

Construcción de una máquina CNC de 3 ejes y diseño del sistema de transmisión de movimiento

JIMMY RAÚL BUSTOS BENÍTEZ⁽¹⁾, FREDDY ALEXANDER FERIA BRICEÑO⁽²⁾,
RICARDO EMIRO RAMÍREZ HEREDIA⁽³⁾, SERGIO ANDRÉS VELOZA GARCÍA⁽⁴⁾

(1) jrbustosb@unal.edu.co

(2) faferiab@unal.edu.co

(3) reramirez@unal.edu.co

(4) savelozag@unal.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá
Bogotá, Colombia

Construcción de una máquina CNC de 3 ejes y diseño del sistema de transmisión de movimiento

RESUMEN

Palabras clave:

CNC; diseño de máquinas; mecatrónica; transmisión de movimiento

Este documento es un resumen del proceso de diseño aplicada en la asignatura Proyecto de Ingeniería Aplicada, mediante el cual se propone diseñar e implementar un sistema de control de movimiento para un máquina CNC fabricada por estudiantes, en una metodología de diseño iterativo aplicando los conocimientos aprendidos durante la carrera.

I. INTRODUCCIÓN

Desde su desarrollo en 1980, la manufactura aditiva ha emergido como una poderosa faceta de la manufactura. La manufactura aditiva definida por la *American Society of Testing and Materials* (ASTM) como “el proceso de agrupar material para crear objetos a partir de modelos de datos en 3d, usualmente capa por capa, como contrapunto a las metodologías de manufactura sustractiva”. La evolución del concepto en la primera década del siglo 21 ha hecho disponible un gran número de procesos y materiales en la industria de la manufactura. Sin embargo, diferentes procesos tienen diferentes méritos, e incluso algunos son más apropiados para diferentes aplicaciones. Incluso con un limitado número de materiales para cada proceso, las propiedades de los materiales usados en manufactura aditiva son en general muy equivalentes a sus contrapartes producidas por métodos convencionales. La combinación de la inherente libertad de geometría de las tecnologías aditivas, ha hecho este tipo de procesos capaces de manufacturar productos con propiedades de tipo industrial y con libertades en geometrías nunca antes vistas. Cabe aclarar que aun con los progresos realizados y las nuevas posibilidades, la mayoría de la industria manufacturera no considera la manufactura aditiva como un proceso alternativo de manufactura serio. Hay muchas razones para esto, entre las que se encuentran que no hay una tradición en diseñar partes para ser construidas por manufactura aditiva y tampoco hay estándares establecidos para los materiales del proceso ni estándares de calidad. Sin embargo, la razón fundamental del rezago de la manufactura aditiva es que la construcción de partes no es lo suficientemente barata o rápida comparada con las técnicas convencionales de maquinado, y el costo de la pieza aumenta conforme el tiempo de construcción y la cantidad de material requerido para completar la pieza, mientras que el costo del maquinado convencional se incrementa con la cantidad de material removido, es considerablemente más rápido dar forma a objetos grandes, presenta una alternativa de materiales más amplia, y la precisión y acabados

superficiales son muy diferentes de los que pueden ser obtenidos mediante manufactura aditiva.

La situación actual presenta uno de los más importantes retos para la manufactura aditiva, la amplia aceptación y uso por parte de todos los sectores de la industria, cómo se ha visto en sectores metal-mecánicos, de construcción, farmacéutica y hasta alimenticia; y para lograrlo crear un puente entre las aparentes limitaciones de la manufactura aditiva y la integración de esta tecnología con los procesos convencionales de maquinado. Esta situación es bien conocida y en orden de aprovechar los beneficios de ambos tipos de manufactura juntos se han propuesto diferentes tipos de soluciones “híbridas”. Una de los mayores requerimientos a nivel industrial es el acabado superficial que se le da al objeto final, este acabado en el caso de la manufactura aditiva suele ser escalonado debido a la construcción por capas, y la solución más obvia es remover este material adicional y en general mejorar la precisión de las superficies críticas mediante un maquinado de acabado, y aunque el efecto de escalonado es mucho menos significativo en las tecnologías actuales, este maquinado de acabado es aún una característica deseable en cualquier solución de manufactura híbrida.

La evolución iterativa de la máquina propuesta nos ha brindado bases para poner en práctica validar los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera, la aplicación directa de conceptos mecánicos, electrónicos, informáticos, de diseño, manufactura, experimentación, validación y construcción ha sido importante, y poder materializar esto en un producto final. Como objetivo del proyecto se planteó la mejora de los errores de diseño y construcción generados en la iteración anterior, con el fin de acercarse a un producto final.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este proyecto tiene como necesidad la solución de problemas de movimiento relacionados con el diseño y construcción de una máquina herramienta de manufactura flexible de bajo costo por parte de los integrantes del grupo. La versión inicial de la máquina fue construida por un lado para poner en

práctica los conocimientos adquiridos hasta el momento por los integrantes y por otro como medio para lograr consolidar una plataforma de desarrollo de productos personalizados orientado a pequeños consumidores con necesidades específicas de construcción de prototipos y proyectos individuales. La máquina fue concebida por lo tanto como un sistema que permitiera flexibilidad en la manufactura, reduciendo costos y tiempos de producción, haciéndola replicable, de bajo costo en su construcción, y con características de desempeño cercano a máquinas comerciales. Para la materia se planteó como un sistema de posicionamiento en 3 ejes dado el estado actual de la misma, siempre orientado a una mejora continua y corrección de los problemas encontrados durante cada etapa.

III. ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA

En el desarrollo del proyecto se presentan los requerimientos a poseer por la máquina a construir por tal motivo, para hallar los requerimientos ingenieriles se realizan discusiones en el equipo de trabajo y comparaciones con el mercado. El resultado son los siguientes requerimientos:

A. Eléctricos:

- Sobre picos, sistema de emergencia y protección: Se emplea fusible principal de entrada a la fuente de alimentación que evite corrientes superiores al doble de la corriente nominal.
- Tensiones y corrientes: Se usa tensión estándar de 120 VAC para la alimentación general y corriente máxima de 5 A.
- Consumo eléctrico: Máximo de 600 W/h. o Eficiencia eléctrica: Mínimo de 80%.

B. Térmicos:

- Temperatura de motores: Inferior a 50 °C.
- Temperatura producida por fricción: Inferior a 30 °C.

C. Movimiento:

- Velocidades: Velocidad máxima de trabajo en aire 100 mm/sec en cualquiera de los tres ejes.
- Aceleraciones: La aceleración promedio de los carros está en un margen de 50 mm/sec² y 100 mm/sec².

D. Seguridad:

- Facilidad de desmontaje: Se planea establecer un sistema ágil de desmontaje de las piezas, tanto de la herramienta como de los carros y motores, para facilitar su mantenimiento, cambio y revisión.
- Lubricación: La lubricación se hace manualmente con lubricantes que no contaminen el área de trabajo por goteo. Ésta se realiza cada 50 horas de trabajo.
- Mantenimiento: Se realiza un mantenimiento preventivo cada 1000 horas de trabajo o menos según condiciones de trabajo.
- Guarda motores: Se cuenta con circuitos de protección por sobre corriente y sobre voltaje que regulan el funcionamiento de los motores.

E. Funcionamiento:

- Volumen de trabajo: Las dimensiones de trabajo efectivo que se poseen en el espacio de trabajo son de 600 mm de largo, 400 mm de ancho, 200 mm de altura. El volumen aproximado de trabajo de la máquina es de: $48 \times 10^6 \text{ mm}^3$.
- Desplazamientos:
 - Longitud de desplazamiento del eje X: 700mm
 - Longitud de desplazamiento del eje Y: 500mm
 - Longitud de desplazamiento del eje Z: 300mm
- Repetibilidad: Se tiene un máximo de 5% de desviación en movimientos repetitivos.
- Resolución: Resolución en cualquiera de los ejes de mínimo de 0.1 mm.

- Peso máximo de la herramienta: Hasta 3 Kg.
- Vida útil: Mínimo 5 años.
- Backlash: 20% de la resolución planteada.
- Exactitud de posicionamiento: Hasta un rango de +/- 2%.

F. Mecánicos:

- Peso: La máquina completa tiene un peso máximo de 30 Kg.
- Deformaciones de ejes: El sistema de transmisión tiene una deformación máxima de 4 mm/m.
- Fuerza transversal: Mínimo 300 N.
- Fuerza axial: Mínimo 200 N.
- Rigidez máxima: Al aplicar una carga de 100N en forma multiaxial la deformación máxima será de 5mm.
- Fricción: 10% de la potencia de los motores.
- Soporte máximo de la estructura (peso): Máximo de 50 Kg.

G. Software:

- Compatibilidad del software: Compatibilidad con código G para mecanizado.
- Fiabilidad del software: 99% de los casos.
- Interfaces de usuario: Representación visual de las unidades de desplazamiento en tablero de mando.

IV. GENERACIÓN DETALLADA DEL PRODUCTO

A. Diseño a nivel de sistema

En el proceso de diseño es usual optar por implementar la mayor cantidad de piezas estandarizadas y elementos ya disponibles en el mercado con el fin de elevar la calidad final del producto su funcionamiento y la facilidad de mantenimiento y reparación en caso de avería, se debe buscar que el cliente tenga la facilidad de reemplazar con agilidad piezas y equipos, así como ensamblar las mismas, es por tanto conveniente que el diseño pueda ser dividido en módulos que permitan con rapidez identificar los componentes individuales de cada uno, priorizando un proceso.

Para dar cumplimiento a lo anterior, con el objetivo de implementar las tecnologías adecuadas en

la solución e nuestro problema, facilitando la labor del usuario y del proyecto como tal, se obtienen los diseños de un banco de pruebas que después de una selección y cotización o búsqueda de los elementos del mercado se evidencian a continuación, detallando cada una de las partes que componen la máquina y el proceso a realizar, incluyendo pro supuesto aquellos elementos que hacen parte de los componentes disponibles en el mercado.

Para esto, se han tenido presentes en el proceso de diseño los materiales y técnicas de producción a emplear, restricciones espaciales, identificación de componentes independientes, entre otros factores importantes en el diseño de detalle.

B. Diseño de detalle (aplicación de la metodología para el diseño detallado)

1) Especificaciones técnicas del sistema de movimiento: Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño se tienen las siguientes especificaciones:

- Altura: 490 mm
- Largo: 960 mm
- Ancho: 700 mm
- Material Máquina: MDF
- Peso aproximado de la Máquina: 35 Kg
- El área de trabajo de la máquina está dada por un área de 800 mm x 600 mm.

2) Componentes disponibles para cumplir las necesidades: Teniendo esto en cuenta para la medición de altura en podemos determinar que la resolución es de $\pm 0,5$ cm resulta posible utilizar una cinta métrica común, la cual proporciona una resolución de $\pm 0,1$ cm permitiendo así una correcta calibración del equipo.

C. Identificación de Componentes independientes

Como se mencionó, la máquina para la ejecución de este ensayo será fabricada por el equipo de trabajo, en ese orden de ideas, es necesario segmentar las mismas en algunos componentes independientes para facilitar el diseño detallado de la misma teniendo entonces:

1) Soporte Base:

Este soporte proporciona un área adecuada para resistir la estructura de la máquina, la cual corresponde a un conjunto de elementos fijos y móviles, descritos a continuación.

2) Estructura principal:

Dicha estructura tendrá una configuración similar a la máquina que puede observarse en la imagen 5, su principal función es proporcionar estabilidad al sistema mecánico, además sirve como de soporte para los carros móviles.

3) Motor paso a paso:

El motor es un dispositivo que permitirá a través de un sistema de control la activación o desactivación del mecanismo de movimiento del sistema, con el fin de controlar las velocidades y trayectorias de los carros, para llevar a cabo el funcionamiento de la máquina.

4) Sistema de control:

La unidad de control, permite al usuario de la máquina ordenar las instrucciones que son necesarias para iniciar el movimiento de los carros, esto con el fin de que se aclaren tanto variables iniciales necesarias como la regulación de las trayectorias de los carros, según la operación que se desee realizar.

D. Materiales y técnicas de producción

La máquina busca ser una alternativa económica para la producción a pequeña escala de productos personalizados a las necesidades del cliente, para llegar a este mercado la máquina debe ser fácilmente replicable y los costos de producción deben ser los menores. Para lograr esto se emplearon materiales de bajo costo que ofrecieran los requerimientos de desempeño mecánico adecuados. Al ser este un prototipo se usó MDF como material de construcción dada la facilidad en el mecanizado y ajuste en las tolerancias. La mayor parte de la estructura puede ser elaborada mediante procesos de fresado CNC o corte láser, pues presentan contornos de fácil elaboración. Las uniones de material se realizan me-

dante tornillería comercial. Los motores y controladores así como el sistema eléctrico están diseñados para una referencia específica, lo que dificulta el proceso de replicación, sin embargo, es posible realizar adaptaciones al diseño para que se pueda adaptar a los materiales existentes. Las guías de desplazamiento están compuestas de perfiles en aluminio y rodamientos comerciales, así como las correas para la transmisión de movimiento.

V. EVALUACIÓN DEL PRODUCTO EN CUANTO A FUNCIONES Y DESEMPEÑO

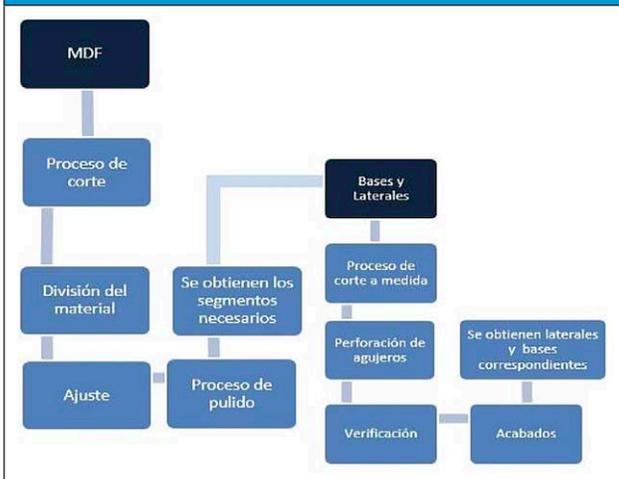
El prototipo cumple satisfactoriamente con su función principal, el estudio del movimiento de los tres ejes de la máquina CNC, como no se trata de una máquina industrial de producción a gran escala, enfocada a fines principalmente educativos no se requiere que le nivel de producción de gran tamaño por parte de la máquina, por lo cual puede concluirse que su desempeño es el esperado, aun usando los materiales y las disposiciones especiales planteadas.

A. Evaluación del producto en cuanto a manufactura, ensamblaje, mantenimiento, confiabilidad, seguridad y reciclaje (DfX).

Podemos observar en seguida el esquema que corresponde al diseño de manufactura del proceso, se han indicado los materiales básicos indicando algunas operaciones a realizar para obtener los componentes detallados que hacen parte de nuestro diseño.

- Diseño para manufactura



Fig. 2. Diseño para manufactura de piezas en MDF.

- Diseño para ensamblaje y mantenimiento

Para evaluar el ensamblaje de la máquina se despliega a continuación un resumen que presenta las operaciones a realizar. Para el ensamble de las piezas en MDF se utilizan tornillos de 5/16 pulgadas por 3/4 de largo de cabeza hexagonal. Estos tornillos unen las piezas por la sujeción con tuercas tipo tambor. Esto permite un ensamble robusto y en ángulo recto entre las diferentes piezas de MDF.

Podemos además incluir que la máquina es en cuanto a su manufactura y su ensamblaje, fácilmente montable y desmontable, de fabricación simple, materiales económicos y comercialmente disponibles, lo que hace que la labor de mantenimiento sea relativamente sencilla, no ejerza complicaciones mayores a un operario y por tanto ofrezca seguridad y confiabilidad.

- Diseño para Seguridad y Reciclaje

El diseño de la máquina y del sistema de movimiento fue pensado de tal forma que se cumplieran con las normas de seguridad básicas de funcionamiento, el cableado fue dispuesto en canaletas flexibles, las correas y piezas móviles no están al alcance del operario y la rigidez de la máquina y las velocidades de operación mitigan el riesgo de sufrir un accidente.

Las piezas de la máquina se componen en un 85% de fibras vegetales MDF, por lo cual su utilización y posterior desecho no representa mayor daño para el ambiente

VI. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

En cuanto al aseguramiento de la calidad, se plantearon actividades entre las que se encuentran la medición sistemática, la comparación con estándares, el seguimiento de los procesos, y las conclusiones obtenidas luego de estudiar los bucles de realimentación de información, estas actividades contribuyen a la prevención de errores. Adicionalmente en el Control de Calidad, se estudiaron las salidas del proceso con tal de realizar un estudio similar.

Las actividades que determinaron el control y aseguramiento de la calidad inician con:

A. Obtención de la información:

Se realizó una revisión de cada fase de operación y ensamblaje, posteriormente se siguieron las recomendaciones de operación y se realizó una revisión de las condiciones iniciales, del ambiente de trabajo y las medidas de seguridad necesarias.

B. Pruebas de funcionamiento:

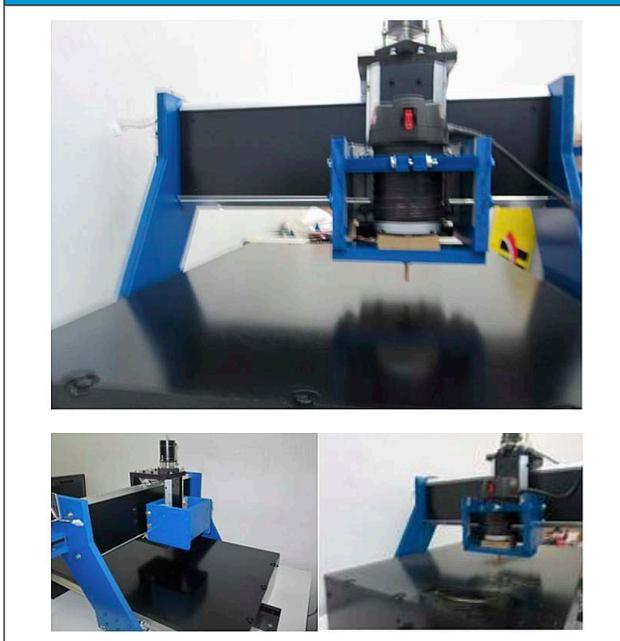
Se comprobó que las trayectorias esperadas en vacío y en trabajo se presentaron sin inconvenientes, se destaca el uso y la implementación adecuada de los sistemas de seguridad, del manual de ensamblaje y de funcionamiento.

C. Testing:

En el proceso de ejecución del sistema se realizaron pruebas con la intención de encontrar defectos, previo a la ejecución, presentación y puesta en marcha de la máquina. Con el fin de que el proyecto cumpla con los objetivos establecidos (sin desviarse de los requerimientos).

Fig. 3. Componentes de ensamblaje de la máquina CNC.

Fig. 4. Máquina CNC ensamblada.



VII. CONCLUSIONES

La máquina CNC cumplió satisfactoriamente con los requisitos especificados para su adecuado funcionamiento, el estudio del sistema de movimiento, su implementación y su puesta en marcha cumplen con las características técnicas de ingeniería esperadas. Si bien entre los requisitos que no se cumplieron del sistema de movimiento, requeridos inicialmente por el mercado comparativo se encuentran aquellos orientados al uso y ergonomía de la máquina, no se considera que los mismos sean determinantes a la hora de poner en prueba y funcionamiento el sistema, sin embargo se considera de gran importancia tener presentes posibles modificaciones futuras para que el equipo de trabajo logre cumplir con dichos propósitos.

Se sugiere seguir al pie de la letra las recomendaciones e instrucciones de los manuales de operación y mantenimiento, que han sido elaborados en torno a la operatividad de la máquina, haciendo especial énfasis en las indicaciones de seguridad.

Con este tipo de proyectos se pretende disminuir la brecha de innovación tecnológica en un mercado que en Colombia es tan grande, el de las pequeñas y medianas empresas, para esto los costos de producción de la máquina en caso de ser comercializada,

deben ser bajos de forma que la penetración en la industria de pequeña manufactura sea exitosa.

Se destaca la importancia de su posible uso en la docencia, la baja producción de piezas, el desarrollo de habilidades ingenieriles por hobby o gusto personal, y desarrollo manufacturado de piezas y partes de prototipos.

VIII. TRABAJO FUTURO

Es necesario continuar con el proceso de implementación del sistema de manufactura aditiva, con el fin de crear un sistema híbrido para el diseño de productos y prototipos a escala local, para esto es necesario identificar el tipo de tecnología aditiva más conveniente y el impacto de la misma en el diseño actual de la máquina para poder realizar las modificaciones pertinentes y avanzar hacia un producto final con todas las características necesarias en maquinaria de este tipo. También es importante trabajar tanto en el sistema de control y perfiles de velocidad de los movimientos, así como en las interfaces de usuario e interfaces hombre máquina.

REFERENCIAS

- [1] Groover, M. P. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- [2] Smith, R. (22 de 02 de 2015). The Virtual Machine Shop. Obtenido de http://www.kanabco.com/vms/cnc_control/cnc_control_03.html
- [3] Applied Scientific Instrumentation. (s.f.). Recuperado el 23 de Febrero de 2015, de Automated XYZ Gantry Translation Stage: <http://www.asiimaging.com/products/stages/large-stages/automated-xyz-gantry-translation-stage/>
- [4] Drive Systems Group Lc. (s.f.). Recuperado el 23 de Febrero de 2015, de CUSTOM MACHINERY & Assemblies: <http://www.drivesystemsgroup.com/machinery%20LC%203024%20TT%20servo.htm>
- [5] IntelliDrives Inc. (s.f.). Recuperado el 23 de Febrero de 2015, de Gantry XYZ systems: <http://www.intellidrives.com/XY-tables-XYZ-Systems/Ball-Screw-XYZ-gantry/XYZ-Gantries/XYZ-Gantry-GA-110-098-080-600x600x150>
- [6] IntelliSpence, Integrated Dispensing Solutions, Inc. (s.f.). Recuperado el 23 de Febrero de 2015, de Servo Gantry: http://www.dispensinglink.com/servo_gantry.htm
- [7] Techno Linear Motion Systems. (s.f.). Recuperado el 23 de Febrero de 2015, de FB2, Gantry Table System: <http://www.techno-isel.com/tic/Catdas/Gantry3.htm>