

Diseño de un prototipo router CNC de precisión mediante la metodología de producto secuencial

RESUMEN: En esta investigación se presenta el diseño y fabricación de un prototipo router de control numérico por computadora (CNC). Para desarrollar este diseño se usó una metodología secuencial de diseño de producto; asimismo, se utilizaron herramientas de diseño e ingeniería asistidas por computadora (CAD/CAE) finalmente, el prototipo router se validó mediante la fabricación en tres dimensiones de una imagen fotográfica, obteniendo resultados de precisión, costos y velocidad óptimos en comparación con equipos comerciales. Asimismo, tendrá beneficios como apoyo didáctico para algunas clases de control numérico impartidas en el salón de clases.

PALABRAS CLAVES: Ruteador, Control Numérico, Diseño del Producto, Diseño Asistido por Computadora, Ingeniería Asistida por Computadora.



Colaboración

Karlo Damián Terrazas Martínez; Javier Molina Salazar
Lázaro Rico Pérez; Erwin A. Martínez Gómez; Raúl Neco
Caberta, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

ABSTRACT This paper presents the design and manufacturing of a computer numerical control (CNC) Router prototype. The applied design development follows a sequential product design methodology; it also uses computer-assisted design and engineering (CAD/CAE). Finally, to validate of the router prototype, a three-dimensional picture is manufactured, obtaining optimal precision, costs and speed results in comparison with commercial equipment. Additionally, there are further benefits, as the educational use in numerical control courses.

KEYWORDS: Router, Numerical Control, Product design, CAD, CAE

INTRODUCCIÓN

Control numérico por computadora (CNC), es un término que engloba una gran variedad de máquinas de diferentes tamaños, formas y funciones, en esta tecnología una computadora controla una máquina para ejecutar la tarea mecánica de remover material de un sólido, por medio de una herramienta de corte [1]. Una herramienta CNC es una máquina automatizada con libertad de movimiento en 3 ejes coordenados XYZ, y hasta 2 ejes rotativos angulares denominados A y B, estos ejes son comandados mediante una computadora, que sincroniza los movimientos de los ejes, de acuerdo a un programa llamado código G. Actualmente el diseño y fabricación de estos equipos son altamente costosos por lo que se requiere proponer metodologías que contribuyan a economizar la fabricación de estos; asimismo que estos equipos funcionen como apoyo didáctico en los diferentes programas de ingeniería que en su curricula lleven materias relacionadas con los maquinados. Por lo tanto en el presente trabajo se propone una metodología secuencial para el diseño y fabricación de un

prototipo didáctico a bajo costo, que sea utilizado como apoyo práctico en el salón en clases relacionadas con el control numérico.

Para el diseño y fabricación de este equipo CNC se hizo uso de la metodología de diseño de producto [2], que consiste en todas las actividades secuenciales requeridas y necesarias para desarrollar, manufacturar y vender un producto. Una parte importante del desarrollo del producto es el proceso de diseño de ingeniería, el cual consiste en actividades secuenciales o paralelas, que concluyen con el primer prototipo, considerado el primer producto completo en un proceso de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1 se realiza el despliegue de la metodología aplicada de diseño en la cual se indica el proceso secuencial de desarrollo del producto.

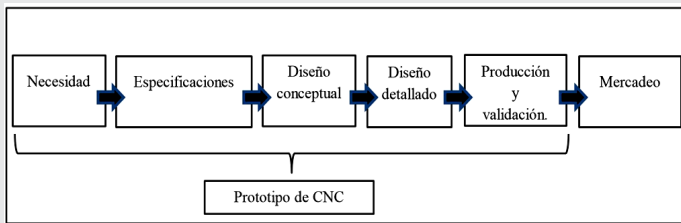


Figura 1. Esquema de proceso de desarrollo de un producto (Kamrani, A. K., & Salhie, S. M. 2002).

A continuación se enuncian las etapas del diseño del prototipo

- Reconocimiento de necesidades del cliente.
- Establecimiento de Especificaciones.
- Diseño Conceptual.
- Diseño Detallado.
- Producción y Validación.

RESULTADOS

Primera etapa: Reconocimiento de necesidades

Usando la matriz de análisis mostrada en la figura 2 se recopiló información relacionada con las necesidades del consumidor. En esta, se muestra una comparación de las características relevantes de distintos modelos de marcas comerciales de Routers CNC, se incluyeron tres marcas extranjeras [3,4,5], frente a dos nacionales[6,7]. Debido a que se están comparando cinco modelos distintos, el valor que representa cada casilla marcada con "X" es del 20%, de esta manera se obtiene una representación de la característica más relevante que se encuentra presente en la mayoría de los modelos. De acuerdo a la matriz de análisis se puede concluir que tres características que son más significativas en porcentaje para estos equipos son: Puente móvil, husillos de precisión y alta velocidad. Con respecto al material, por cuestiones económicas y dado que el equipo es didáctico; se optó por el aluminio extruido.

Características	Marca (Modelo)					Representación Grafica	%
	Modelos Extranjeros			Modelos Nacionales			
	CNC routers (Pro CNC)	Shopbot (Desktop)	EZ Router (EZ-Flex)	Asima (AR1200)	Anko CNC (4x8-RH)		
Puente móvil	X	X	X	X	X	████████	100
Husillos de precisión	X	X	X		X	██████	80
Alta velocidad	X			X	X	██████	60
Estructura de acero		X		X	X	██████	60
Estructura de aluminio	X		X			██████	40
Diseño modular	X		X			██████	40
Transmisión Mecánica	X					██████	20
Generador de pulsos externo		X				██████	20

Figura 2. Matriz de análisis.

Con los resultados obtenidos se decidió realizar los diseños basados en puente móvil, es decir, la herramienta de corte se traslada a lo largo del eje X, contrario al puente fijo donde lo que se traslada es la mesa inferior de trabajo y la herramienta de corte permanece fija. La figura 3 muestra un ejemplo de puente móvil y puente fijo respectivamente.

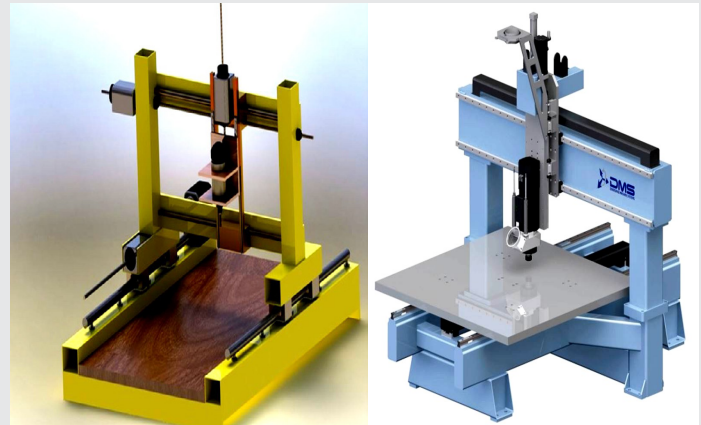


Figura 3. Comparación de puente fijo y móvil.

Segunda etapa: Establecimiento de especificaciones

Se formularon especificaciones a partir de la segunda y tercera características que más porcentaje obtuvieron en la matriz de análisis. La figura 4 muestra las necesidades del cliente representadas en métricos. La primera tabla muestra una comparación de métricos de los cinco modelos a través de sus especificaciones, a partir de la cual se realiza una segunda tabla donde a cada característica se le asignaron dos valores, un valor ideal y un mínimo o máximo aceptable. Se asignaron especificaciones en comparación al modelo 4x8-RH, ya que fue el modelo más preciso de los cinco mostrados, además es deseable superar la velocidad que este modelo ofrece, para así ofrecer un prototipo competitivo en el mercado. Estas especificaciones fueron la base que rigió la toma de decisiones en la etapa de diseño conceptual y detallado.

Comparación de especificaciones					
Métrico	Marca (Modelo)				
	Modelos Extranjeros			Modelos Nacionales	
	CNC Router parts (Pro CNC)	Shopbot (Desktop)	EZ Router (EZ-Flex)	Asima (AR1200)	Anko CNC (4x8-RH)
Precisión en pulgadas (error absoluto)	(+/-) .005	No indica	(+/-) .005	(+/-) .004	(+/-) .002
Máxima velocidad, pulgadas por minuto	500	360	400	787	140

Especificaciones de prototipo		
Valor	Métricos	
	Velocidad Pulgada/minuto	Precisión Pulgadas (error absoluto)
Mínimo/máximo aceptable	140 Mínimo	0.002 Máximo
Ideal	180	0.001

Figura 4. Comparativa de especificaciones y de especificaciones de prototipo.

Actividad	Resultados
	Se obtuvieron las velocidades máximas a las que se pueden operar los ejes, sin verse afectados excesivamente por la vibración del sistema.
	Se optimizó la geometría de la viga central del puente del eje Y, con el fin de obtener la menor deformación de trabajo.
	Se diseñó un puente de eje Y balanceado, para evitar diferencias de cargas excesivas sobre los baleros lineales.
	Se reforzaron las columnas para disminuir la deformación presente bajo carga máxima de trabajo.
	Se optimizó la geometría de las vigas que soportan el eje X para obtener la menor deformación bajo cargas máximas de trabajo.
	Se obtuvieron los pesos teóricos y se comparó contra los pesos verdaderos para hacer el cálculo de inercia del sistema.

Figura 6. Actividades realizadas mediante el CAD/CAM.

Tercera etapa: Diseño conceptual

Mediante el uso de SolidWorks [8], se realizaron diseños conceptuales. La figura 5 muestra la tabla de Pugh utilizada para evaluar los 2 conceptos contra el modelo de referencia de la marca Anko CNC. A cada criterio se le dio un factor de peso, para un total de seis criterios tomados en cuenta, corresponde 1/6 del factor de peso a cada uno, la suma total de los factores es igual a 1. A cada criterio se le clasificó en un rango de 1 a 5, siendo 1 el peor de los casos y hasta 5 el mejor. El puntaje de cada criterio se obtiene al multiplicar la clasificación por su factor de peso correspondiente. El diseño conceptual B fue el que obtuvo el mayor puntaje y paso a la etapa de diseño detallado.

Criterio de selección	Factor de Peso	Concepto A		Concepto B		Modelo de referencia
		Clasificación	Puntaje	Clasificación	Puntaje	
Modularidad	1/6	4	2/3	5	5/6	Anko CNC (4x8-RH)
Manufacturabilidad	1/6	3	1/2	4	2/3	
Facilidad de ensamble	1/6	4	2/3	4	2/3	
Funcionalidad	1/6	4	2/3	5	5/6	
Portabilidad	1/6	5	5/6	5	5/6	
Costo	1/6	3	1/2	4	2/3	
Puntaje Total		3 5/6		4 1/2		
Posición		2		1		
A desarrollar		NO		SI		

Figura 5. Pugh de evaluación de conceptos A y B.

Quinta etapa: Producción y validación

Solamente se utilizaron planos de taller debido a que solo se fabricó un prototipo. Durante el proceso de diseño, se seleccionaron materiales que cumplieran con las especificaciones y que adicionalmente, facilitaran la manufactura del prototipo. La figura 7., muestra la comparación entre el modelo virtual y el prototipo físico fabricado. Las medidas del equipo son: 50" de largo, 35" de ancho y 55" de alto. Asimismo, la velocidad de los ejes están en el rango de 140-180 pulgadas/minutos y finalmente la precisión está entre 0.002"-0.001". Actualmente no se cuenta con manual de operación.

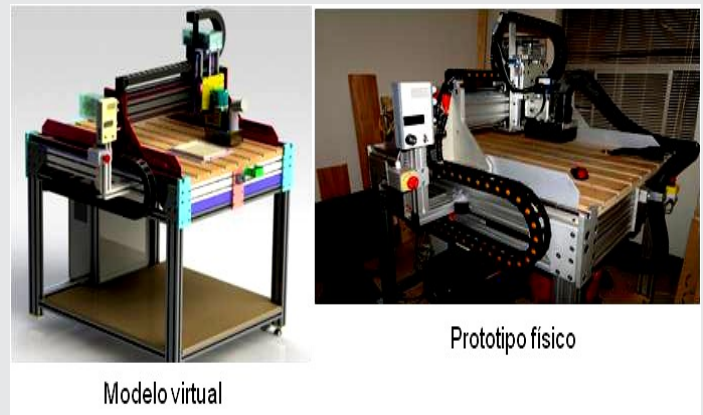


Figura 7. Comparación de modelo virtual y prototipo fabricado.

Cuarta etapa: Diseño detallado

En esta etapa se hizo un gran uso de herramientas CAD y CAE para obtener un diseño óptimo, en la figura 6 se muestran las actividades realizadas mediante el CAD/CAM.

Por otro lado, se emplearon herramientas estadísticas para su validación. Se realizaron diseños de experimentos exploratorios, de los cuales se concluyó que la velocidad y aceleración no tienen efecto adverso en la precisión del equipo. Se utilizaron instrumentos de medición de caratula para graficar el error en el rango de operación de los ejes XYZ, estos datos se ajustaron a regresiones de curvas li-

neales y cubicas, las cuales fueron modificadas utilizando una calibración por etapas. La Figura 8 muestra el resultado final de la calibración por etapas, en la cual se logra aumentar la exactitud y precisión, de acuerdo a la gráfica de histogramas de distribución de errores por etapa.

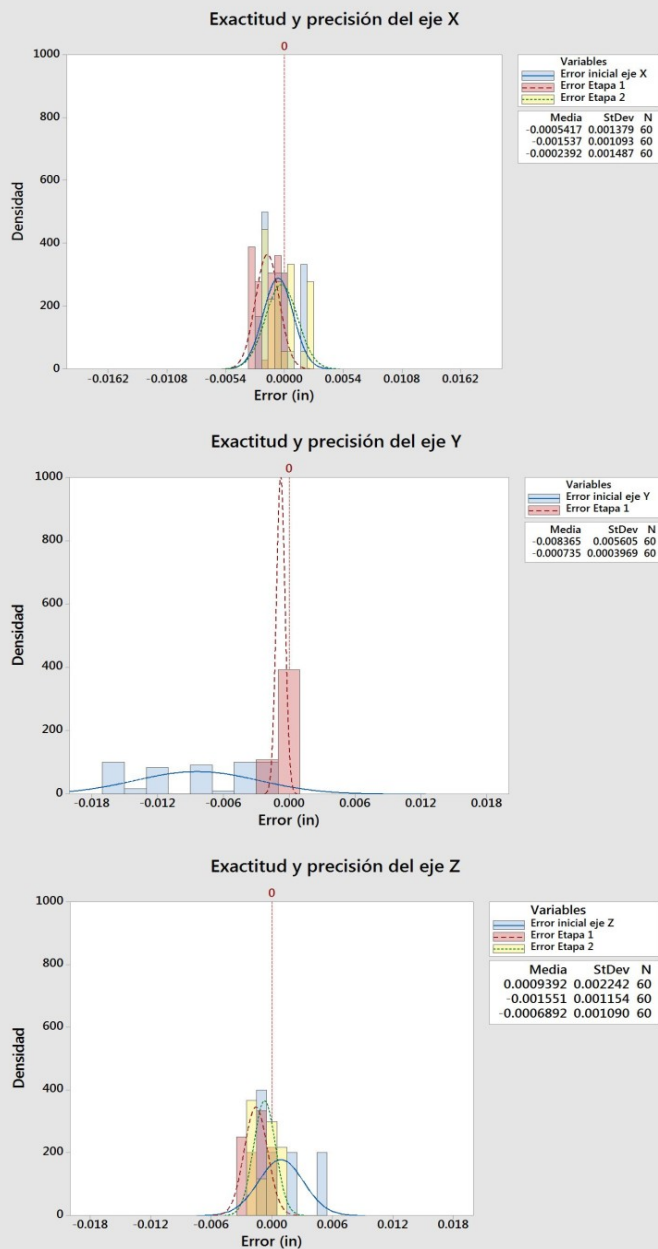


Figura 8. Exactitud y precisión de ejes ZYX.

Para probar el equipo CNC, se diseñó y fabricó una fotografía en tres dimensiones con el apoyo de un Lithofano, de esta manera, se pusieron a prueba las características velocidad, aceleración y precisión. Un Lithofano es una pieza de material traslucido, que muestra un efecto de tres dimensiones cuando son iluminados por la parte trasera del material [9]. El efecto se realiza cuando la luz atraviesa el material, las zonas de mayor contraste en el lithofano corresponden a las áreas que fueron maquinadas por el CNC a menores profundidades, provocando que

solo un pequeño porcentaje de la luz atraviese esta área, las zonas de menor contraste corresponden a las áreas que fueron maquinadas a mayor profundidad, provocando un mayor porcentaje de luz que atraviesa esa zona, la diferencia entre las zonas de luz da origen a un efecto tridimensional. La Figura 9 muestra la fotografía seleccionada para diseñar y fabricar con la técnica de lithofano, se tuvo especial cuidado en seleccionar una fotografía que mostrara claros contrastes entre el rostro de los personajes y el ambiente externo; asimismo fue utilizada la imagen de una persona para mostrar la utilidad de la máquina en el maquinado complejo de los contornos. Se seleccionó el área a diseñar.



Figura 9. Selección de área de diseño para lithofano.

Utilizando herramientas CAD como Aspire [10], se diseñó el área de la fotografía para crear las zonas de contraste, generando crestas (zonas de menor profundidad) y valles (zonas de mayor profundidad). La figura 10, muestra el sólido 3D generado y listo para la generación del código G en software de manufactura asistida por computadora (CAM).



Figura 10. Diseño de crestas y valles.

El código para maquinar la fotografía se genera en *Aspire*, ya que este programa es una solución completa de CAD y CAM. La técnica utilizada para el maquinado se dividió en dos fases y se generó un solo código G con cambio de herramienta entre cada fase. Por otro lado, la Figura 11 muestra esquemáticamente la descripción técnica de la fase de desbaste y la fase de detallado, en la primera se removió la mayor cantidad de exceso de material y en la segunda se dio el detallado final de las crestas y valles.

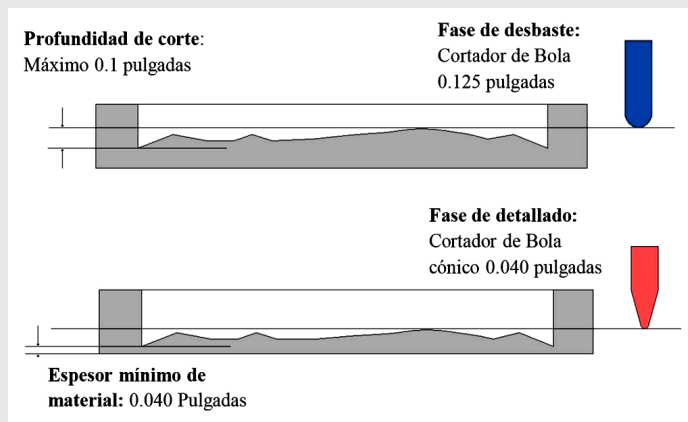


Figura 11. Esquemático de fases de desbaste y detallado.

El resultado de maquinar la fotografía se muestra en la figura 12, el efecto se logra colocando una fuente de luz detrás del Lithofano para que el efecto tridimensional cause efecto.



Figura 12. Efecto óptico de lithofano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo un producto que cumple con las especificaciones y que va de acuerdo a las necesidades de los clientes. Se logra hacer uso satisfactoriamente de las herramientas CAD y CAE en el diseño del prototipo, ayudando a tomar decisiones críticas, disminuyendo considerablemente los tiempos

de diseño y de fabricación en comparación con los métodos tradicionales de diseño a mano alzada y optimización a prueba y error. Con la ayuda de herramientas CAM, se logra la demostración de las capacidades del CNC al fabricar un producto novedoso, que demuestra el gran potencial de manufactura que tienen estos equipos, donde ciertamente, el único limitante es la imaginación del propio diseñador. Este prototipo contribuirá a reforzar la práctica docente en el proceso enseñanza-aprendizaje en las clases de aplicaciones de control numérico. Se recomienda para trabajos futuros continuar utilizando la metodología de diseño conceptual en problemas de diseño y aplicarla en otros tipos de equipos CNC.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Floyd Kelly, J., & Hood-Daniel, P. (2009). *Build Your own CNC Machine*. New York: Apress.

[2] Kamrani, A. K., & Salhie, S. M. (2002). *Product design for modularity*. Massachusetts: Springer.

[3] CNC Router Parts. (s.f.). *CNC Router Parts*. Recuperado el 17 de Marzo de 2015, de <http://www.cncrouterparts.com>

[4] ShopBot Tools, Inc. (2006). *Shopbot*. (ShopBot Tools, Inc.) Recuperado el 17 de Marzo de 2015, de <http://www.shopbottools.com>

[5] ez Router, Inc. (2010). *ez Router*. (Duncan Multi-Media) Recuperado el 17 de Marzo de 2015, de <http://www.ez-router.com>

[6] Asima. (2012). *Asima*. (EPCI) Recuperado el 17 de Marzo de 2015, de <http://www.asimacnc.com.mx>

[7] ANKO CNC. (2014). *ANKO CNC*. (Ticsup) Recuperado el 17 de Marzo de 2015, de <http://ankocnc.mx>

[8] Dassault Systems. (1 de Diciembre de 1993). *SolidWorks*. (Dassault Systems) Recuperado el 26 de Febrero de 2015, de <http://www.solidworks.com>

[9] Vectric Ltd. (s.f.). *Vectric Passionate about CNC*. Recuperado el 7 de Marzo de 2015, de Vectric: http://www.vectric.org/video/photocarve/Machining_Lithophanes.pdf

[10] Vectric Ltd. (20 de Febrero de 2005). *Vectric Passionate About CNC*. (Vectric) Recuperado el 26 de Febrero de 2015, de <http://www.vectric.com>