

Toward technology adoption suitable for handmade production of wooden furniture

L. Mena, J. Magallanes, D. Ochoa, M. Helguero y F. Maldonado.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL,(Centro de Visión y Robótica).
Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral,P.O. Box 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador.
lismena, jmagalla, dochoa, mhelguer, famaldon{@espol.edu.ec},

Abstract— The use of industrial machines with advanced technology for the machining of wood or metal prototypes is common in developed countries. However, the acquisition of this type of machinery in developing countries is considerably difficult since the cost increases with the import and maintenance costs. In this paper, the use of this type of machinery is presented but adjusted to a non-industrial scale that was developed in the academy with the purpose of creating wooden prototypes and through a link with society project, was later verified by the Association of Artisans of Atahualpa Parish, a rural parish in Ecuador.

Keywords— CNC machine, suitable technology, finish carpentry, local technology, link with society.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.153>
ISBN: 978-0-9993443-0-9
ISSN: 2414-6390

Hacia la adopción de tecnologías apropiadas en la fabricación artesanal de muebles de madera

L. Mena, J. Magallanes, D. Ochoa, M. Helguero y F. Maldonado.

Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, (Centro de Visión y Robótica).

Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador.

lismena, jmagalla, dochoa, mhelguer, famaldon{@espol.edu.ec},

Resumen— El uso de máquinas industriales con tecnología avanzada para el mecanizado de prototipos en madera o metal es común en países desarrollados. Sin embargo, la adquisición de este tipo de maquinaria en países en vías de desarrollo es más difícil puesto que el costo aumenta con gastos de importación y de mantenimiento. En este trabajo, se presenta el uso de este tipo de maquinaria pero ajustado a una escala no industrial que fue desarrollada en la academia con el propósito de crear prototipos de madera y que luego a través de un proyecto de vínculos con la sociedad fue verificada por la Asociación de Artesanos de la parroquia Atahualpa, una parroquia rural del Ecuador. Palabras clave— Máquina CNC, tecnología apropiada, ebanistería, tecnología local, vinculación con la sociedad.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio de la matriz productiva en el Ecuador es una oportunidad para la búsqueda de alternativas de producción, tanto para grandes como para pequeños productores. El objetivo es que el Ecuador se convierta en exportador de productos terminados y no sólo exportadores de materia prima. La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) es generadora de conocimiento a nivel de docencia e investigación permitiendo el desarrollo de iniciativas y prototipos para la resolución de problemáticas pertinentes a nuestra sociedad. Dentro de estos lineamientos, se propuso la construcción de una máquina de control numérico (CNC).

Las máquinas CNC, son el equivalente a escala industrial de las impresoras 3D. En lugar de depositar capas de material de abajo hacia arriba, las máquinas CNC remueven secciones de un bloque sólido de material hasta conseguir la forma del objeto que se quiere construir. Consecuentemente, el tamaño del objeto resultante depende del tamaño del bloque [1]. Dependiendo de la herramienta que se utilice, la máquina CNC, puede realizar cortes, perforaciones o soldaduras. El CNC es un medio sofisticado y muy versátil para controlar dispositivos mecánicos por un programa de instrucciones, que ha conducido a la creación de máquinas capaces de ejecutar ciclos de maquinado y formas geométricas complejas y a niveles altos de operación automática [2].

El diseño y la construcción de la máquina CNC estuvo a cargo de docentes y estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica (FIMCP) e Ingeniería en Electricidad

y Computación (FIEC), a través de los laboratorios de Mecanización Avanzada y Prototipos (CAMPRO - FIMCP) y el Centro de Visión y Robótica (CVR - FIEC).

Las máquinas CNC tienen aplicaciones en varios sectores de la industria metal-mecánica, producción de muebles, construcción, etc.

En Ecuador, uno de los sectores que requiere un mayor grado de tecnificación es el de los pequeños productores de muebles. Ellos invierten tiempo y esfuerzo considerable en tallar y cortar piezas de madera sólida para producir muebles de alto valor agregado. Historicamente, la automatización en pequeños productores ha tenido un impacto limitado. La razón principal es que no existe un ecosistema que permita que las máquinas, usualmente importadas, puedan mantenerse en operación o incluso mejorarse a fin de satisfacer las necesidades específicas de este sector. En este trabajo reportamos la intervención realizada por los laboratorios mencionados anteriormente en la parroquia rural Atahualpa en Ecuador. El propósito de esta investigación fue evaluar las capacidades técnicas de una máquina CNC diseñada para tallar piezas de madera y la transferencia de conocimiento a los artesanos para que ellos puedan en un futuro mantener la operación de un centro de maquinado para su asociación.

II. METODOLOGÍA

A. Área de estudio

El área geográfica que cubre el proyecto, se ubica en la provincia de Santa Elena, cantón Santa Elena, perteneciente a la zona 5, del distrito 24D01. Atahualpa es una parroquia rural que cuenta con una superficie de 77,80 km² y una población de 3.532 habitantes según el censo del 2010 [3]. La organización de la comunidad está a cargo del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Parroquial Rural Atahualpa. La actividad de manufactura de muebles está organizada en la Asociación Interprofesional de Artesanos de Atahualpa, que agrupa a 50 socios [8].

El GAD parroquial ha identificado 195 viviendas residenciales, en las cuales se desarrolla un total de 229 diferentes tipos de negocios. Esta es la primera evidencia de que la actividad de la ebanistería no es suficientemente rentable, pues a pesar de tener el mayor porcentaje, representa solamente un 36,24% del comercio de la parroquia, ver Fig. 1.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.153>

ISBN: 978-0-9993443-0-9

ISSN: 2414-6390

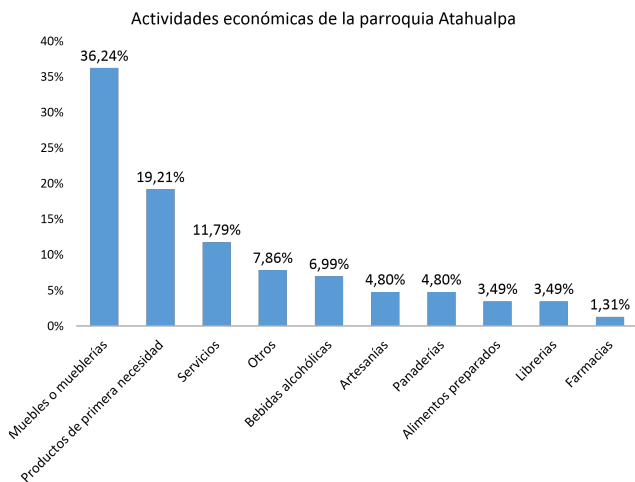


Fig. 1. Actividades económicas de la parroquia Atahualpa [3].

La producción de muebles con madera dura es la principal razón para que personas de todo el Ecuador visiten Atahualpa. Esta madera no requiere aditivos y es resistente al ambiente y los insectos. En Atahualpa la producción de muebles todavía se realiza de forma artesanal en pequeños talleres. Los tiempos de producción difíciles de estimar y el número de diseños es limitado. Esto se traduce en menores ingresos para los artesanos.

Para lograr una mejora sustancial y sostenible en el proceso de construcción de muebles, este trabajo se enfocó estudiar dos aspectos fundamentales: (1) El diseño computarizado de piezas utilizando exclusivamente herramientas de software y (2) El diseño, operación y mantenimiento de una máquinas de control numérico (CNC). Se espera que con estos conocimientos, la asociación de artesanos sea capaz de tomar mejores decisiones acerca del tipo de tecnología que les conviene, como explotarla y mantenerla operativa.

B. Introducción al uso de tecnologías para la elaboración muebles de madera

El corte y tallado de madera dura supone un trabajo intenso que puede tomar varios días y hasta semanas para obtener buenos resultados. Con la finalidad de optimizar tiempo y costos de fabricación en los detalles de los muebles elaborados por la Asociación de Artesanos de Atahualpa se pretende como principal objetivo de la propuesta: introducir a los artesanos al uso de herramientas tecnológicas para el modelado y diseño de piezas en madera. La propuesta se ha llevado a cabo a través de un proyecto de vinculación con la sociedad, lo que permite que los estudiantes se involucren en necesidades reales y aporten soluciones viables a sectores menos favorecidos. La ejecución del proyecto depende del trabajo multidisciplinario de los estudiantes, puesto que son requeridos conocimientos de diseño y de varias disciplinas como mecánica, electrónica, y computación. Las actividades se planifican en cuatro fases (Fig. 2), la primera fase corresponde a la puesta en marcha de la máquina CNC, comprobar su funcionamiento y evaluar los posibles fallos.

Además, los estudiantes participantes se capacitarán en el uso y manejo de la máquina, para equiparar concimientos. La segunda fase es la logística, que trata de: 1) adecuación de los espacios físicos, tanto en Atahualpa (localización de los artesanos) como en ESPOL Guayaquil (ubicación de la máquina CNC), 2) instalación y evaluación del software de diseño y operación y 3) preparación del material didáctico que servirá de guía para impartir las capacitaciones.

La fase tres hace referencia a la ejecución de los talleres, que están divididos por sesiones teóricas y prácticas.

Finalmente, en la cuarta fase se evaluarán los resultados obtenidos del modelado y mecanizado de las piezas, para comprobar los tiempos de fabricación y la usabilidad de la máquina CNC para los trabajos de ebanistería tradicionales.

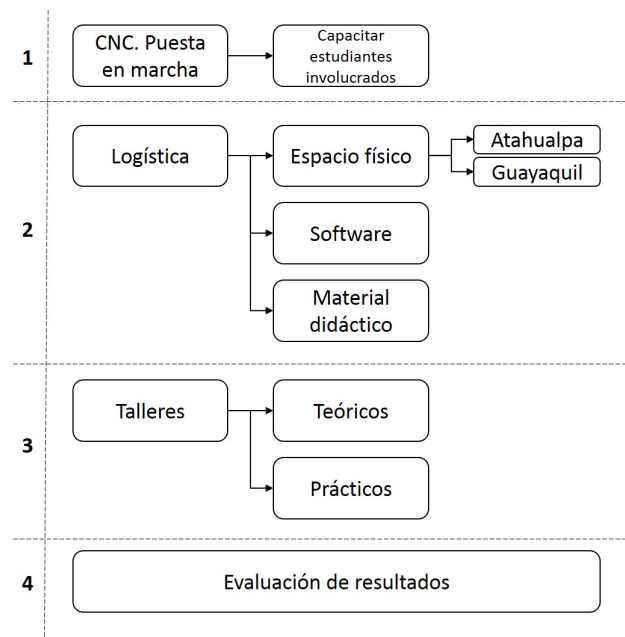


Fig. 2. Planificación de actividades

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El diseño, la construcción desde cero y personalización de la máquina CNC dentro de la academia consiguen que el soporte técnico y de operación sean factibles de transferir. A diferencia de las máquinas CNC industriales comerciales, que son importadas y adquiridas por proveedores locales, el mantenimiento y soporte técnico forman parte del costo de adquisición del equipo y por lo tanto se hace difícil o casi imposible que estos puedan ser transferidos a los artesanos. Por otro lado, la construcción local reduce los costos de adquisición puesto que se eliminan gastos de importación, de mantenimiento y de soporte técnico.

Una característica principal de este diseño es su tamaño personalizado. Las dimensiones máximas de los prototipos que se pueden mecanizar son de 2 m de largo, 35 cm de ancho y 40 cm de altura. Esta característica es importante en el tallado y elaboración de muebles de madera, puesto que se pueden colocar piezas enteras del tamaño máximo, como el espaldar de una cama, realizar el trabajo de mecanizado y

luego obtener el producto final. En cambio, de la manera tradicional o con una máquina de menores dimensiones, hay que realizar el trabajo por partes y dividir la pieza en secciones más pequeñas para luego unir las.

El diseño y construcción se dividió en dos componentes, el diseño y la manufactura de la estructura metálica y el diseño y la manufactura del software y hardware electrónico, ambos utilizando tecnologías disponibles de libre acceso y de código abierto.

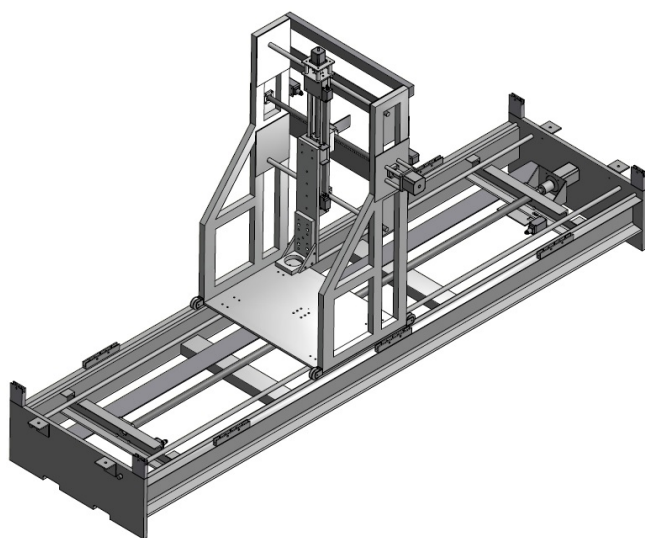


Fig. 3. Sistema mecánico de Fresadora CNC de 3 ejes [5].

A. Diseño de la estructura

El diseño de la estructura fue desarrollado a través de una tesis de grado de la carrera de Ingeniería Mecánica [5], y liderado por el staff de CAMPRO. Este fue basado en el diseño tradicional de una máquina fresadora CNC de 3 ejes con particularidades como, el tamaño de los prototipos que se requieren mecanizar, la materia prima a ser utilizada que son maderas duras en el caso más crítico. Diseñar y manufacturar cada uno de los componentes de la máquina hace posible que el mantenimiento y soporte técnico puedan ser realizados de manera local. Tal como se explica en [5] las etapas del diseño abarcaron desde determinar los parámetros de operación de la máquina, selección de los componentes adecuados, como el husillo, sistema de intercambio de herramienta, sistema de fijación, etc., luego el diseño del sistema de transmisión de potencia de los 3 ejes coordinados X, Y y Z y ejes de guías y finalmente el diseño de la estructura de la mesa de trabajo y de la estructura principal de sujeción.

Para la selección del sistema de transmisión de potencia se realizaron pruebas de esfuerzo sobre la estructura con las que se pudo determinar el torque mínimo de los motores y la selección de los mismos.

B. Diseño del software

El componente del diseño y elaboración del software y hardware se desarrolló en paralelo junto con el primer

componente ya descrito, y bajo las directrices del staff del CVR. Para la elaboración del software, similar al diseño de la estructura, existieron dos fases, la primera fase pretendió realizar el diseño preliminar del sistema de control y pruebas de conceptos, la segunda fase fue la implementación y adecuación de diseño e implementación del software de control y la integración con el hardware definitivo. En la fase inicial, se consideró el proceso total de mecanizado de una pieza en la máquina CNC, desde la generación del modelo digital a escala 3D hasta la ejecución de las instrucciones y envío de las señales desde el software de control de la máquina. En la Fig. 4 se muestra el esquema utilizado.

El objetivo principal en esta fase, fue realizar pruebas del funcionamiento y operación del software seleccionado. Primero, un software genera las instrucciones de movimiento de la herramienta de corte, llamado *G code*, a partir de un modelo digital [10]. Luego, estas instrucciones son procesadas en tiempo real por un segundo software, Linux CNC [9], que las convierte en señales eléctricas para que los drivers de los motores las reciban como entradas. Finalmente, para verificar las pruebas de movimiento se utilizó una plataforma de bajo coste con el mismo principio de una CNC de 3 ejes, tal como una impresora 3D. Adicionalmente se tuvo que manufacturar una tarjeta electrónica que integre las señales de entrada/salida del sistema de control con los drivers de los motores y los sensores de emergencia. Mayor detalle de la tareas realizadas se describen en el trabajo de pre-grado siguiente [6].

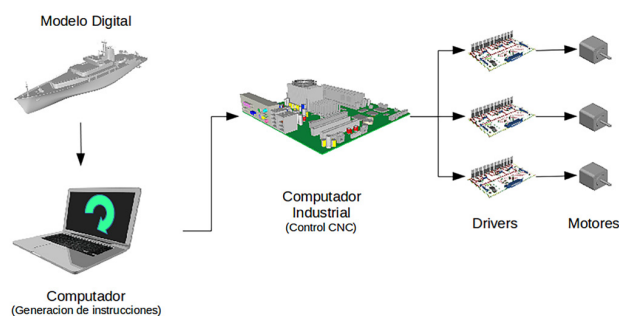


Fig. 4. Arquitectura del sistema [1].

En la fase dos, y recogiendo la experiencia de la fase anterior, se realizó la integración del sistema de control con el hardware de la máquina CNC, seleccionado y construido por parte de CAMPRO. En esta etapa, el objetivo fue realizar las pruebas de operación, ajustes y optimización de la máquina para conseguir un mecanizado y usabilidad aceptable de acuerdo al proyecto inicial de mecanizado de cascos de barcos en madera.

C. Diseño del hardware

Los motores seleccionados para el funcionamiento de la máquina son de paso y sus principales características son el alto torque y la lectura de la posición de forma directa. El eje Z tiene un motor paso a paso de tipo *180 OzIn 8-Wire*, el eje X *600 OzIn 8-Wire* y el eje Y cuenta con

un motor de mayor robustez, puesto que es el encargado del desplazamiento longitudinal de mayor dimensión, *1150 OzIn 8-Wire*. El acondicionamiento de las señales se ejecuta a través de los controladores de tipo MondoStep Bi-Polar Driver el que se ha implementado es el DM860A, trabaja con un voltaje de 24VDC a 80VDC, diseñado para funcionar con menos de 8.0A/fase, este circuito permite eliminar ruidos y vibraciones, mejorando la precisión al momento de trabajar [7].

La interfaz que permite la conexión entre el ordenador y los controladores de los motores debe ser compatible con los puertos que dispone el computador y la comunicación con el software de operación de la máquina, como es el caso de Linux CNC, el envío de datos los realiza a través del puerto paralelo. Por lo tanto la interfaz seleccionada es un *breakout board*, que cuenta con doce salidas, para conexión con los motores, 5 entradas, para las señales de sensores, y alimentación de 5VDC.

Los sensores a utilizar son de tipo final de carrera, que son dispositivos electrónicos que sirven para detectar cuando la fresadora llega al final del eje en que se está desplazando. Sin estos dispositivos la máquina no conoce cuando detener la fresadora y ésta chocaría al llegar al final de su eje, está claro que en cada eje debe haber al menos un fin de carrera. En este caso, se cuenta con seis sensores de fin de carrera, están dispuestos dos por cada eje y están ubicados uno a cada extremo del eje. Su funcionamiento es el de enviar una señal de alto al sistema de Linux CNC por medio del puerto paralelo, a través de la interfaz de la Fig.5. El sensor es de tipo opto electrónico, el cual es el que sensa la presencia o no de la fresa en el fin del eje, cortando el haz de luz.

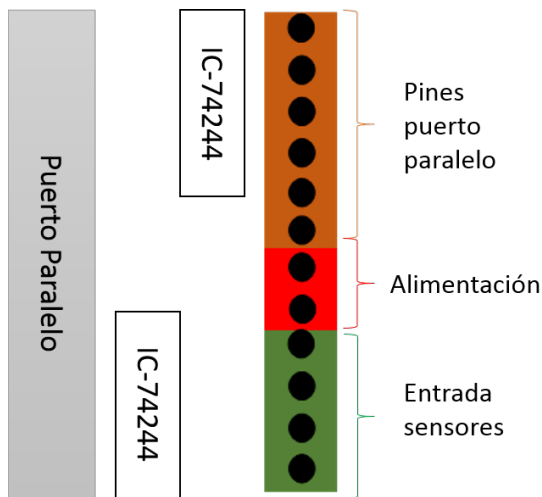


Fig. 5. Interfaz de conexión con sensores

IV. RESULTADOS

Ocho socios activos de la Asociación de Atahualpa operaron la máquina CNC (ver Fig. 6). Se realizaron diseños de formas geométricas básicas. Inicialmente se utilizaron imágenes vectorizadas descargadas desde internet para explicar las funcionalidades del software de diseño, posteriormente

los artesanos crearon modelos en 2D de forma independiente mediante el uso del software Inkscape [11].



Fig. 6. Artesanos operando máquina CNC.

Luego se simuló la operación de la máquina usando el modo simulación del software de control de la máquina CNC (Linux CNC). Finalmente, cada artesano operó la máquina CNC para construir su diseño 2D sobre una placa de madera. La figura 7 presenta los trabajos elaborados por los participantes.

Debido a limitaciones de tiempo, no fue posible incluir en el ciclo de capacitaciones el diseño de modelos más complejos que exploten las capacidades de la herramienta para tallar en base a piezas tridimensionales. Sin embargo, el tallado con modelos 2D es equivalente al trabajo de grabado en muebles que realizan actualmente los artesanos.



Fig. 7. Piezas de madera maquinadas.

En cuanto a la ejecución del tallado, la reducción de tiempo al usar la máquina CNC es considerable. En las pruebas realizadas con el diseño "diamante", la máquina tardó aproximadamente 8 y 12 minutos dependiendo de las dimensiones de la pieza. En las pruebas se usaron modelos de



Fig. 8. Artesanos con las piezas de madera maquinadas.

tamaños entre 20 y 25 cm^2 . La misma figura elaborada con una herramienta manual Tupí, requiere 3 horas de trabajo y el acabado final depende de la habilidad de la persona, mientras que la máquina CNC garantiza precisión y reproducibilidad.

Los talleres prácticos, incluyendo los relacionados a ensamblaje, operación y mantenimiento de la máquina, se realizaron de forma ágil y los artesanos demostraron habilidad y capacidad para realizar este tipo de tareas. Sin embargo, durante los talleres que suponían el uso de software de diseño, se encontró el inconveniente de la falta de familiarización con el manejo de herramientas informáticas. Es notable la brecha generacional entre los artesanos, pues los más jóvenes no presentaron dificultad. Por otro lado, en la operación de la máquina no hubo este problema dado que la interfaz gráfica es sencilla e intuitiva.

La figura 8 muestra a los artesanos participantes del proyecto, evidenciando el resultado del trabajo realizado en madera con el uso de la máquina CNC.

Entre los principales resultados obtenidos en forma de realimentación, fueron las sugerencias de los artesanos. Ellos proponen:

- Aumento de dimensiones del área de trabajo. Se requiere trabajar sobre planchas de madera del tamaño de una puerta o del espaldar de una cama, lo que implica un área aproximada de $2m^2$.
- Rediseño del eje z. Se prefiere un diseño abierto, con la finalidad de que la madera se coloque desde diferentes ángulos. El diseño cambiaría la sujeción del desplazamiento sobre el eje Y, en lugar de tener dos puntos de apoyo, tendría solamente uno, lo cual implica un diseño mecánico más robusto.
- Sistemas de sujeción más seguros. Existieron desplazamientos de la pieza de madera no deseados, debido al contacto con la herramienta de corte y la poca firmeza de sujeción.

Los costos de las partes de la máquina CNC alcanza un valor 10.500 USD. Este importe es reducido en comparación con máquinas importadas que pueden llegar a costar 30.000 USD [5]. Dado que se utiliza software libre y los diseños

son públicos, el conocimiento generado puede ser explotado por los artesanos de la madera para reproducir la máquina.

V. CONCLUSIONES

El trabajo presentado demuestra que la construcción local de máquinas CNC de gran tamaño es posible y no requieren mayores cambios de diseño para adaptarse a las necesidades de los pequeños productores de muebles. El desarrollo de tecnología apropiada, en el sentido de ser útil para el fin que se persigue y que es parte del conocimiento del que la usa, para la fabricación de muebles es, a nuestro criterio, una ruta que vale la pena explorar. El uso de este tipo de maquinaria tiene el potencial de promover la especialización de los artesanos y el aprovechamiento del conocimiento de ingenieros locales. Salvo el eje más largo de la máquina, el resto de elementos puede ser conseguidos en el mercado local. El software al ser libre puede ser modificado para adaptarse a los usuarios. En particular se cree que hay varias mejoras de usabilidad del software de operación de la máquina y de diseño que podrían facilitar su uso. Otra idea a explorar es el uso de tecnologías web que permitan a potenciales compradores diseñar muebles personalizados en línea.

Actualmente, los artesanos de Atahualpa buscan obtener fondos para un centro de producción especializado, que cuente con maquinaria apropiada y aplicar esta filosofía a otros procesos de la madera: secado, pintado y acabado de piezas.

AGRADECIMIENTOS

La fabricación de la máquina CNC fue posible gracias al financiamiento de la carrera de Ingeniería Naval de la Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales (FIMCBOR), de ESPOL.

Un especial agradecimiento al Sr. Danny Borbor, actual presidente de la Asociación de Artesanos de Atahualpa por su colaboración y compromiso en la ejecución del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] D. Ochoa, Big 3D Máquinas para el cambio de la matriz productiva, FOCUS, 67th ed. October 2015, pp. 34-35.
- [2] Groover, Mikell P, Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Pearson Educación, 1997.
- [3] I. Censos, "Resultados", Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016. [Online]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>. [Accessed: 29 Jun. 2016].
- [4] Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial Rural Atahualpa, 2016. [Online]. Available: <http://www.gadpr-atahualpa.gob.ec/>. [Accessed: 26 Jul. 2016].
- [5] F. Maldonado, Diseño de una máquina fresadora CNC para mecanizado de prototipos de barcos de madera, BE, project work, Dept. Mech. ESPOL Univ., Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [6] C. Ronquillo, Implementación de un sistema de control para una máquina CNC sobre un sistema embebido utilizando herramientas de software libre, BE, project work, Dept. Ingeniería en Ciencias Computacionales, FIEC ESPOL Univ., Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [7] R. Alava, J. Palacios, Automatización de una fresadora artesanal a control numérico, mediante un ordenador utilizando software, BE, project work, Dept. Mech. ESPOL Univ., Guayaquil, Ecuador, 2014.
- [8] Introducción al uso de tecnologías para el modelado de piezas en madera. Proyecto FIEC-01-FIEC-01-05, Unidad de Vinculación con la Sociedad. ESPOL, 2016.

- [9] "LinuxCNC", Linuxcnc.org, 2017. [Online]. Available: <http://linuxcnc.org/>. [Accessed: 16- Jan- 2017].
- [10] ISO 6983-1 Numeric control of machines Program format and definition of address words Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems, 1982.
- [11] I. artelnjeru01, F. Munggaran, D. bajinra and S. Grochoa, "Draw Freely — Inkscape", Inkscape.org, 2017. [Online]. Available: <https://inkscape.org/es/>. [Accessed: 10- Jan- 2017].