del manual, se concluye que en los dos ejes se puede llegar a velocidades desde los 100 a los 3000 rpm sin que allá repercusiones producto de las vibraciones excesivas (Thomson Industries, 2001).

En la figura 13, la línea de la derecha marcada sobre la tabla, indica la longitud del tornillo en el eje Y, y la línea de la izquierda al tornillo del eje X. Siguiendo esta convención y con la configuración de chumaceras tipo fijo-fijo, se observa que los tornillos pueden soportar 4500 lb o 20 kN en compresión.

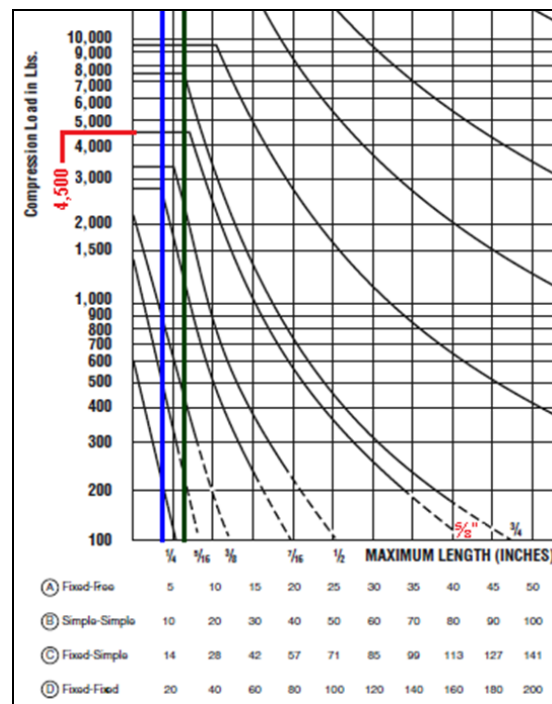


Fig. 13. Determinación de la carga en columna para los tornillos de bolas. Fuente: (Thomson Industries, 2001)

La tasa de Viaje Aceptable, conocida como Travel Rate, identifica la velocidad lineal que puede alcanzar la tuerca antes de producirse algún fallo. Manteniendo la misma relación de la línea derecha e izquierda, en la figura 14, el tornillo del eje X puede llegar a desarrollar hasta 2750 in/min o 69850 mm/min, y el tornillo del eje Y 1320 in/min o 33528 mm/min.

Para estos tornillos se utilizó motores bipolares modelo MAE HY200-2220-140 E40 de 200 pasos por giro, con 2 fases de 1.4 amperios y potencia máxima estimada de 98 oz.in (MAE Stepper Motors, 2003). La conexión fue directa con acople rígido como se muestra en la figura 12.

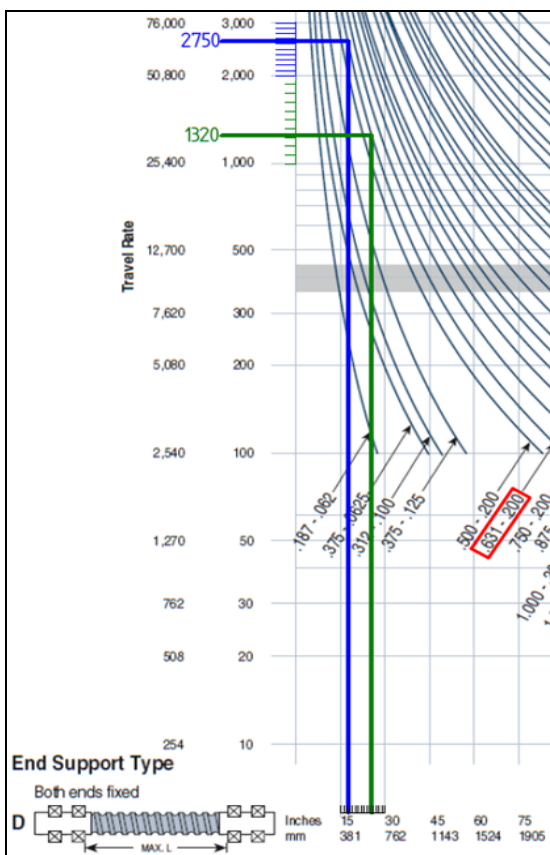


Fig. 14. Determinación de la tasa de viaje aceptable para los tornillos de bolas. Fuente: (Thomson Industries, 2001)

3. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS INICIALES

Una vez realizado el diseño se procedió a construir la máquina con todos sus componentes dando como resultado el prototipo CNC que se muestra en la figura 15.

Se realizaron pruebas básicas de funcionamiento de los motores y mecanismos de posicionamiento en los tres ejes. En el caso de los ejes X y Y, se midió manualmente la precisión de los tornillos verificando el avance en una revolución de los motores manipulados a través del sistema de desarrollo por microcontrolador, supervisado por el computador, dando varias veces la misma medida de 5.08 mm. Es de aclarar que se hizo sin carga, es decir sin maquinar material. (Fig. 16)

Luego se realizaron labrados en materiales blandos como el acrílico. En estas primeras pruebas hubo repetitividad aceptable ya que las líneas eran duplicadas fielmente al repetir el dibujo. (Fig. 17).

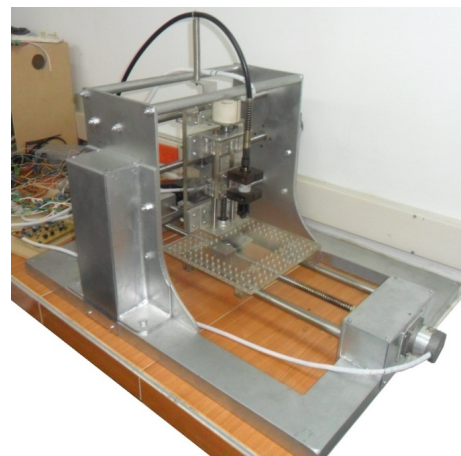


Fig. 15. Prototipo CNC construido.



Fig. 16. Medición del avance de la mesa utilizando un calibrador pie de rey para verificar la precisión teórica.

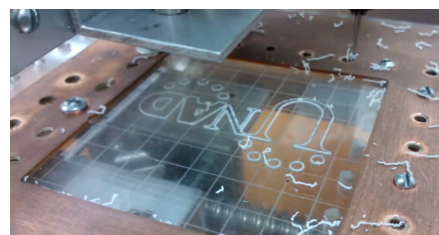


Fig. 17. Pruebas de repetitividad.

4. CONCLUSIONES

La estructura tipo puente fijo con mesa móvil ofrece una mayor rigidez estructural que el tipo Puente móvil, ya que las columnas se mantiene fijas y el movimiento sobre el eje Y es realizado por la mesa donde se ancla el material, esto se debe a que es mucho más sencillo mover el material a maquinar que el puente completo.

El peso y la rigidez generada por la utilización de aceros estructurales en la base, columnas y soportes laterales de la estructura del puente le dieron más estabilidad al conjunto en el momento de las pruebas de funcionamiento y el sistema de barras estabilizadoras y guías deslizantes cumplió con su finalidad de unir fuertemente las columnas de la estructura.

El mecanismo de tornillo de bolas resultó la mejor opción del proyecto debido a su buen funcionamiento, representado en su baja holgura y fácil movimiento, permitiendo una sencilla conexión entre el motor y la mesa móvil.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen a la UFPS por la financiación del proyecto y a la UNAD por el apoyo al docente investigador.

REFERENCIAS

- Escalona, I. (2009). Diseño y manufactura asistidos por computadora, El Cid Editor Apuntes, Argentina.
- Ávila, A., Flórez, E y Gualdrón, O. (2012). Diseño e implementación de un curso interactivo multimedia para el aprendizaje de los procesos CAM en un centro de mecanizado Leadwell V30, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, No. 20.
- Moreno, G., Flórez, E y Peña, C. (2012). Aplicación social de la asignatura Diseño Mecánico en la carrera de Ingeniería Mecánica, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, No. 20.
- ISO (2000). Standard 10360-1:2000. Geometrical Product Specifications (GPS) Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) -- Part 1: Vocabulary, ISO.
- Thomson Industries (2001). Manual de Thomson Saginaw Balls Screws. The complete selection guide for linear actuation components, Thomson Industries, USA.
http://www.thomsonlinear.com/downloads/screws/Leadscrews_Ballscrews_Splines_cten.pdf
- MAE Stepper Motors (2003). The motor selection guide, PITTMAN MAE Penn engineering Motion Technologies, USA.
http://www.sodimatel.fr/image_base/Img_1637.pdf
- Capuz, S. (2001). Introducción al proceso de producción Ingeniería concurrente para el diseño de producto, Alfaomega, México.
- Cruz, F. (2007). Control numérico y programación: Sistemas de fabricación de máquinas automatizadas, Alfaomega Grupo editor, primera edición, México.
- Serope, K. (2002). Manufactura, Ingeniería y tecnología, Pearson Educación, México.
- Merino, F. y otros. (2005). Ingeniería de fabricación. Mecanizado por arranque de viruta, Editorial Vision Net, España.
- Shigley, J. y Mischke, J. (2012). Diseño en ingeniería mecánica, Mc Graw Hill, novena edición. México.
- Norton, R. (2013). Diseño de Maquinaria. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. Mc Graw Hill, quinta edición. México.
- Juvinall, R. C. (2002). Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica, Limusa Noriega Editores, México.