

Análisis cinemático de la caja de velocidades de un torno para madera

REYNALDO-LEDESMA, Jaime^{†*}, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCÁZAR, Miguel Ángel y FERRER-ALMARÁZ, Miguel Ángel

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. Carretera Valle de Santiago - Huamimaro Km. 1.2, 20 de Noviembre, 38400 Valle de Santiago, Gto

Recibido 5 de Julio, 2017; Aceptado 18 de Septiembre, 2017

Resumen

El proceso de torneado consiste en producir una forma cilíndrica a partir de remoción de material por rotación de la pieza contra un cortador con filo. Generalmente las piezas a trabajar se pueden montar en uno o dos puntos, en un plato, en un mandril o con boquillas de sujeción. Como parte de una investigación sobre un torno fresador para trabajo de precisión con madera, se reportan en este artículo algunos resultados obtenidos en lo que se refiere al diseño de una transmisión de potencia para el torno, como parte de un proyecto integral de diseño en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, con el propósito de generar y transferir tecnología a microempresas locales que se dedican a trabajos de carpintería y que requieren de equipo especializado para producir formas cilíndricas, cónicas y en espiral. En el presente trabajo se documentan los resultados de un análisis cinemático, que se realizó con el objetivo de determinar el tipo y combinación de componentes en una transmisión de potencia eficiente, desplazamientos longitudinales, velocidades de corte y de velocidades óptimas de rotación de los ejes de entrada y salida.

Torno, transmisión, análisis, cinemático.

Abstract

The turning process consists of producing a cylindrical shape from a material rotating by rotating the workpiece against a sharp cutter. Generally the pieces to work can be mounted in one or two points, in a plate, in a mandril or with fixing nozzles. As part of a research on a milling machine for precision work with wood, this article reports some results obtained in the design of a power transmission for the lathe, as part of an integrated design project in the Technological University of Southwest of Guanajuato, with the purpose of generating and transferring technology to local microenterprises that work in carpentry and that require specialized equipment to produce cylindrical, conical and spiral forms. In the present work the results of a kinematic analysis were documented, with the objective of determining the type and combination of components in an efficient power transmission, longitudinal displacements, cutting speeds and optimum rotation speeds of the axes of input and output.

Lathe, transmission, analysis, kinematic

Citación: REYNALDO-LEDESMA, Jaime, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCÁZAR, Miguel Ángel y FERRER-ALMARÁZ, Miguel Ángel. Análisis cinemático de la caja de velocidades de un torno para madera. Revista de Operaciones Tecnológicas 2017. 1-3:22-28

[†] Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: rledesma@utsoe.edu.mx

Introducción

Tratándose de trabajo en madera, tradicionalmente se utiliza un torno simple en el que se pone a girar una pieza montada en uno o dos puntos por los extremos. Auxiliándose de un formón de metal se sujeta manualmente sobre un apoyo y se desplaza de un lado a otro para desbastar material y generar formas cilíndricas libres, Figura 1. El éxito para conseguir la forma deseada, depende en gran medida de la destreza del operador, para el que en la mayoría de las ocasiones no es tan importante la precisión que se consigue al final.



Figura 1 Proceso de torneado manual.

Justificación

En un taller de carpintería pequeño-mediano resulta complicado fabricar formas complejas por torneado, muchas de las cuales se requieren trabajar talladas a mano, lo que incrementa considerablemente los tiempos de terminado y costos de producción.

De manera adicional se sabe que los prototipos que existen en el mercado abarcan dos categorías: por un lado los que permiten el trabajo de partes con buena precisión, aunque todavía con un alto número de operaciones y ajustes de parte del operador y los equipos de CNC industriales que pueden fabricar piezas a gran escala y con un alto nivel de repetitividad, aunque con un alto costo de adquisición.

La mayoría de las investigaciones en esta área están basadas en equipos industriales, generalmente con postprocesadores de CNC de mucho prestigio, por lo que se aprecia la oportunidad de desarrollar equipos de baja gama de trabajo, que permitan a personal de un taller de carpintería fabricar componentes con buena precisión y a bajo costo.

Problema

En el presente Proyecto de investigación se contempla el diseño y fabricación de un prototipo de torno fresador de control numérico para su uso en talleres de carpintería pequeños, sin escatimar en lo referente a repetitividad de procesos y precisión. De manera adicional se requiere que se puedan manipular algunos de los parámetros de trabajo, de tal manera que se puedan conseguir formas de alta complejidad tales como espirales, conos, y en general superficies irregulares de revolución.

Para tal efecto, se plantean como requisitos iniciales, tomados de la experiencia de personas que se dedican a este tipo de actividades, los siguientes: que sea operado por CNC, que utilice un Router eléctrico para madera, con dos ejes de trabajo motorizados, largo de bancada de 0.4 a 1.5 m, con relación de transmisión variable y un volteo de 0.15 m.

Respecto de la transmisión variable, se requiere el uso de una transmisión que permita conseguir la gama de velocidades útil para la fabricación de desbastes y espirales complejos, considerando que una variación de 6 velocidades puede ser óptima para este tipo de trabajos.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un torno para madera controlado por CNC con el propósito de fabricar formas cilíndricas, cónicas y en espiral con buena precisión, repetitividad y de bajo costo.

Objetivos específicos

Elegir una transmisión adecuada capaz de transmitir movimiento rotatorio entre el eje de entrada y el eje de salida.

Analizar y seleccionar los componentes críticos de la transmisión de potencia desde el punto de vista de la cinemática de partículas.

Marco Teórico

Como ya se comentó previamente en este tratado, la mayor parte de las investigaciones reportadas sobre el tema, abordan situaciones concretas de este tipo de dispositivos, y la mayor parte de estas se centran en equipos industriales.

En un estudio realizado por Hurtado (2014), se reportaron los resultados de una investigación sobre un análisis cinemático en un tren de engranes cilíndricos rectos, describiendo una interface gráfica computacional que facilita el ingreso de parámetros y la mejor visualización de resultados en cuanto a diferentes relaciones de transmisión que se pueden usar para hacer más eficiente el flujo de potencia. Si bien es cierto, no se enfoca en una aplicación concreta, si permite estudiar de forma eficiente una transmisión por medio de engranes.

Así mismo, Salgado (2004), reporta resultados sobre el diseño de una transmisión mecánica para realizar la división diferencial con un amplio número de combinaciones entre dos ejes y que se puede aplicar para su uso en máquinas herramientas. En cambio, en Reyes (2010), se documentaron hallazgos sobre un análisis cinemático en un tren de engranes pentaxial, haciendo referencia al estudio de un sistema con dos ejes de entrada y un eje de salida para sistemas de engranes planetarios, el cual es un sistema muy usado en transmisiones automáticas. Misma tendencia que reporta Espina (2008) en su análisis entre la relación de transmisión y rendimiento para trenes de engranes planetarios.

También se han reportado resultados sobresalientes en otros estudios referentes al diseño y análisis de transmisiones con fines muy específicos en lo que a tornos se refiere, tal es el caso de Morera (2008) que informa sobre el proyecto de diseño y construcción de un torno de control numérico, en Londoño (2005) la descripción del diseño y construcción de un torno de control numérico, y Romero (2014) el diseño y construcción de un torno para madera con router incorporado. En estos últimos con el firme propósito de documentar de forma muy precisa el diseño y fabricación tanto de las transmisiones, como de otros componentes y sistemas.

En la gran mayoría de estudios se observa el gran interés que existe por el diseño de transmisiones de potencia tendientes a ser más eficientes, mismo objetivo que se pretende conseguir con este proyecto, bajo un enfoque distinto.

Metodología de Investigación

Para alcanzar los objetivos de la presente investigación se planteó una metodología sistemática y ordenada, la cual se describe a continuación.

Tipo de Investigación

En este documento se reportan algunos resultados sobre el proyecto en base a una investigación del tipo *aplicada*, centrándose en la selección de componentes mecánicos y su análisis de movimiento con el propósito de obtener sus dimensiones finales. Misma que fue soportada por una fuerte investigación *documental* respecto de los sistemas similares que ya existen en el mercado para este mismo fin.

También se puede afirmar, que de acuerdo a su naturaleza es una investigación en la que se pretende conseguir un resultado tendiente a diseñar una *solución* concreta para satisfacer una necesidad regional surgida dentro de una actividad económica de bienes y servicios.

Métodos Teóricos

La dinámica es la parte de la mecánica que se refiere al estudio de los cuerpos en movimiento. A saber, la dinámica se divide en dos ramas importantes; la *cinemática*, la cual corresponde al estudio de la geometría del movimiento y que se utiliza para relacionar el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y el tiempo sin referencia a la causa del movimiento, y por otro lado la *cinética*, que es el estudio de la relación que existe entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, su masa y el movimiento de este mismo. (Beer y Johnston, 2013).

El análisis cinemático de componentes mecánicos consiste en determinar básicamente velocidades, aceleraciones, y desplazamientos de salida, en función de estas mismas variables de entrada.

Metodología de Desarrollo

En la propuesta inicial para el diseño y fabricación de un torno para madera accionado por control numérico se planteó el concepto como el mostrado en la figura 2. En dicha figura se ilustran los sistemas principales.

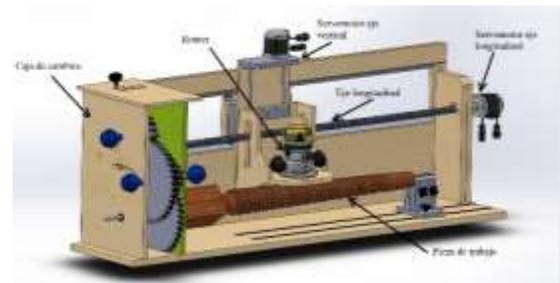


Figura 2 Concepto del torno CNC.

Como requisito indispensable de partida para el diseño de la caja de cambios que fungirá como enlace entre el eje de entrada y el eje de salida se utilizará la velocidad de corte permisible ideal para el corte de madera. En este punto es ideal calcular el dato para maderas duras, no solamente porque es el tipo de madera más utilizado para el tipo de formas a fabricar, sino también porque se puede tomar como un dato límite, a partir del cual se puede tomar otra velocidad hacia abajo sin el riesgo de daño a los motores de accionamiento y sin poner en riesgo el acabado fino que se requiere en la pieza de trabajo.

Los datos de partida para el cálculo de la velocidad de la herramienta de corte son: Potencia en el motor para el corte 2.0 HP (tomado de un router de mediana capacidad), Torque de salida 12.44 lb-in (1.4 Nm), rpm del eje de salida de 5000 a 24000.

Mediante el uso del software GWizard Machinist's calculator® se obtuvo el siguiente dato de 117.3 in/min como velocidad de corte lineal y con 10000 rpm en el husillo del router, para alcanzar esta velocidad de avance y tomando como base el paso del tornillo de entrada de 0.2 inch, se requiere en el servomotor del eje de entrada una velocidad angular $\omega_e=587$ rpm.

Posteriormente se realizó el diseño conceptual para la transmisión, en donde se eligieron combinaciones de engranes de dientes rectos en base a requerimientos de velocidad y relaciones de transmisión en el eje de salida.

Enseguida se muestra el diagrama cinemático de la transmisión de velocidad propuesta para hacer el enlace entre el eje de entrada (servomotor longitudinal) y el de salida (en la pieza de trabajo), a través de la caja de cambios, Figura 3. Partiendo de esta figura, se puede plantear la relación de transmisión para cada una de las velocidades.

$$n_i = \frac{z_{s1}}{z_{e1}} \times \frac{z_{s2}}{z_{e2}} \times \frac{z_{s3}}{z_{e3}} \times \dots \times \frac{z_{sn}}{z_{en}} \quad (1)$$

Donde n_i , representa la relación de transmisión para la velocidad i y que puede tomar valores desde el 1 hasta el 6, z_{s1} es el número de dientes del engrane de salida 1 y z_{e1} es el número de dientes del engrane de entrada 1.

A su vez, la velocidad angular de salida se puede determinar por la siguiente expresión.

$$\omega_{si} = \frac{\omega_{ei}}{n_i} \quad (2)$$

Donde ω_{si} es la velocidad angular del eje de salida para la velocidad i , ω_{ei} es la velocidad angular del eje de entrada para la velocidad i .

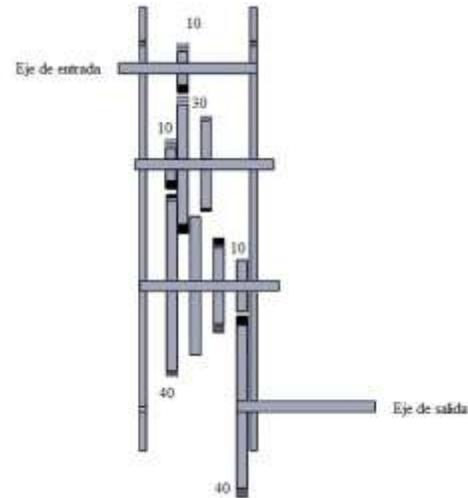


Figura 3 Diagrama cinemático de la transmisión para la primera velocidad.

Resultados

Como resultados preliminares de esta investigación se puede afirmar que producto del análisis cinemático tanto de los componentes de la transmisión, como de los accionamientos principales (servomotores), se pudo obtener una propuesta del diseño conceptual del torno, Figura 4, así como el conjunto de configuraciones de la caja de cambios que harán posible obtener la geometría final deseada, y con esto conseguir el funcionamiento adecuado de las herramientas a las velocidades adecuadas sobre la pieza de trabajo.

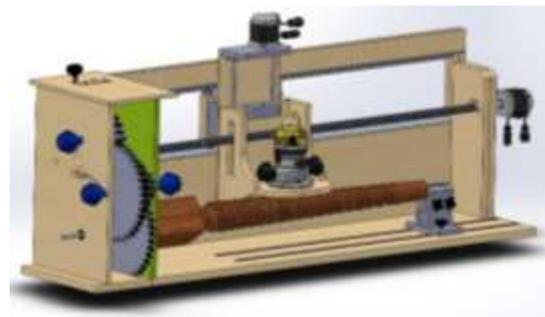


Figura 4 Ensamblaje general del torno CNC.

En la tabla 1 se indican los datos finales por velocidad, desde la 1ª a la 6ª, haciendo énfasis en el dato del paso de la hélice en el eje de salida, mismo que se incrementará desde un valor de 1.6 pulgadas para la primera velocidad, hasta uno de 9.6 pulgadas en la sexta velocidad.

Para todas y cada una de las velocidades se podrá tener una velocidad lineal de la herramienta de trabajo de 117.3 in/min, que fue el valor calculado de acuerdo al material de trabajo.

No de vel.	Rpm entrada	Rpm salida	Relación de transmisión.	Velocidad de avance lineal del router, in/min	Paso de la hélice en la entrada, inch.	Paso de la hélice en la salida, inch.
6	586.5	12.21	48:1	117.3	0.2	9.6
5	586.5	18.32	32:1	117.3	0.2	6.4
4	586.5	24.43	24:1	117.3	0.2	4.8
3	586.5	36.65	16:1	117.3	0.2	3.2
2	586.5	48.87	12:1	117.3	0.2	2.4
1	586.5	73.31	8:1	117.3	0.2	1.6

Tabla 1 Resultados de velocidades y avances para la caja de cambios.

De acuerdo a la relación de transmisión de cada velocidad de la caja de cambios, se obtuvieron los siguientes resultados en la salida. La pieza de trabajo se apreciaría como en las figuras de la tabla 2. Cabe mencionar que si se modifica la velocidad del servomotor, no se obtendrán variaciones en la longitud del paso de salida de la pieza de trabajo. Solo se modificará la velocidad lineal y por lo tanto se invertirá menos tiempo de manufactura.

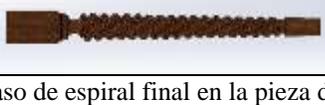
No de vel.	Espiral obtenido en la pieza	Paso de la hélice en la salida, inch.
6		9.6
5		6.4
4		4.8
3		3.2
2		2.4
1		1.6

Tabla 2 Paso de espiral final en la pieza de trabajo

Conclusiones

En este trabajo se tomaron consideraciones especiales en el análisis cinemático de los componentes de una transmisión de engranes rectos para un torno para madera controlado por CNC. Poniendo especial atención en la determinación de las relaciones de transmisión óptimas para conseguir y cumplir velocidades de corte en piezas de trabajo de madera.

Finalmente, de acuerdo a lo reportado en este artículo y a los resultados de la ingeniería de detalle, se considera que un torno construido bajo estas especificaciones puede ser eficiente para su operación en cuanto a combinaciones de velocidades se refiere. Si se considera el rango de velocidades posible de un servomotor con las mismas características se podrán disminuir tiempos de manufactura obteniendo los mismos pasos en la pieza de trabajo, quedando pendiente el diseño del sistema de control para el posicionamiento.

Para trabajos futuros y que antecedan a la manufactura de los componentes del torno, resta por diseñar el sistema de control e interface CNC para el accionamiento de los servomotores.

Referencias

Hurtado, L. G.; Velasco, J.; Severian, N.; López, L.; Sánchez, E. (2014). Diseño de una herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos. *Revista INGENIERÍA UC*, Mayo-Agosto, 73-86.

Salgado, D.R., & González, A.G.. (2004). Diseño de una Transmisión Mecánica para Realizar la División Diferencial. *Información tecnológica*, 15(5), 9-16. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000500002>.

Beer F. P.; Johnston E. R. Jr.; Cornwell P. J. (2013). *Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica*, McGraw-Hill, Séptima edición, México.

Reyes S. R. (2010). Análisis cinemático de un tren de engranes pentaxial (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México.

Espina M. M. R. (2008). Análisis entre la relación de transmisión y rendimiento para trenes de engranes planetarios (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Morera B. A. L.; Badilla C. C.; Mata C. M.; Hasbum F. I. (2008). Diseño y construcción de un torno de control numérico (Informe proyecto de investigación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Londoño O, N; León S, P; Álvarez D, J; Marín Z, E; (2005). Descripción del diseño y construcción de un torno de control numérico. *Ingeniería y Ciencia*, septiembre, 41-51.

Romero H. F. D.; Sánchez R. M. A. (2014). Diseño y construcción de un torno para madera con router incorporado (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.